

BUZA GÁBOR – KÁLAZI ZOLTÁN – KÁLMÁN ERIKA – SÓLYOM JENŐ

Öntöttvas felületi lézersugaras átolvasztásának néhány fémtani kérdése

A nagy karbontartalmú ötvözetek hőmérséklet-változás hatására bekövetkező fázisváltozásai sokfélék lehetnek. Különösen igaz ez abban az esetben, ha egy ferrit-perlit-grafitos szövetszerkezetű öntöttvas hevítése és hűlése nagy sebességgel játszódik le. A lézersugárral végzett felületátolvasztás során az olvadákkal közvetlenül határos anyagrészben sajátos fémtani jelenségeket lehet azonosítani. A cikk ezeknek a ritkán tapasztalható fázisváltozási folyamatoknak vizsgálatával foglalkozik.

A két- és háromdimenziós lézersugaras vágás több, mint egy évtizede közismert és folyamatosan bővülő körben alkalmazott ipari technológia. A lézersugaras anyagmegmunkálásokban rejlő lehetőségek és az ipari versenyképesség növekedésének igénye azonban újabb eljárások, alkalmazások termelésbe való átültetését igényli. Valószínű, hogy a közeli jövőben a lézeres vágás mellett a hegesztés és a lézeres felületkezelés is előtérbe kerül, megtalálják helyüket az ipari technológiák között.

A lézeres felületmódosítások gazdag

tárházának egyik ritkán alkalmazott technológiája a lézeres felületátolvasztás. Ez azért alakult így, mert ahogyan a termékek előállításánál általában, úgy a lézeres felületátolvasztás esetében is csak akkor beszélhetünk versenyképes alternatív felületmódosító technológiáról, ha az alkatrész új tulajdonság-együttesének használati értéke, ami a beavatkozás következtében létrejön, arányban van az alkalmazott technológia költségeivel és időigényével. Ilyen alapon a lézersugaras felületátolvasztás esetében általában nem is éri meg a drága technológia al-

kalmazása, mert nem elegendően nagy az átolvasztás hatására bekövetkező tulajdonságváltozás, javulás.

Az öntöttvasak lézeres felületátolvasztását azonban különleges esetnek kell tekintenünk, mert ennek, az öntött acélhoz képest olcsó, sok tekintetben kedvező tulajdonságú anyagnak tulajdonságait jelentős mértékben meg lehet változtatni az alkatrész felületén. Ráadásul a lézeres kezeléssel, egy rendkívül sajátos, a tömegtermelésben ismeretlen anyag szerkezetet lehet létrehozni. Ezért fordítottuk figyelmünket a szerkezet lézeresugaras kezelés során kialakult jellegzetességei és tulajdonságai felé.

Vizsgálati anyag, kísérletek

A kokillába, és/vagy homokformába öntött öntöttvasak lehetséges szövetszer-

Dr. Buza Gábor 1975-ben szerzett kohómérnöki oklevelet az NME-n. 1975-től 1988-ig a Vaskut, 1988-tól a BME dolgozója. Jelenleg a BME Közlekedésmérnöki Kar Járműgyártás és -javítás Tanszékének docense és a Bay Zoltán Anyagtudományi és Technológiai Intézet igazgatóhelyettese. Két évig a Max-Planck Institut für Eisenforschung, Düsseldorf vendégkutatója volt. 1986-ban egyetemi doktori, 1990-ben műszaki tudomány kandidátusa címet szerzett. Fő érdeklődési területe: acélok fázisátalakulásának vizsgálata, nagy energiasűrűségű eljárások. Több mint 10 éve intenzíven foglalkozik a nagy teljesítményű lézerek anyagmegmunkálási lehetőségeinek kutatásával. 1972-óta OMBKE-tag.

Dr. Kálazi Zoltán 1991-ben kapott oklevelet a BME Közlekedésmérnöki Karán. 1994-ig a kar Gépipari Technológia Tan-

székén doktorandusz. 1994 óta a Bay Zoltán Anyagtudományi és Technológiai Intézet munkatársa. 1996-ban egyetemi doktori címet szerzett. Érdeklődési területe: teljesítménylázerek alkalmazása vágás, hegesztés, felületkezelés (hőkezelés, ötvöztetés) esetén.

Prof. dr. Kálmán Erika, a kémiai tudományok doktora, 1967-ben szerzett kitüntetéses diplomát a Drezdai Műszaki Egyetem Vegyész Karán. 1971-ben készítette el kandidátusi disszertációját. 1994-ben habilitált a Budapesti Műszaki Egyetem Vegyész Karán és 1995-ben védte meg doktori disszertációját. Munkahelyei: 1967-1971 Drezdai Műszaki Egyetem Vegyész Kar, Fizikai, Kémiai és Elektrokémiai Tanszék. 1971-1999 MTA Kémiai Kutatóközpont, 1999-től a Bay Zoltán Anyagtudományi és Technológiai Intézet igazgatója. Jelenlegi fő kutatási területe:

funkcionális nanoszerkezetű anyagok és nanoméretű rétegek előállítása és vizsgálata modern felületvizsgáló módszerekkel. Jelenlegi főbb tisztségei a következők: a Nemzetközi Elektrokémiai Társaság elnöke, az Európai Korróziós Federáció Végrehajtó Bizottságának tagja, az MTA Műszaki Anyagtudományi és Szilikátkémiai Munkabizottság elnöke és a Magyar Korróziós Szövetség főtitkára.

Sólyom Jenő 1960-ban szerzett vas- és fémkohómérnöki oklevelet a Nehézipari Műszaki Egyetemen. 1960 óta az egyetem Metallográfiai, később Fémtani tanszékén tanársegéd, majd adjunktus. 1996 óta ugyancsak a tanszéken működő MTA-ME Anyagtudományi Kutatócsoport tudományos munkatársa. Szakterülete az öntött ötvözetek fémtana és foglalkozik sokkristályos anyagok röntgendiffrakciós vizsgálatával is.

1. TÁBLÁZAT.

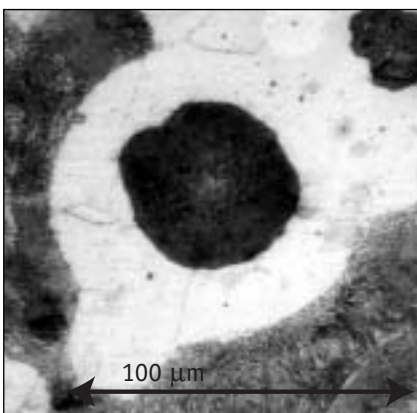
	C %	Si %	Mn %	Cu %	Mg %
Vizsgált anyag	3,55	2,4	0,28	0,48	0,041
MSz GGG400	3,5 – 3,7	2,2 – 2,8	Max. 0,4	0,4 – 0,6	0,035 – 0,055

kezete jól ismert. A jellemzően stabil Fe-C rendszer szerint lejátszódó kristályosodás következtében képződött grafitot a ferrit, a perlit, a bainit, a martensit, vagy ezek meghatározott keverékű mátrixa veszi körül. A felsorolt szövetelemeken túl, bizonyos körülmények között, szobahőmérsékleten előfordulhat még cementit, ill. nagyon ritkán maradék austenit is. A grafit, az ötvözet vegyi összetételétől és az olvadék hűlési sebességétől, ill. kezelésétől függően lehet lemezes, vermikular (kukac), vagy gömb alakú.

Kedvező mechanikai tulajdonságai miatt gyakran alkalmazott ötvözet a ferrit perlites gömbgrafitos öntöttvas, ezért végeztük ezen kísérleteinket. Az általunk vizsgált ötvözet vegyi összetételét az 1. táblázat tartalmazza. A kísérleti anyag a Rába Magyar Vagon- és Gépgyár Öntőde Gyárának napi termeléséből származik. A darabok az öntvények beömlőrendszerének elemei voltak. Az öntvények jellemző szövetszerkezete az 1. ábrán látható.

A lézersugaras felületkezelés során lejátszódó fémtani folyamatok értelmezésében segítségünkre lehet a Fe-C fázisdiagram annak ellenére, hogy tudjuk, a Si-tartalom a diagram egyes jellegzetes pontjainak koordinátáit figyelemreméltó mértékben megváltoztatja (2. ábra).

A felületátolvasztáshoz szükséges lézersugár forrása a BAYATI-ban üzemelő TRUMPF gyártmányú, max. 5 kW fénytél-

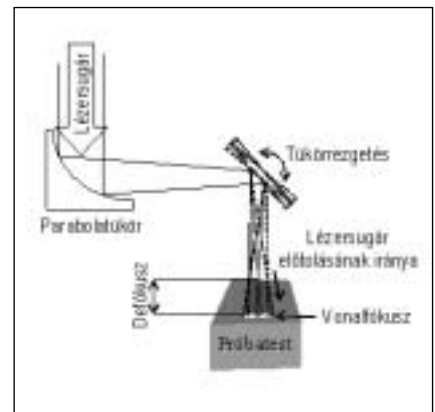


■ 1. ÁBRA. A kísérleti alapanyag szövetszerkezetének maratott metallográfiai képe (3% Nital)

jesítményű, nagyfrekvenciás gerjesztésű CO₂-lézerberendezés volt. Az átoltvasztott területen a lézersugár energiaeloszlásának kísérleteink szempontjából kedvezőtlen hatását tükrözgetéssel, az ún. vonalfókusz létrehozásával küszöböltük ki (3. ábra).

A vonalfókusz a 100 Hz frekvenciájú, ±4° szögeltérésű, harmonikus rezgésű tükrök hozta létre. A 300 mm fókusztávolságú parabolatükrök és a 40 mm-es defókusz 24 mm hosszú, 2,1 mm széles vonalfókusz eredményezett. A vonalfókuszban az átlagos teljesítménysűrűség $8,66 \cdot 10^4 \text{ W/cm}^2$ volt. A lézersugár keresztirányú (vonalfókusz létrehozó) átlagsebessége 4 m/sec, az előtolás irányú sebessége pedig 0,005 m/sec volt, ami 0,42 sec lézersugár – anyag kölcsönhatási időt eredményezett.

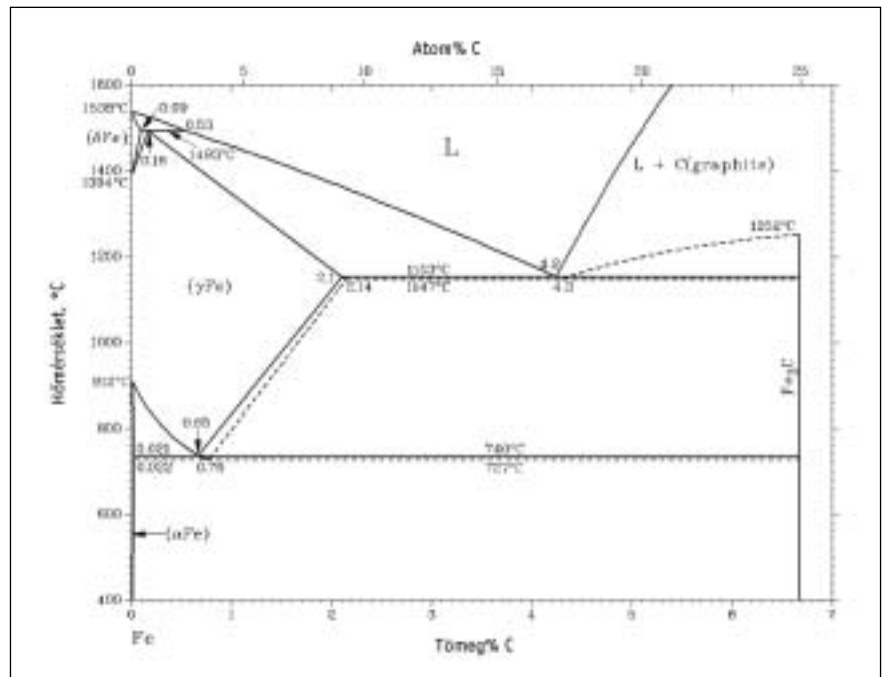
Az öntöttvas próbadarabok felületén több tizedmásodpercig tartó, nagyobb, mint 10^4 W/cm^2 teljesítménysűrűségű lézersugárzás az ötvözet lokális megolvadásához vezetett. 0,2–0,3 mm mély, 2 mm széles és 22 mm hosszú olvadéktócsa vándorolt 5 mm/sec sebességgel a felületen.



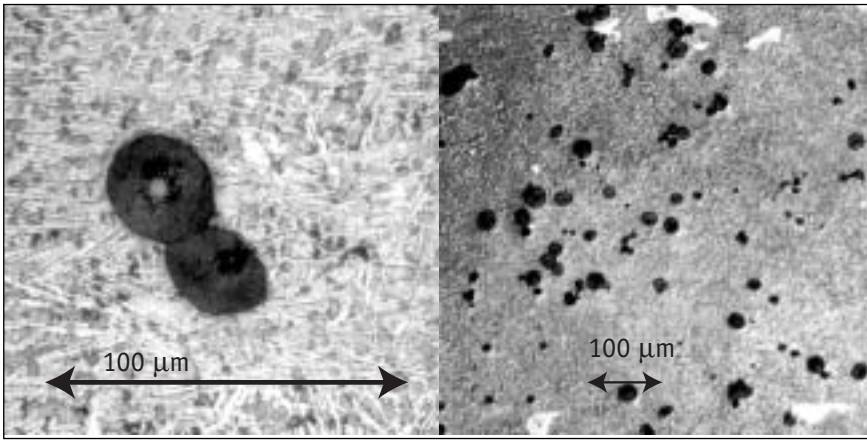
■ 3. ÁBRA. Vázlat a tükrözgetéssel vonalfókusz kialakítására

A melegedés és a hűlés sebességét döntően az ötvözet fajlagos hőkapacitása és hővezetőképessége szabályozta. A gyors melegedés és olvadás után a gyors hűlés hatására a kristályosodás kizárólag a Fe-C metastabil rendszer szerint játszódhatott le. A hő- és fázisátalakulási folyamatok eredményei azonban az ismert jelenségektől eltérő képet mutatnak, érdemes ezért az egyes jelenségeket sorra venni.

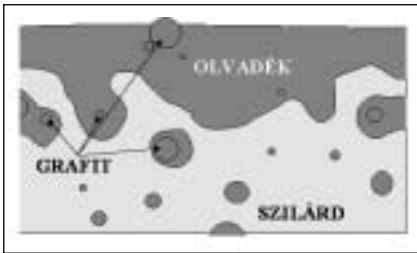
A próbatestben a kísérlet során elért legnagyobb hőmérséklet a lézersugárral hevített felszíntől mért távolság függvényében, pontról pontra különböző. Ez alapvetően befolyásolja az adott pontban lejátszódó fázisváltási és diffúziós folyamatokat is.



■ 2. ÁBRA. A Fe-C fázisdiagram



■ 7. ÁBRA. A felszíntől 0,1 mm-re kialakult szövetszerkezet maratott metallográfiai képe (3% Nital)



■ 8. ÁBRA. Vázlat a grafitdarabok, az olvadéktócsa és az olvadékszigetek elhelyezkedéséről

ban világosabbra maródott, mint a háttértől távolabb. Ennek egyik oka lehet a karbontartalom-különbség, ami a szilárd halmazállapotban lejátszódó diffúzió lassúságával magyarázható. Másik lehetséges magyarázat éppen ennek fordítottja, vagyis az austenit túlságosan nagy karbontartalmának következtében a maradék-, vagy másképpen restaustenit jelenléte.

Ebben a sávban a kialakult szövetszerkezet elemei tehát a martensit, a grafit, a ledeburit és esetleg az austenit.

Közvetlenül a felszín alatti 0,2 mm széles sávban már az olvadék fázis az uralkodó (7. ábra). A gyorsan kristályosodott olvadékban még vannak megrekedt grafit darabok. Ezeknek nem volt elegendő idejük a feloldódáshoz annak ellenére, hogy egy részük az erőteljes Marangoni-áramlás miatt már „régen” (0,1–0,2 másodperce) kevergett az olvadékban, másik részük viszont éppen most jutott az olvadékfürdőbe. Az olvadéktócsába jutó grafitdarabok száma folyamatosan növekszik, mert a szilárd halmazállapotú részbe zárt olvadékszigetek, amelyeknek belsejében még fel nem oldódott grafit van, folyamatosan érnek össze és

egyesülnek a felszínen lévő olvadéktócsával (8. ábra).

A 8. és 9. ábra alapján érzékelhető, hogy a 0,3 – 0,4 mm-rel a felszín alatt lévő olvadékszigetek idővel összeértek volna a felszíni olvadéktócsával. Ez csak további időn, ill. további hőmennyiségen múltott.

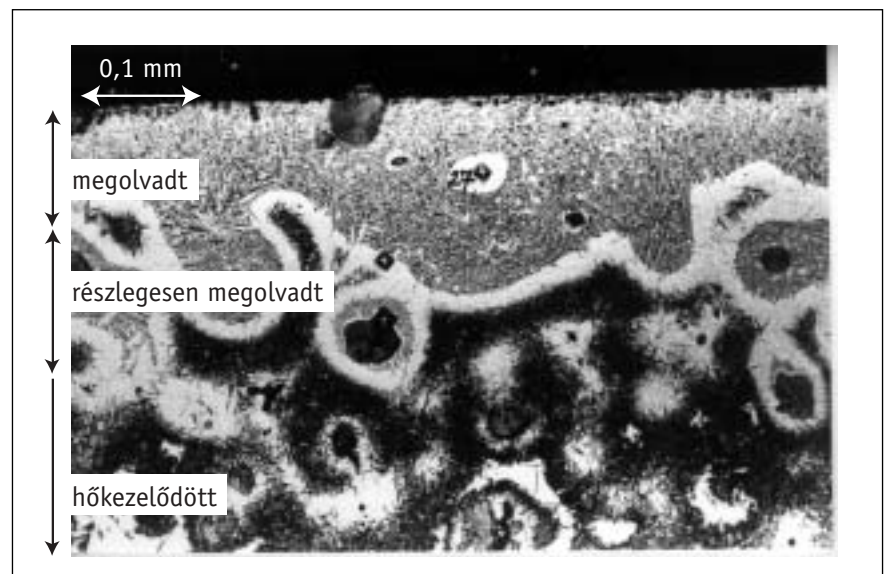
A maratott metallográfiai csiszolatok alapján néhány részletről nem lehetett eldönteni, hogy az olvadék és az austenit gyors hűlése során milyen fázisok, ill. szövetelemek képződtek. Ennek kiderítésére röntgendiffrakciós vizsgálatot végeztünk. A próbatest felszínét síkköszörűvel megmunkáltuk, majd minden egyes további réteg eltávolítása után elvégeztük a fázisok kvalitatív és kvantitatív elemzését. A köszörüléssel lemunkált réteg vastagságát mikrométeres vastag-

ságméréssel határoztuk meg. Ezek a vizsgálatok a Miskolci Egyetem Fémtani Tan-székének röntgendiffrakciós laboratóriumában készültek.

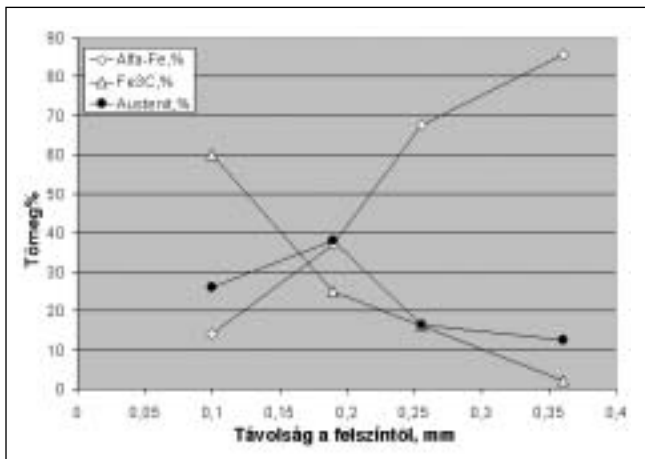
Vizsgálatsorozatunk célja tehát a maradék austenit létének és mennyiségének meghatározása volt, ezért az α -ferrit és a martensitfázisok megkülönböztetésére nem volt szükségünk. Mivel a röntgensugár által vizsgált felszínre kevesebb, mint 5% grafit jutott, ezért ennek mennyiségi meghatározása csak olyan nagy relatív hibával lenne lehetséges, hogy annak értékeléséből megalapozott következtetéseket nem lehetne levonni.

Ezekre tekintettel három fázis (α -ferrit, cementit és austenit) mennyiségének változását követtük nyomon a felszíntől mért távolság függvényében. A mérési eredményeket diagram formájában mutatja a 10. ábra. Az olvasztás, ill. a felületi feszültség és a védőgázáramlás hatására egyenetlenné vált felületen végzett röntgendiffrakciós vizsgálat nem szolgálhat összehasonlításra alkalmas mérési eredményeket, ezért ezek az adatok nem szerepelnek a diagramban.

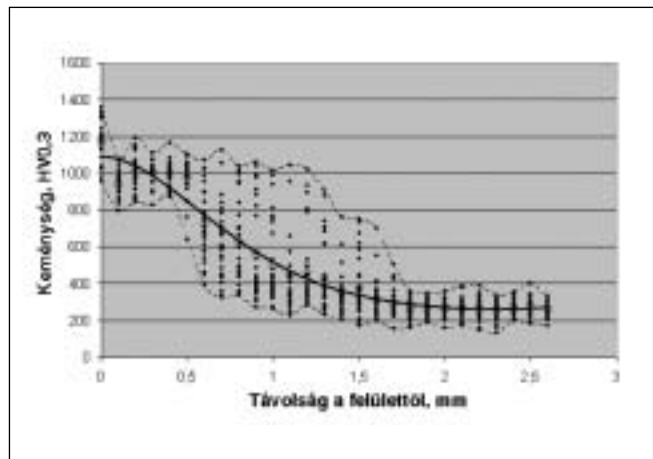
A 10. ábrán látható, hogy az austenit fázis mennyiségének kb. 0,2 mm-rel a felszín alatt maximuma van. A 9. ábrán bemutatott metallográfiai fotó szerint a 0,2 mm körüli sávban található a legtöbb olyan terület, amely a korábban olvadékkal érintkező szilárd részt tartalmazza, ami a nital hatására világosabbra maródott, mint a többi, egyébként martensites rész.



■ 9. ÁBRA. A felületre merőleges sík maratott metallográfiai képe (3% Nital)



■ 10. ÁBRA. Egyes fázisok mennyiségének változása a lézersugárral kezelt rétegben röntgendiffrakciós vizsgálat alapján



■ 11. ÁBRA. A lézersugárral átolvasztott réteg keménységének változása a felülettől mért távolság függvényében

Mint ismert, a $\gamma \rightarrow \alpha$ fázisátalakulás során az austenit karbontartalmának növekedése az M_s (martensites fázisátalakulás kezdő) hőmérséklet-csökkenésével és a maradék austenittartalom növekedésével jár. Ez alapján már jogosan feltételezhető, hogy az austenit martensit alakulása helyenként karbonban erősen túltelített szilárdoldatból indult ki.

Műszaki és alkalmazástechnikai szempontból lényeges kérdés a lézersugárral kezelt réteg mechanikai tulajdonsággyűjtése. A létrejött tulajdonsággyűjtésből, a vizsgált ötvözetnél és különösen a gépészeti alkalmazás esetén, a réteg keménységének van fontos szerepe. Ennek vizsgálati eredményeit a 11. ábrán látható diagram mutatja.

A több, mint 800 ultrahangos keménységmérési adat alapján az alapanyag keménysége 263 ± 60 HV_{0,3}. A keménységmérési adatok nagy szórása a szövetelemek erősen különböző keménységének következménye. A legnagyobb szórás a felszín alatt 0,4–1,7 mm-es sávban van, ahol a kemény martensit mellett a lágyabb ferrit és a grafit is megtalálható. Sokkal kisebb a szórás a

ferrit-perlites és a ledeburitos sávban.

A lézersugárral végzett felületi átolvasztás hatására az alapanyag keménysége jelentősen megnövekedett a felület alatti 1,6 mm-es rétegben. A keménység-növekedés mértéke a felület közvetlen közelében elérte az ötszörös értéket, a mért maximum 1360 HV_{0,3} keménység volt.

Összefoglalás

A 3,5% C-tartalmú ferrit-perlites gömbszögletes ötvözetvas felületének lézersugaras átolvasztása számos érdekességet eredményezett. A lézersugár rezgetésével 22 mm szélességű sáv olvadt meg, ami a nagy teljesítménysűrűségű kezelésekre jellemzően nagy sebességgel hűlt. A gyors hőmérséklet-változás olyan szövetszerkezetek kialakulásához vezetett, amilyen a vizsgálati anyagban a hagyományos technológiák alkalmazása esetén nem fordul elő.

Reményteljes jelenség az alapanyag 300 HV keménységű felületének 1000 HV keménységre növekedése különösen azért, mert ez, ahogyan a metallográfiai

vizsgálatok eredménye mutatja, grafit rögöket tartalmaz. Gépészeti alkalmazás esetén ez a szerkezet a kemény, kopásálló felület és az önkenést biztosító grafit szinergikus hatását eredményezi.

Irodalom

- [1] Bakondi K.- Buza G.: "Surface finish by means of high power laser", Acta Technica Acad. Sci. Hung., (1990) 103 (1), p. 15-26.
- [2] Roósz A. - Teleczky I. - Boros F. - Buza G.: "Solidification of Al-6Zn-2Mg alloy after laser remelting"; Mater Sci. and Engi. A173 (1993), p. 351-355.
- [3] Buza G., Roósz A., Teleczky I., Janik B., Sólyom J.: "Laser Surface Smelting of Hypereutectic AlSi Alloy", Heat Treatment and Surface Engineering of Light Alloys, Budapest, 1999. Szeptember 15-17., p. 181-184.
- [4] J. Takács, G. Buza, Z. Kálazi, P. Gál, T. Markovits: Hegesztés minőségjavítása lézeres eljárásokkal. Gép: 2000. 7.sz. ISSN 0016-8572 p. 68-71



■ Kerékpárpedál Mg-ötvözetből
<http://www.bigboysports.de/htmlkat/pedale.htm>

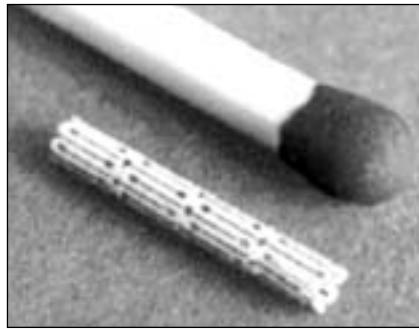
Magnéziumimplantátum a koszorúérbe

„Forradalom a koszorúérbetegek számára” címmel tudósít a „Libre Belgique” 2004. január 27-i száma arról, hogy a koszorúértágításoknál 20 éve alkalmazott implantátumok (sztentek) területén világszenzációt jelentő esemény zajlott le 2003. december 17-én. Ezen a napon alkalmaztak flamand orvosok a bonheideni Imelda kórházban a világon először – de rögtön 10 betegnél – olyan koszorúérszentet, amelynek anyaga a szokásos rozsdamentes acél, kobaltötvözet vagy nitinol helyett: magnéziumötvözet.

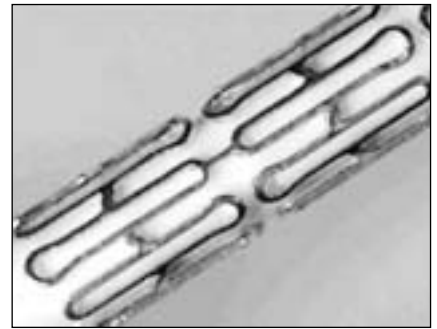
Öt héttel a beültetés után tették közzé a hírt, amikor már látható volt, hogy a beavatkozások sikeresek voltak. A betegek számára óriási előnyt jelent, hogy a hagyományos anyagokkal szemben – amelyek a beteg élete végéig a koszorúérben maradnak, és nem ritkán okoznak új komplikációkat – a magnéziumsztent a bioabszorpció révén „felszívódik” a szövetben. Ez annál is inkább kedvező, mivel a kitágított érfalnak csak annyi ideig szükséges a belső megtámasztás, ameddig meg nem erősödik.

A „Lekton Mg” magnéziumsztenteket a svájci BIOTRONIC AG. és a német Cotronik fejlesztette ki, és az előklinikai tapasztalatok szerint kb. 56 nap alatt teljesen felszívódik az érfalban. Magyarországon május elején mutatták be egy szakmai konferencián ezt az új gyógyászati terméket. Az új, biológiailag felszívódó alapanyagú sztentnek már a gyógyszerbevonatos változata is megjelent a Biotronik és a CONOR Medsystems fejlesztéseként.

A magnéziumsztentek alapanyaga:



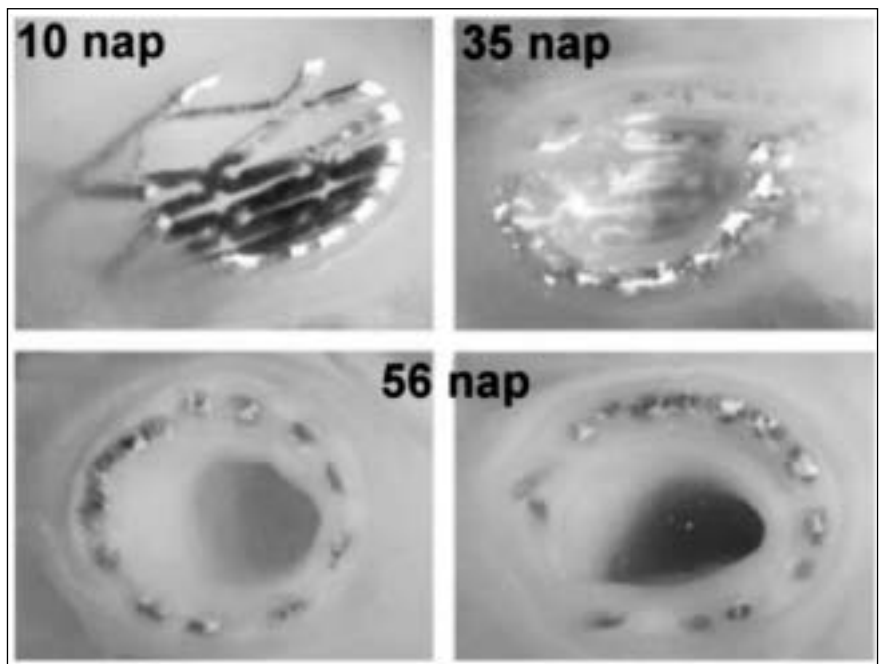
■ 1. KÉP. Mg-ötvözetből készült érprotézis
 ☞ http://www.aulis.de/zeitschriften/ergaenzungen/pdn_chemie/04-2002/thementeil/Mg_Stent.jpg



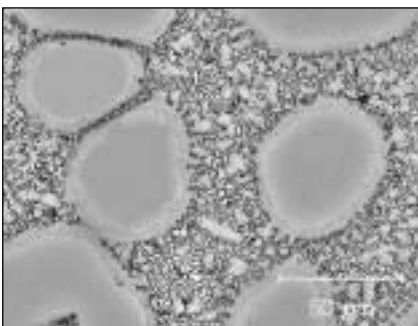
■ 2. KÉP. Mg-ötvözet anyagú sztent
 ☞ http://www.mh-hannover.de/einrichtungen/medimplant/scripts_ger/projekte.htm

Alloy AE21 típusú magnéziumötvözet (2% Al és 1% ritkaföldfém ötvözővel).

☞ http://www.lalibre.be/article.phtml?id=12&subid=124&art_id=151480



■ 3. KÉP. A Mg-szent érfalban való felszívódásának szakaszai
 ☞ http://www.mh-hannover.de/einrichtungen/medimplant/scripts_ger/projekte.htm



■ Az zürichi műszaki egyetemen autóiipari felhasználásra kifejlesztett Mg-ötvözet szövet-szerkezete ☞ <http://www.ethlife.ethz.ch/articles/tages/MaterialsDay.html>



■ Magnéziumötvözetből öntött keréktárcsa
 ☞ <http://www.groupawheels.com/prod01.htm>



■ Magnéziumszalag a fényképezés hőskorából
 ☞ <http://www.saosnois.com/musee%20objets%20usuels/musee-usuel.htm>