

forrasztásos kötés erősségében. Mivel a konkrét áramköri lemezen a felhasználás során nedvesítési problémák léptek fel, ezért a kérdés az volt, hogy utólagos vizsgálattal tudjuk-e lokalizálni a hibaforrást.

A vizsgálat során felvettük az Au, Ni, P, Cu és O elemek mélységi elemeloszlását. Az Au, Ni, P adatsorból kiderült, hogy a nikkelt kibújik a felületre, az aranyhoz viszonyítva 5-10% koncentrációban van jelen (5. ábra).

A Cu és O elemek mélységi eloszlásából az arany és nikkelt rétegek kompaktságára vonatkozó következtetéseket vonhattunk le. A ~150 nm vastag felületi aranyrétegben a Cu 0,1% koncentrációban volt jelen, emellett egyenletesen nagy oxigénkoncentrációt mértünk. Míg a Cu jelenléte az aranyfürdő tisztaságán keresztül a Ni-réteg kompaktságát kérdőjelezte meg, addig az O jelenléte az arany porózus, gázok által átjárható szerkezetére utalt. Ezzel a következtetéssel összhangban az Au/Ni réteghatárnál – azaz a nikkelt réteg felszínén – több oxigén volt található, mint nikkelt. A nikkelt felületén oxidréteg alakult ki, ami miatt az a továbbiakban nem volt nedvesíthető. Az oxigén a nikkelt réteg mélyebb részeibe is eljutott. A levont következtetéseket az elektronmikroszkópos csiszolati vizsgálatok eredményei is megerősítették.

Köszönetnyilvánítás

A cikkben ismertetett kutatómunka a TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0019 jelű projekt részeként – az Új Széchenyi Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Irodalom

- [1] Holeck, H.: Material selection for hard coatings. *Journal of Vacuum Science & Technology A* 4 (1986) 2661–2672.
- [2] Ye, T. – Suo, Z. – Evans, A. G.: Thin film cracking and the roles of substrate and interface. *International Journal of Solids and Structures* 29 (1992) 2639–648.
- [3] Ajayan, P. M. – Schadler, L. S. – Braun, P. V.: *Nanocomposite Science and Technology*. (2003) Wiley-VCH Verlag, Weinheim
- [4] Oechsner, H.: Recent instrumental developments in surface and thin-film analysis by electron and mass spectrometric techniques. *Applied Surface Science* 70–71 (1993) 250–260.
- [5] Vad, K. – Csik, A. – Langer, G. A.: Secondary neutral mass spectrometry – a powerful technique for quantitative elemental and depth profiling analyses of nanostructures. *Spectroscopy Europe* 21 (2009) 13–16.

- [6] Hoffman, S.: Sputter depth profile analysis of interfaces. *Reports on Progress in Physics* 61 (1998) 827–888.
- [7] Riviere, J. C. – Myhra, S.: *Handbook of Surface and Interface Analysis: Methods for Problem-Solving*. (2009) 2nd ed., Taylor & Francis Groups, LLC
- [8] Lévai G.: Acéllemezek színező tűzhorganyzása cink-titán fémolvadékkal. PhD-értekezés, Miskolci Egyetem, Miskolc, 2013
- [9] Le, Q. C. – Cui, J. Z.: Investigation on colourisation regularity of colouring hot dip galvanisation processing. *Surface Engineering* 24/1 (2008) 57–62.
- [10] Perez del Pino, A. – Fernandez-Pradas, J. M. – Serra, P. – Morzenza, J. L.: Coloring of titanium through laser oxidation: comparative study with anodizing. *Surface and Coatings Technology* 187 (2004) 106–112.
- [11] Van Gils, A. – Mast, P. – Stijns, E. – Terryn, H.: Colour properties of barrier anodic oxide films on aluminium and titanium studied with total reflectance and spectroscopic ellipsometry. *Surface and Coatings Technology* 185 (2004) 303–310.
- [12] Kun, É. – Török, T. – Sós, D. – Szabó, M. – Csik, A. – Haki, J. – Vad, K.: Investigation of immersion silver coatings developed on microelectronic-grade copper foils. Kézirat, MultiScience-MicroCAD 2014, Miskolc

SZIRMAI GEORGINA – TÓTH JÓZSEF – TÖRÖK TAMÁS

Alumínium felületállapotának módosítása és XPS-vizsgálata hipofoszfites előkezelés és kémiai nikkelt-foszfor bevonatképzés után

1. Bevezetés

A legtöbb esetben a fémréteg leválasztása előtt a passzív állapotú fémek felületét aktívvá kell tenni, ezt igényli a kémiai nikkelt réteg leválasztásának technikája is [1]. Ehhez kapcsolódóan, gyakran egy megfelelő előkezelési folyamat is szükséges lehet azért, hogy a bevonatrétegek jó adhézióját biztosíthassuk. Az alumí-

nium felületén vékony passzíváló hatású oxidréteg levegőn mindig kialakul. Ilyen passzív réteg eltávolítása után az aktivált felületet gondosan elő kell készíteni a nikkelt-foszfor csírák redukciós leválasztásának/nukleációjának kiváltása érdekében. A kémiai nikkelezés során nátrium-hipofoszfiteket alkalmazunk vízoldható, redukáló adalékként. A felület előkészítése megvalósítható különböző

előkezelő technikák segítségével, amelyek közül egy, az úgynevezett „cinkázás” széleskörűen alkalmazott az iparban. Az előbb említett eljárás során a fémes felületet fedő oxidréteg feloldódik a lúgos cinkátos fürdő hatására, majd egy vékony cinkfilm képződik a felületen, amely megvédi az alumíniumot az újraoxidálódástól. Kémiai nikkelezés során ez a cinkréteg, aktívabb fémes felüle-

Munkánk során egy új felület-előkezelési eljárást fejlesztettünk ki. Az eljárás alumínium felületének hatékony és környezetvédelmi szempontból előnyös előkezelését biztosítja erős és kiváló felületi minőségű, jó adhéziójú kémiai nikkelbevonat leválasztásához. A felületkezelés során alumínium szubsztrátot merítettünk enyhén savas (tejsavas) nátrium-hipofoszfitos oldatba azért, hogy módosítsuk a passzív felületet, és alkalmassá tegyük nikkel-foszfor csírák redukív kémiai leválasztására, elektromos áramot nem alkalmazó nikkel fürdőből. Az újszerűnek tekinthető előkezelési technika alkalmazása folyamán a hipofoszfít anionok felületi adszorpciója fontos szerepet játszik. Annak érdekében, hogy figyelemmel kísérjük és jellemezzük azokat a felületi reakciókat és adszorpció jelenségeket, amelyek az előkezelés során lejátszódnak, különböző felületi vizsgáló és elemző technikát (pásztázó elektron-mikroszkópia – SEM, transzmissziós elektron-mikroszkópia – TEM, energia diszperzív röntgen spektrometria – EDX, röntgen fotoelektron spektroszkópia – XPS) alkalmaztunk.

Az Al K α gerjesztésű fotoelektron spektrumok (XPS) P 2p, O 1s, C 1s, Al 2p, Ni 2p színképi sávjait részletesen elemeztük, amelyeknek a segítségével a Ni-P felületek alkotóit kémiailag is azonosítottuk, és meghatároztuk azt is, hogy a szóbanforgó elemek milyen kémiai kötésben vannak jelen a Ni-P felületeken.

vizsgálatok alapján megállapítottuk, hogy a választott vizsgálati eljárások alkalmasak a foszfor kimutatására a felületi vékonyrétegben.

2. Kísérletek

A hipofoszfitos előkezelés

Kísérleteink során alumínium bázisú (AlMg₂), a fent említett vizsgáló eljárások elvégzéséhez alkalmas méretű hengerelt lemezeket alkalmaztunk. Megfelelő tisztítást követően az AlMg₂ mintákat a tejsavat és hipofoszfítot (NaH₂PO₂·H₂O) tartalmazó fürdőbe mártottuk. A fürdő hőmérsékletét 85 °C-on tartottuk, és laboratóriumi mágneses keverővel kevertük. A teljes folyamat főbb lépéseit az 1. ábrán mutatjuk be. A kezelési idők az egyes lépéseknél változhatnak, a kémiai nikkelréteg leválasztásának időtartama az elérni kívánt rétegvastagság függvénye.

Vizsgálati módszerek

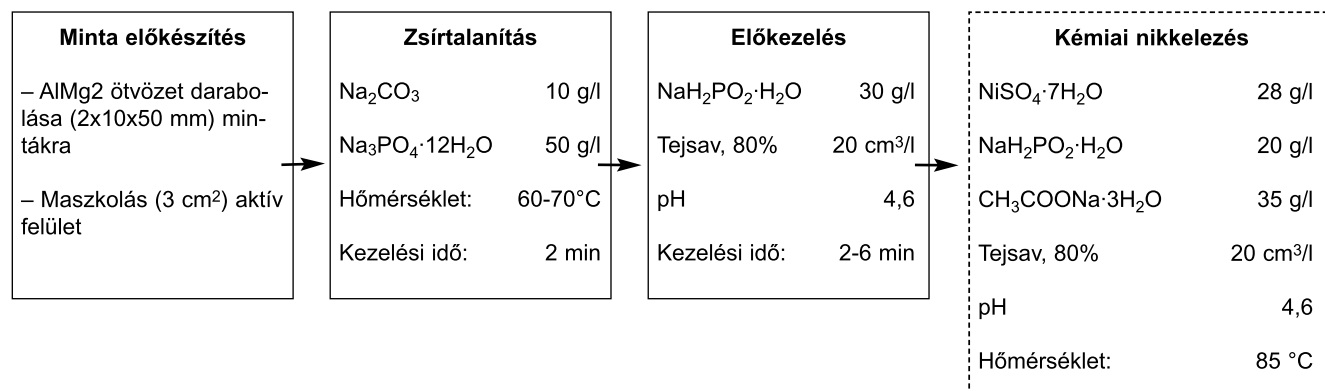
Az XPS-vizsgálat során a minta atomjai röntgensugárzás hatására ionizálódnak és gerjesztődnek. A röntgen gerjesztés hatására a szilárd minták felületi atomjaiból kilépő elektronok energiáját és intenzitását mérjük. Ilyen módon az elemek kémiai állapotáról és relatív koncentrációjukról információ nyerhető. Az eljárás nagy felületi érzékenységgel rendelkezik, alkalmas vékonyrétegek vizsgálatára, nemcsak az elemi összetételük, a kémiai állapotuk és a koncentrációjuk, hanem a vastagságuk meghatározására is. Alumínium K α gerjesztéssel XPS-méréseket végeztünk, nagy energiafelbontással, az ATOMKI saját fejlesztésű XPS-beren-

téből adódóan elősegíti a kémiai nikelfürdőben a Ni-P réteg leválasztását.

Másik hagyományos előkezelési eljárás az úgynevezett elő-nikkelezéses leválasztás. Ezen folyamat során az alumínium mintákat nikkelsót és hidrogén-fluoridot tartalmazó előkezelő oldatba mártják, ahol a felületen nikkelfilm alakul ki kontakt-redukciós reakció során. Ennek az előkezelésnek, azaz a vékony nikkelréteg létrehozásának a fő célja az, hogy elősegítse a nikkel „embriók” kialakulását, kémiai nikkelréteg leválasztása során [2, 3].

Egy harmadik féle előkezelési eljárás a Miskolci Egyetem Metallurgiai és Öntészeti Intézetében került kifejlesztésre. Az eljárás fő célja egy olyan adszorbeálódott hipofoszfitos

réteg létrehozása az alumínium szubsztrát felületére, amely a kémiai redukciós reakció kezdeti fázisában elősegíti a Ni-P réteg leválását. Az előkezelendő mintákat egy enyhén savas, nátrium-hipofoszfítot és tejsavat tartalmazó fürdőbe merítjük, ahol egy adszorbeálódott hipofoszfít réteg alakul ki a felületen [2, 3]. Jelen munkánk során részletesen vizsgáltuk az adszorbeálódott foszfort tartalmazó réteg nukleációjának és adhéziójának eredményeit, valamint a leválasztott Ni-P réteg kémiai kötését. SEM-, TEM-, EDX- (BAY-NANO, Miskolc) és XPS- (ATOMKI, Debrecen) vizsgálatokat végeztünk annak érdekében, hogy megválasszunk: kimutatható-e a foszfor bármilyen kémiai kötésben az alumínium szubsztrát felületén hipofoszfitos-tejsavas előkezelés után? A



■ 1. ábra. Kémiai nikkel-foszfor bevonat leválasztásának műveleti lépései

dezésén (ESA-31) [4–6] a hipofoszfites előkezeléssel módosított alumíniumötvözet felületén. A P 2p, P 2s, C 1s és O 1s elektronpályák részletes XPS-spektruma került elemzésre a mélység függvényében. A Vacuum Generators által gyártott VG21-típusú hideg kisüléses ionágyúval végeztük az ionporlasztásokat, az ionporlasztási lépések által a felületi réteget különböző mélységekben tudtuk elemezni nanométer skálán. Az egyes ionporlasztások során az Ar⁺ ionok energiája 2 keV, az Ar⁺ ion áramsűrűség 15–20 μA/cm², az ionnyaláb beesési szöge a mintafelület felületi merőlegeséhez képest 40 fok volt. Az EWA számítógépes program [5] segítségével az említett atomi belső héjak elektroncsúcsai (elektron színképvonalai, még szabatosabban szinképi sávjai) elemzésre kerültek. A vonalak helyzetéből a belső héjak kötési energiáját határoztuk meg, ebből a kémiai állapotra következtetünk. Az elektronvonalak területarányaiból pedig a relatív atomi koncentrációkat határoztuk meg. A kötési energia skála hitelesítésére az alumínium fém kötési energiáját 72,9 ± 0,1 eV-nak fogadtuk el, amelyet az ESA-31-gyel korábbi mérésekben is tapasztaltak, és a nemzetközi szakirodalomban is elfogadott érték. A kémiai állapotok azonosításához a NIST adatbázisát használtuk [7]. A BAY-NANO Kutató Intézetben SEM (Hitachi 4800) és TEM (FEI TECNAI G220 X-TWIN) vizsgálatokat végez-

1. táblázat. A NiP bevonatos minták XPS-vonalai közvetlenül a bevonatképzés utáni állapotban (ionmarás előtt), és Ar⁺ ionokkal történt felületi maratás után

NiP bevonat (30 min) ionmarás előtt		NiP bevonat (30 min) ionmarás után	
	Ekötési (eV)		Ekötési (eV)
Ni 2p 3/2 "shake up"	857,0	Ni 2p 3/2	853,3
Ni 2p 3/2	852,9	P 2s-foszfid	188
O 1s	532,4	P 2p-foszfát	130,2
C 1s, (C=C)	287,9	Ni "shake up"	115,3
C 1s (C-H, C-C)	285,3	Ni 3s	111
P 2s foszfat	190,3	O 1s	533,5
P 2s foszfid	187,6	O 1s	531,3
P 2p-foszfát	132,9	C 1s	285,0
P 2p-foszfid	130,0		
Ni 3s "shake up"	115,2		
Ni 3s	111,0		

tünk a felületen adszorbeálódott foszfor laterális eloszlásának (SEM-kép felvétele pásztázással) és az elemi koncentráció arányának (röntgen szinképi mérés: EDX) a meghatározása céljából.

3. Eredmények és tárgyalásuk

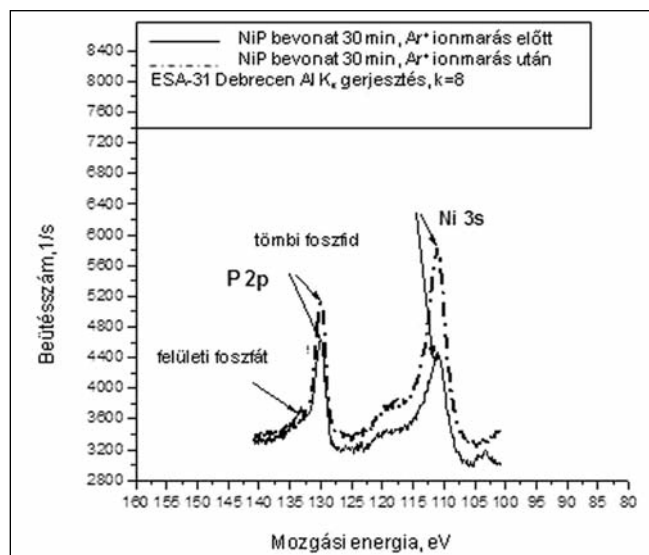
Az XPS-vizsgálatokhoz az AlMg2 mintákat alkalmas méretűre vágtuk (10 mm × 10 mm). A mintákat polietilén edénybe helyeztük, és acetonnal töltöttük fel, majd ultrahangos fürdőbe tettük. Öblítést követően az 1. ábrán szereplő összetételű, saját készítésű zsirtalanító oldatot használtunk. Zsirtalanítás és öblítés után a mintákat tejsavas és hipofoszfites kezel-

nikkelező fürdőben tartottuk a Ni-P jelzésű mintákat. A Ni-P bevonatolt mintákat argon ionokkal bombáztuk (a fentebb említett ionmarási paraméterekkel). Az XPS-vonalak kötési energiáit listázva, Ar⁺ ionbombázás előtt és után az 1. táblázatban mutatjuk be.

A felületi foszfátaréteg P 2s és 2 p csúcsainak kötési energiái hasonlóak a szakirodalomban leírtakkal. A Ni 2p és a Ni 3s „shake up” mellécsúcsok energiái a főcsúcsokhoz képest, rendre 4,1 eV és 4,2 eV, szintén jól egyeznek a szakirodalomban található értékekkel [7–8]. Az O 1s kisebb kötési energiájú összetevője oxidra utal, a magasabb kötési energiájú összetevője szerves oxigén vagy hidroxid jelenlétét mutatja.

A 2. ábra bemutatja a P 2p és Ni 3s csúcsokat az XPS-spektrumon. Az ábrán látható spektrumok a kémiai módszerrel nikkelezett Ni-P bevonatról készültek, Ar⁺ ionporlasztás után. A csúcsok sztöchiometriai értékelésével az atomi koncentrációarányokat meghatároztuk. A felületen a foszforoxid is megjelent, mint korróziós termék. A kémiai nikkelezett minták felületének 1-3 nm-ig történő ionmaratása után a korróziós terméket jelző csúcs komponens, amely egy vállként jelent meg a P 2p XPS-vonalban, eltűnt. A korróziós termék a minta felületén a szabad levegővel való tartós érintkezés következménye.

A P/Ni atomi koncentrációarányokat a következő egyenletből határoztuk meg [8]:



2. ábra. A kémiai nikkelezett Ni-P bevonat P 2p és Ni 3s XPS-spektruma (bevonatképzés ideje: 30 min), Ar⁺ ionmaratás előtt és után (2keV, 15-20 μA/cm², 1 min)

2. táblázat. Az AlMg2 minták felületén található elemek kémiai állapota a kezeletlen és előkezelt (öblített és öblítés nélküli) mintákon

kezeletlen minta (Ar ⁺ ionporlasztás előtt)		kezeletlen minta (Ar ⁺ ionporlasztás után)		előkezelt és öblítés nélküli minta		előkezelt és öblített minta	
kémiai komponensek	E _{kötési} (eV)	kémiai komponensek	E _{kötési} (eV)	kémiai komponensek	E _{kötési} (eV)	kémiai komponensek	E _{kötési} (eV)
O 1s	532,3	O 1s	532,6	O 1s	532,5	O 1s	533,4
C 1s	289,8	Al 2p oxid	75,8	C 1s	287,7	C 1s	289,0
Al 2p oxid	76,0	Al 2p fém	72,9	C 1s	285,8	C 1s	286,4
Al 2p fém	72,9	Mg 2p	51,9	P 2s	191,6	P 2s	192,6
Mg 2p	51,9			P 2p	134,5	Al 2p oxid	75,9
				Al 2p oxid	75,9		
				Na 2s	64,3		

$$\frac{I_{P2p}}{I_{Ni3s}} = \frac{n_P}{n_{Ni}} * \frac{\sigma_{P2p}}{\sigma_{Ni3s}} * \left(\frac{E_{kin}(P2p)}{E_{kin}(Ni3s)} \right)^{1.75}$$

ahol I = csúcs terület, σ = fotoionizációs hatáskeresztmetszet, E_{kin} = kinetikus energia, n = atomi koncentráció.

A Ni-P bevonatra kiszámolt eredmény a következő: P = 9,9 at%, Ni = 90,1 at%, bevonatképzés ideje: 30 min.

Kétféle szempont szerint vizsgáltuk a mintákat XPS-berendezés segítségével, annak érdekében, hogy megállapítsuk az öblítés hatását a hipofoszfitos-tejsavas előkezelést kapott mintákon. A 2. táblázat bal szegmense az alumínium szubsztrát XPS-adatait tartalmazza, melyet a kezeletlen AlMg2 minta ionmaratás előtti és utáni felületállapotának vizsgálata céljából készítettünk (2 keV, Ar⁺, ion áram sűrűség 15-20 $\mu A/cm^2$).

Az XPS-adatok kiértékelésénél a kötési energiákat az Al 2p színekpvo-

nal fém (72,9 eV) és oxid (75,9 eV) összetevőikhez képest, mint hitelesítési pontokhoz viszonyítottuk

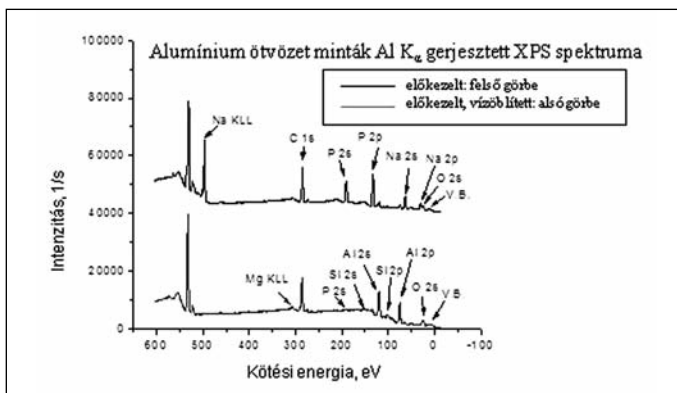
A 3. ábrán jól látható, hogy a jelentős P 2p csúcs a hipofoszfitos előkezelést kapott mintán, vizes öblítés követően gyakorlatilag eltűnt a spektrumból, legalábbis nem jelentkezik számottevő intenzitással. Ebből arra a következtetésre jutottunk, hogy az alumínium felületére adszorbeálódott foszforkomponensek nagy része lemosódott a felületről.

Miután az összes eredményt összevetettük, amelyek a különböző előkezelési idejű mintákra vonatkoztak, arra a következtetésre jutottunk, hogy a 2 percig kezelt minta bizonyult optimálisnak, ezért a 4. és 5. ábrán erről a mintáról készült SEM- és TEM-képek láthatóak. A felület öblítése nem javasolt, mivel a felület foszfortartalmú vegyületek borítják, helyenként nagyobb csoportosulásokban, mint ahogy ez a 4. ábrán is

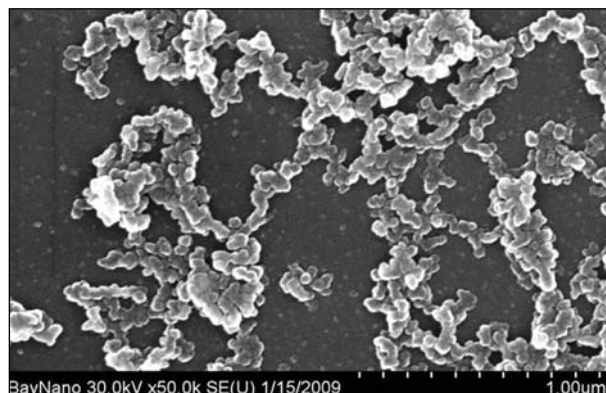
megfigyelhető. Az 5. ábra mutatja a 2 percig előkezelt és öblítés utáni minták TEM-képét és EDS karakterisztikus röntgen színekpvo-nalait, amelyek között a vékonyítási eljárás ellenére (amely a TEM-méréshez szükséges) is megmaradt a foszfor összetevőre jellemző vonal is, és az EDS-sel jól azonosítható volt, köszönhetően a TEM-EDS egyetlen átvilágítási pontra vonatkozó, lokálisan igen nagy elemzési érzékenységének.

4. Összefoglalás és következtetések

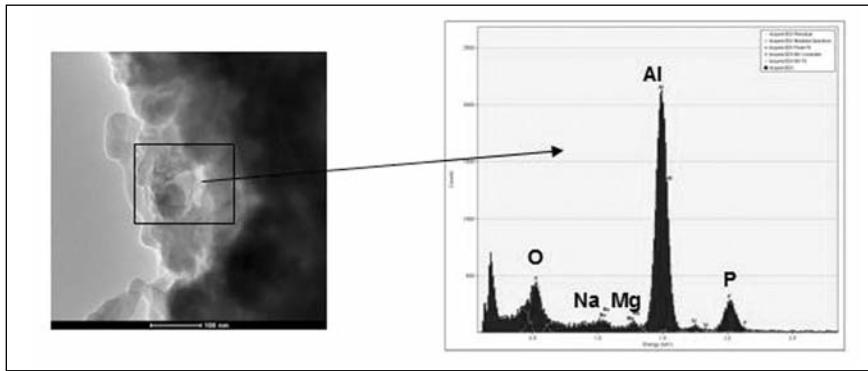
A hipofoszfitos és tejsavas oldatban (környezetkímélő technológia) előkezelt alumínium ötvözet (AlMg2) felületén adszorbeálódott foszforvegyületek megjelenését és formáját (fedettség, eloszlás, kémiai állapot) tanulmányoztuk különleges felületelemzési technikák segítségével (SEM, XPS, TEM, EDX).



3. ábra. Az előkezelt (felül), illetve az előkezelt, majd öblített (alul) AlMg2 minták felületéről készült áttekintő XPS-spektrumok



4. ábra. A hipofoszfitos és tejsavas oldattal 2 percig előkezelt AlMg2 minta (öblítés nélküli) SEM-képe



■ 5. ábra. Az AlMg₂ minta TEM-képe (bal) és EDS-spektruma (jobb) 2 perces hipofoszfitos és tejsavas előkezelést követően (öblítés utáni)

Az újszerű felület-előkezelő eljárás hatékonyságát mutattuk be a jelen tanulmányban. A felületvizsgálati módszerekkel sikerült bizonyítani, hogy az előkezelést követő vizes öblítés alkalmazása nem előnyös, mivel a felületre adszorbeálódott foszfor nagy része az öblítéssel lemosódik a felületről.

A kémiai nikkelfoszfor bevonatképzés megkezdése közvetlenül az adott előkezelés után nem befolyásolja károsan a kémiai nikkelfürdő élettartamát és hatékonyságát, mivel az utóbbi az előkezelő fürdő vegyi összetevőit oldott formában tartalmazza, és ezeken kívül még egyéb adalékokat is tartalmaz.

Az XPS-vizsgálatok során foszforvegyületeket azonosítottunk a Ni-P bevonat tömbi rétegeiben (elemi foszfor és foszfidok) és a legkülső felületén,

ahol a Ni-P bevonat foszfortartalma kis mértékben korrodált (foszfor-oxid, foszfát) a levegőn tartózkodás alatt.

Köszönetnyilvánítás

A kutatómunka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 projekt eredményeire alapozva a TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0019 jelű projekt részeként – az Új Széchenyi Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Ezúton szeretnénk megköszönni dr. Hegman Norbertnek az elvégzett TEM-, SEM-, EDX-vizsgálatokat.

Irodalom

[1] B. W. Donald (revised): ASM Handbook, Vol. 5., Surface Engineering,

- ASM International (1994) p. 290–30-8.
- [2] Takács D., Sziráki L., Török T. I., Korrosziós figyelő, XLV./3., 2005. p.11–19.
- [3] Török T. I., Surface treatment and modification, Department of Metallurgical and Foundry Engineering, Miskolc, 2007.
- [4] Kövér L., Varga D., Csery I., Tóth J., Tókesi K.: Surface and Interface Analysis 19 (1992/ 9)
- [5] J. Vegh: EWA: The spectrum evaluation program for XPS/UPS, ECASIA 95. 6th Eur. Conf. on Appl. of Surf. Interface Anal., Montreux, Switzerland, October 9–13, 1995. eds.: H. J. Mathieu, B. Reihl, D. Briggs., Chichester, etc., John Wiley and Sons (1996) p. 679–682.
- [6] J. Tóth, Gy. Molnár, D. Varga, I. Csery, L. Kövér, J. Kiss, I. Gál, A. Nagy, A. Domonyi, Zs. Kertész, J. Mosolygó, G. Tarr, G. Pető, I. Szabó, Y. Ould-Metidji, B. Gruzza, L. Bideux, V. Matolin, A. Sulyok, M. Menyhárd: 9th Eur. Conf. on Appl. of Surf. and Interface Anal. (ECASIA-2001), Avignon, France, 30 Sept.–5 Oct., 2001
- [7] C. D. Wagner, A. V. Naumkin, A. Kraut-Vass, J. W. Allison, C. J. Powell, Jr. J. R. Rumble: Nist X-ray Photoelectron Spectroscopy Database, Version 3.4, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD 2003; <http://srdata.nist.gov/xps/>
- [8] Practical Surface Analysis 2nd ed., Vol. 1, AES and X-ray Photoelectron Spectroscopy, Eds.: D. Briggs, M. P. Seah; John Wiley & Sons Ltd. Chichester, etc. (1990)

LASSÚ GÁBOR – SVÉDA MÁRIA – TÖRÖK TAMÁS

Az acél-tűzzománc kötéseösség és az átmeneti réteg vizsgálata változó égetési idő függvényében

A zománc-acél határfelület vizsgálatára, jellemzésére használt technikák hagyományosan a pásztázó (SEM: Scanning Electron Microscope) és a transzmissziós elektronmikroszkópos (TEM: Transmission Electron Microscope) vizsgálatok, valamint az ezekhez kapcsolt röntgen elemanalitikai eszközök. A minta előkészítése nehézkes, valamint az elemanalízis ezeknél a módszereknél nem terjed ki a könnyű elemekre. Ezért jelen cikkben az említett technikákon kívül a ködfénykissüléses gerjesztést alkalmazó optikai emissziós spektrometriás (GD-OES: Glow Discharge Optical Emission Spectrometry) mélységprofil-elemzési technikát is használjuk a korlátok kiküszöbölésére. Tesszük ezt azért, hogy a könnyű elemek viselkedését és azok hatását a kötésre is tanulmányozni tudjuk. Tapadás /mikrostruktúra/ minőségi mélységprofil eredményeket mutatunk be párhuzamosan, és értelmezzük azokat a változó égetési idők függvényében, a folyamatok mélyebb megértése céljából. Az eddigi zománc-acél határfelületi vizsgálatokat folytatjuk, kibővítjük a rendelkezésünkre álló vizsgálótechnika lehetőségeinek felhasználásával.