

Kerámia porok felületére leválasztott összefüggő kémiai nikkel-foszfor bevonat kialakítását befolyásoló tényezők tanulmányozása

Pázmán Judit*, Veréb Viktória, Török Tamás, Gácsi Zoltán

**Anyagtudományi Intézet, Miskolci Egyetem, H-3515 Miskolc-Egyetemváros*

femjuju@uni-miskolc.hu

Absztrakt

Kerámia részecskék kémiai nikkelezése többlépcsős folyamat. Felülettisztítás, felületaktiválás, felületbevonás, melyek mindegyike fontos lehet a végeredmény szempontjából. De hogyan módosul a rétegeképződés, milyen lesz a bevonat, ha a felülettisztítást vagy akár felületaktiválást részben vagy egészében elhagyjuk. Kutatómunkánk során ezekre a kérdésekre kerestük a választ, és alumínium-oxid illetve szilíciumkarbid szemcséken elvégzett kísérleti eredményeinket és az ezekből levonható következtetéseinket jelen cikkünkben foglaltuk össze.

Abstract

The electroless nickel plating of ceramic particles are a multi-step process. Each step that is surface cleaning, surface activation and surface coating, is important from the view-point of the end-product. But how the deposit formation is modified, what the coating will be, if the surface cleaning or the surface activation are left partially or fully from the technology. In our research work these queries would be answered. The results of the research in the surface coating of alumina and silicon carbide particles and deducible conclusions are summarized in our present paper.

Keywords: electroless nickel plating, alumina powder, silicon carbide particles, pre-treatment methods

Bevezető

A szélsőséges felhasználási körülmények olyan összetett anyagrendszerek kifejlesztését igényelték, melyek a hagyományos, monolitikus anyagtypusok kedvező fizikai és mechanikai tulajdonságait ötvözik magukban. Ezen kutatások eredményeként jöttek létre a kompozitok, melyek öntészeti illetve porkohászati módszerekkel előállított fém-fém, polimer-polimer, kerámia-kerámia, fém-kerámia, fém-polimer, kerámia-polimer típusú anyagrendszerek. A kompozitok lényege a két anyagfajta együttműködésében rejlik, melynek kulcseleme a határfelületi kötés minősége. Mindkét gyártástechnológia során gondot jelent ennek megfelelő kialakítása, mely az eltérő fizikai és kémiai természettel rendelkező kiinduló anyagok használatából ered.

Pázmán J, Veréb V, Török T, Gácsi Z, *Anyagok Világa (Materials Word)* 10(3) (2012) 1-13

A probléma megoldása többféle módon lehetséges, ilyen pl. a kerámia szemcsék fémessé tétele, mely kulcsfontosságú kutatási témává vált az elmúlt évtizedekben. Ez tulajdonképpen a kerámia szemcsék felületére felvitt fémréteget jelenti. A szakirodalom alapján kerámia szemcséket galvanizálással [1], mechanikai ötvözéssel [2], illetve kémiai fémleválasztással [3-4], egyaránt be lehet vonni. Azonban a kerámia szemcsék erős kovalens kötésekkel rendelkező rácsszerkezetűeknek köszönhetően kémiailag inert felülettel rendelkeznek, így felületbevonás előtt a szemcsék felületét aktiválni kell, melynek hiányában a fémréteg leválasztása gátolttá válik. Ugyancsak fontos lépés lehet az aktiválást megelőző felülettisztítás, melyet többnyire ultrahangos mosással [5-6] végeznek, de a szemcsék néhány száz Celsius-fokon történő 1-2 órás hevítése [7] is megoldásként szolgálhat.

A katalitikusan aktív felületet biztosító előkezelési módszerek igen sokfélék. Azonban a szakirodalmi adatok alapján többnyire egy kétlépcsős ón-kloridos érzékenyítést és palládium-kloridos aktiválást magában foglaló előkezelést alkalmaznak. Ezzel a módszerrel egyaránt aktiválható sárgaréz lemez [5], karbon nanocső [8], szilíciumkarbid [7], bórkarbid [9], nikkell-oxiddal és ittrium-oxiddal stabilizált cirkón [10], pórusos karbon [11], valamint mezopórusos alumínium-oxid membrán [6] is. Azonban az egyes esetekben az érzékenyítő oldat összetétele és az alkalmazott paraméterek igen eltérőek. Az ón-kloridos érzékenyítő oldat összetétele többnyire 10 g/l SnCl_2 , melyhez eltérő mennyiségű sósavat adagolnak. Az érzékenyítés minden esetben szobahőmérsékleten történik, az alkalmazott idő pedig néhány perctől akár egy óráig is terjedhet. Az aktiválást akár ppm-nyi [11] vagy 0,2 [9]; 0,3 [12]; illetve 0,5 g/l [5] koncentrációval rendelkező palládium-kloridos oldatban és az érzékenyítéshez hasonlóan különböző ideig szükséges elvégezni.

Az aktivált felületű szemcsék felületbevonása mind savas [13], mind lúgos kémiai nikkell fürdőből [9] lehetséges. A kémiai fémleválasztáshoz használt fürdők összetétele feladatcsoportonként azonos. Vagyis minden esetben szükséges egy nikkelforrás, mely a legtöbb esetben nikkell-szulfát ($\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), szükséges egy redukálószer, mely a kémiai fürdő nikkell ionjait elemi nikkellé redukálja és ezzel a felületi réteg kialakítását biztosítja. Ez sok esetben nátrium-hipofoszfát ($\text{NaH}_2\text{PO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$), melynek eredményeként a levált nikkell bevonat nem tiszta nikkell, hanem nikkell – foszfor réteg. Emellett a fürdő stabilitásáért felelős alkotók is szükségesek, mint pl. a komplexképző, mely lehet ammónium-klorid (NH_4Cl) vagy nátrium-citrát ($\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), melynek feladata, hogy a nikkell ionokat oldatban tartsa és a puffer adalék, mint a nátrium-acetát, propionsav, amely a fürdő pH értékét szabályozza. A fürdő élettartamát stabilizálószer adagolásával lehet megnövelni, ez nehézfém ionok (Pb^{2+} , Cd^{2+}) ppm-nyi mennyiségben történő hozzáadását jelenti [14].

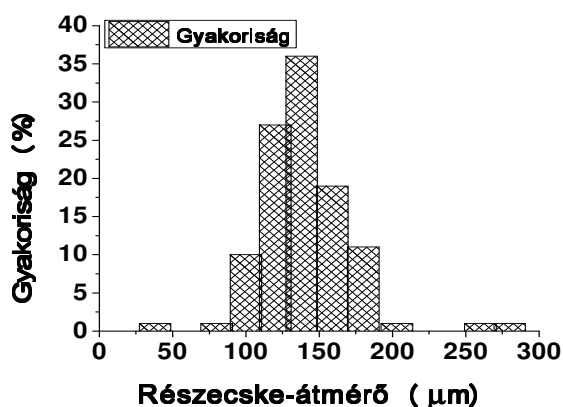
Jelen cikkünkben az egyes lépések fontosságára hívjuk fel a figyelmet, és megmutatjuk, hogy milyen technológia alkalmazása mellett lehetséges szilícium illetve alumínium-oxid részecskék felületbevonása kémiai nikkellréteggel.

Kísérleti körülmények

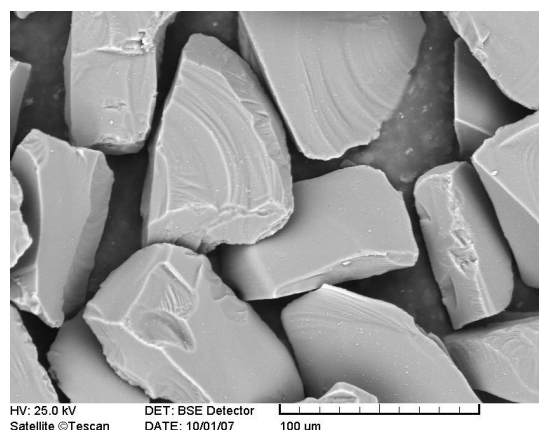
Kísérletekhez használt anyagok

A felületkezelés szempontjából nagyon fontos a bevonandó poranyag felületi minősége és szemcseméret-eloszlása, ezáltal a fajlagos felülete, a kémiai összetétele, elsősorban a szennyezők mennyisége, mely erősen befolyásolhatja a kémiai nikkelfürdőben lejátszódó folyamatokat. A kísérleteknél használni kívánt kerámia szemcsék esetén a szemcsék méreteloszlását Leica Qwin számítógépes képelemzővel határoztuk meg. A fajlagos felület meghatározása micromeritics márkájú TriStar 3000 típusú gázadszorpciós berendezéssel nagy tisztaságú nitrogén (99,999%) gáz alkalmazása mellett történt. A felületi szerkezetet AMRAY1830I illetve EVO MA10 pásztázó elektronmikroszkóppal vizsgáltuk, a kémiai összetétel elemzéshez energia diszperzív mikroszondát használtunk.

Szilíciumkarbid jellemzése



a)



b)

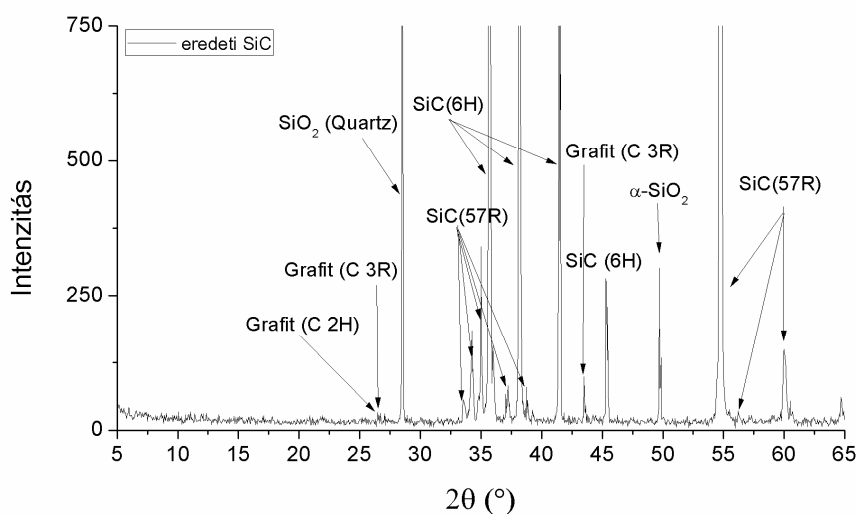
1. ábra P220 Szilíciumkarbid SEM felvétele és szemcseeloszlás histogramja

a) Szemcseméret-eloszlás histogram, b) SiC 1000× nagyítású SEM felvétel

A Saint Gobain Grains & Powders cégtől származó szilíciumkarbid részecskék szemcseméret eloszlását mutatja az 1. ábra. A diagramból leolvasható, hogy az átlag szemcseméret 125 µm. A teljes szemcseméret tartomány pedig 100-200 µm, de emellett néhány kisebb (<50 µm) és nagyobb (250-300 µm) szemcse is megtalálható, ezek száma azonban nem releváns (1. a, ábra). A nagy nagyítású (1000x) SEM felvételen (1. b, ábra) a kerámia szemcsék gyártástechnológiájából eredő kagylós töretfelület figyelhető meg, mely domború és homorú felületi részek váltakozását eredményezi. Ez a felületbevonás szempontjából kedvező, hiszen a nikkelfürdőből leváló nikkelfürdő csírák számára az élek és éles sarkok kulcsfontosságú szerepet kapnak, az így kiinduló bevonati részek pedig, mint csíráképző, aktív centrumok a tömör, összefüggő felületi réteg kialakítását eredményezhetik. A kísérleteknél használt

Pázmán J, Veréb V, Török T, Gács Z, *Anyagok Világa (Materials Word)* 10(3) (2012) 1-13

szilíciumkarbid szemcsék fajlagos felülete $0,14 \text{ m}^2/\text{g}$ [15]. Így a szemcsék egyértelműen nem rendelkeznek pórusokkal. Ennek a fürdő terhelhetősége szempontjából van jelentősége, ugyanis így egyszerre több szemcse nikkelezhető be. Az energia diszperzív mikroszondás elemzés alapján a kerámia szemcsék nagy tisztaságúak, Si és C detektálható, mely alapján a kémiai összetétel is meg határozható.



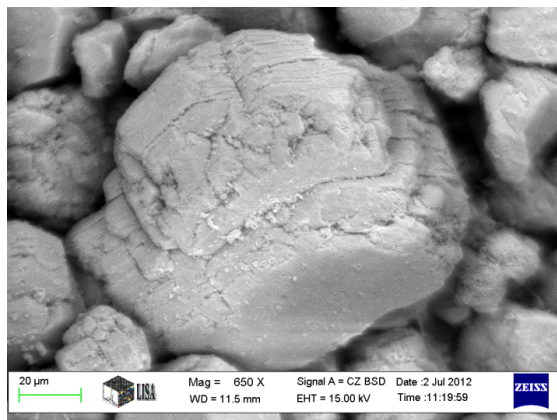
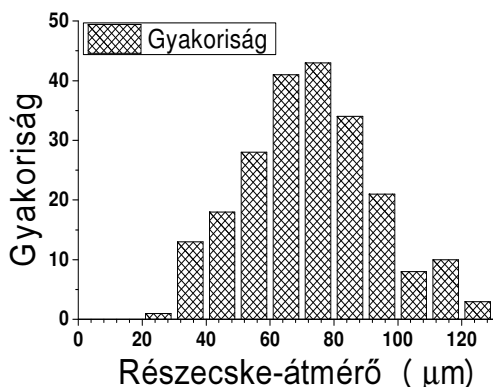
2. ábra Eredeti szilíciumkarbid szemcsék XRD-spektruma

A kísérleteknél használni kívánt szilíciumkarbid részecskék atomszázalékos összetétele: 45,62% Si és 54,38% C. Ez alapján kismértékű karbon-felesleg mutatkozik, melyet az elvégzett röntgen-diffrakciós vizsgálat eredményei is megerősítenek (2. ábra).

Alumínium-oxid jellemzése

A másik, felületi fémréteggel ellátni kívánt kerámia az alumínium-oxid, vagyis korund por. Pontos származási helye az ajkai MAL RT. Az energia diszperzív mikroszondás elemzés alapján nagytisztaságú Al_2O_3 , melyet az alumínium-oxid porról készített röntgen-diffrakciós spektrum is igazol (4. ábra).

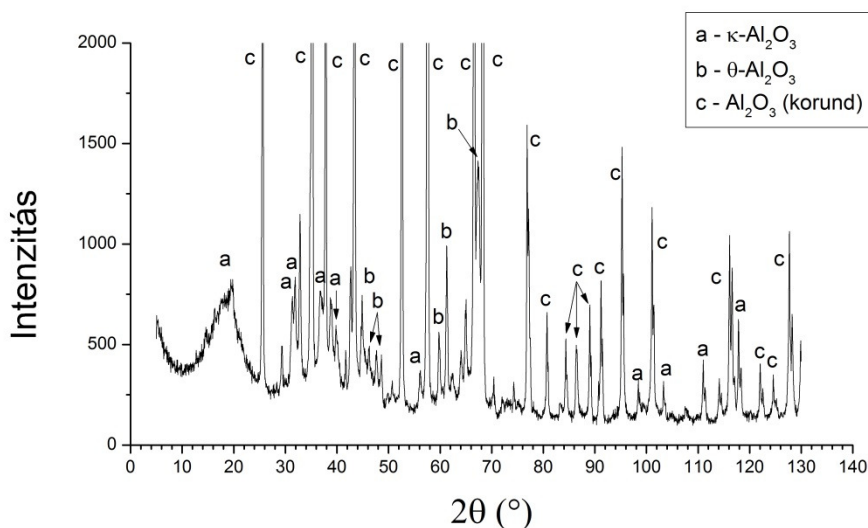
Pázmán J, Veréb V, Török T, Gács Z, *Anyagok Világa (Materials Word)* 10(3) (2012) 1-13



3. ábra Korund szemcsék méreteloszlása és SEM felvétele

a) Al_2O_3 szemcseméret-eloszlás hisztogram, b) 650x nagyítású SEM felvétele

Tömeg%-os összetétele 34,26% Al és 65,74% O (atom%-ban: 46,77% Al, 53,23% O). Az átlag szemcseátmérőt illetve a szemcseméret-eloszlást Zeiss optikával rendelkező sztereomikroszkópos felvételek és Leica Qwin számítógépes képelemző szoftver segítségével mértük meg. A szemcsék mérettartománya 30-130 µm (min. 29 µm; max. 123 µm). A mérési eredmények alapján az átlagos szemcseméret 73 µm. A fajlagos felülete 15,6 m²/g.



4. ábra Kísérleteknél használt Al_2O_3 por röntgen-diffrakciós spektruma

A kiindulási anyagokon végzett vizsgálatok eredményei azt mutatják, hogy két igen eltérő felületi adottságokkal rendelkező anyagot kívánunk bevonni. Hiszen a kerámia szemcsék

fajlagos felülete alapján két nagyságrendnyi különbség van. Ez a fürdő terhelhetősége szempontjából érdekes, ugyanis az alumínium-oxid nagy fajlagos felülete miatt ugyanazt a bevonati réteget lényegesen kevesebb szemcseszám egyidejű bevonása mellett érhetjük el, mint a szilíciumkarbid szemcsék esetében.

Kerámia szemcsék felülettisztítása

A kerámia szemcsék felületaktiválását megelőzően a felületre tapadt szennyeződések eltávolítása kulcsfontosságú lépés. Ennek hiányában a fémréteg leválasztása lényegesen megnehezedik, ugyanis az előkezelés minősége gyengül, nem terjed ki a szemcsék teljes felületére, ami megakadályozza az összefüggő bevonat kialakulását. A szakirodalomban számos módszert alkalmaznak, így pl. a 200°C-on 1h hevítés [7], vagy acetonos ultrahangos tisztítás különböző ideig [16-17]. A kísérleti munka keretében mindkét típusú tisztítási módot kipróbáltuk az eredmények alapján az acetonos ultrahangos tisztítás hozott kedvező eredményt, így a kerámia szemcsék felülettisztítását ezzel a módszerrel 25 perces időtartamban végeztük el.

Előkezelési módszerek

A kerámiák erős kovalens kötésekkel rendelkező rácsszerkezetükből adódóan kémiai inerte felülettel rendelkeznek, melynek eredményeként igen nehezen lépnek reakcióba más elemekkel, savakkal, lúgokkal, valamint a fémbevonás sem megy végbe spontán, csak felületaktiválást követően. Az aktiválási módszerek kiválasztása hatással van a végeredményre, hiszen savas nátrium-hipofoszfites előkezelést alkalmazva részleges, főként a csúcsokon képződő bevonatkezdemények, míg a felületi oxidáció alkalmazásával homogénebb rétegtelepek hozhatók létre [15]. A korábbi kísérleteink és a szakirodalmi adatok is azt mutatják, hogy összefüggő bevonatot csak ón-kloridos érzékenyítést követő, palládium-kloridos aktiválással lehet létrehozni. Esetünkben az időminimalizálásra törekedtünk, így 5 perces előkezelési lépcsőket alkalmaztunk. Az előkezelő oldatok pontos összetételét az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat Felületaktiváláshoz használt oldatok összetétele és alkalmazott paraméterei

Érzékenyítés		Aktiválás	
Oldat kémiai összetétele	Alkalmazott paraméterek	Oldat kémiai összetétele	Alkalmazott paraméterek
15 g/l SnCl ₂ 55 ml/l HCl	T=25°C t =5 perc	0,5 g/l PdCl ₂ 2 ml/l HCl	T=25°C t = 5 perc

Kémiai nikkelezés

A felületaktivált szemcséket savas és lúgos fürdőbe helyeztük, melyek pontos összetételét és az alkalmazott paramétereit a 2. táblázat tartalmazza.

2. táblázat Kísérleteknél használt savas és lúgos kémiai nikkelfürdők adatai

Kémiai nikkelfürdő összetétele		Alkalmazott paraméterek		
		Hőmérséklet	idő	pH
NiSO ₄ ·7H ₂ O	28 g/l	45°C (318 K)	30 perc	4,5-4,6 (beállítás: 2 molos NaOH)
NaH ₂ PO ₂ ·H ₂ O	30 g/l			
CH ₃ COONa·3H ₂ O	35 g/l			
tejsav 88-90%	20 ml/l			
NiSO ₄ ·7H ₂ O	20 g/l	45°C (318 K)		8,5 (beállítás: 25% NH ₃ oldat)
NaH ₂ PO ₂ ·H ₂ O	30 g/l			
CH ₃ COONa·3H ₂ O	8 g/l			
NH ₄ Cl	30 g/l			

Vizsgálati módszerek

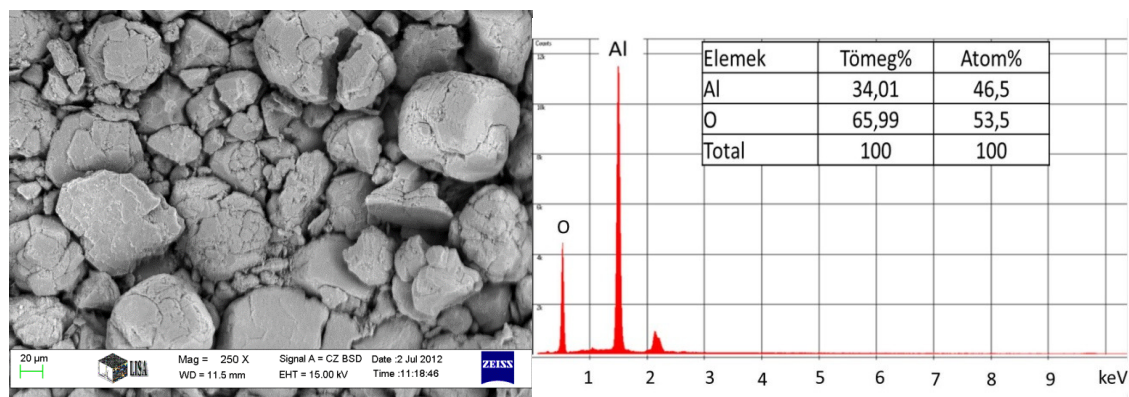
A kémiai nikkell bevonattal rendelkező kerámia szemcséket AMRAY1830I illetve EVO MA10 pásztázó elektronmikroszkóppal vizsgáltuk. Az AMRAY1830I pásztázó elektronmikroszkóp DX4 EDAX ECON IV. UH5,6C Si(Li) detektorral rendelkezik, melynél energia diszperzív mikroszondás (EDS) elemzés végezhető el. A vizsgálatok során 25kV gyorsító feszültséget, 20 mm próbatávolságot illetve $5,6 \cdot 10^{-11}$ A próbaáramot használtunk. Az EVO MA 10 scanning elektronmikroszkóp felbontóképessége 126,35 eV (Mn K α). Az összetételi azonosítást egy ultra vékony Be-ablakkal ellátott EDAX Apollo X EDS detektorral lehet elvégezni, melyhez beépített etalonos elemzés tartozik. A kiértékelő szoftver pedig Genesis APEX 2 típusú. A méréshez 25kV gyorsító feszültséget, $5 \cdot 10^{-10}$ A próbaáramot, valamint nagyvákuumos működésmódot alkalmaztunk.

Eredmények

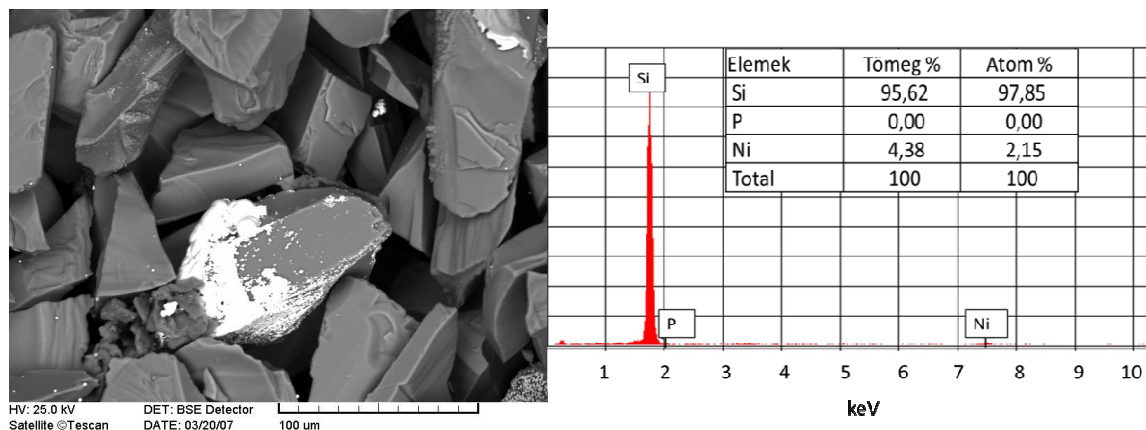
Tisztítás és felületaktiválás fontossága

Kísérleteket végeztünk annak igazolására, hogy mind a szemcsék acetonos ultrahangos tisztításának, mind a szemcsék felületaktiválásának jelentőségét igazoljuk. Az 5. ábra SEM felvételei azt az esetet mutatják, amikor sem felülettisztítást (acetonos ultrahangos mosás), sem pedig felületaktiválást nem végeztünk. Jól látható, hogy a szemcsék felületén nem jött létre kémiai nikkellréteg, amit az energia diszperzív mikroszondás elemzés eredményei is alátámasztanak.

Pázmán J, Veréb V, Török T, Gács Z, *Anyagok Világa (Materials Word)* 10(3) (2012) 1-13



a)



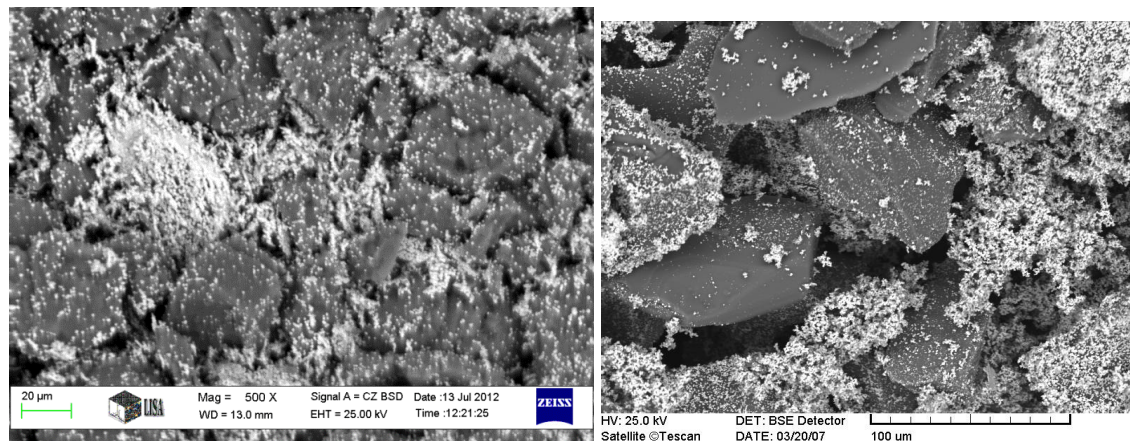
b)

5. ábra Tisztítás és aktiválás nélkül nikkelezett kerámia szemcsék SEM felvétele és EDX spektruma

a) alumínium-oxid szemcsék, b) szilíciumkarbid szemcsék

A vizsgálati eredmények alapján egyértelműen igazolható, hogy a kerámia szemcsék közvetlenül a kémiai nikkel fürdőbe történő helyezése nem vezet eredményre. Ugyanis a felülettisztítás lényege, hogy a bevonandó felületről a szerves szennyeződések eltávolozzanak és egy tiszta felületbevonásra alkalmas szubsztrát jöjjön létre. Tehát a felületkezelés fontos lépése a kezdeti tisztítás.

Pázmán J, Veréb V, Török T, Gácsi Z, *Anyagok Világa (Materials Word)* 10(3) (2012) 1-13



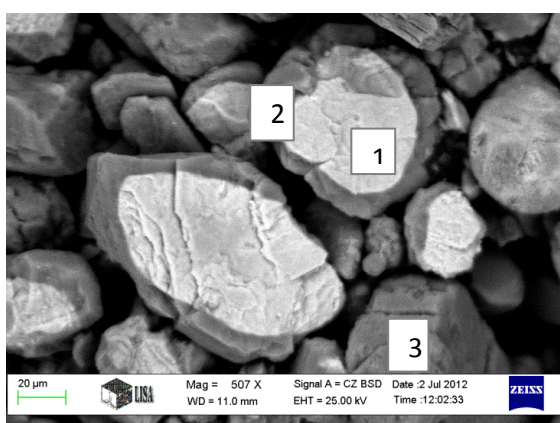
a)

b)

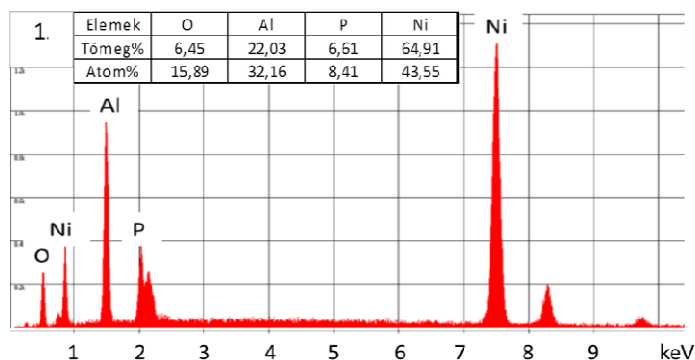
6. ábra Tisztítást követően kémiaailag nikkelezett kerámia porok SEM felvétele

- a) alumínium-oxid
- b) szilíciumkarbid

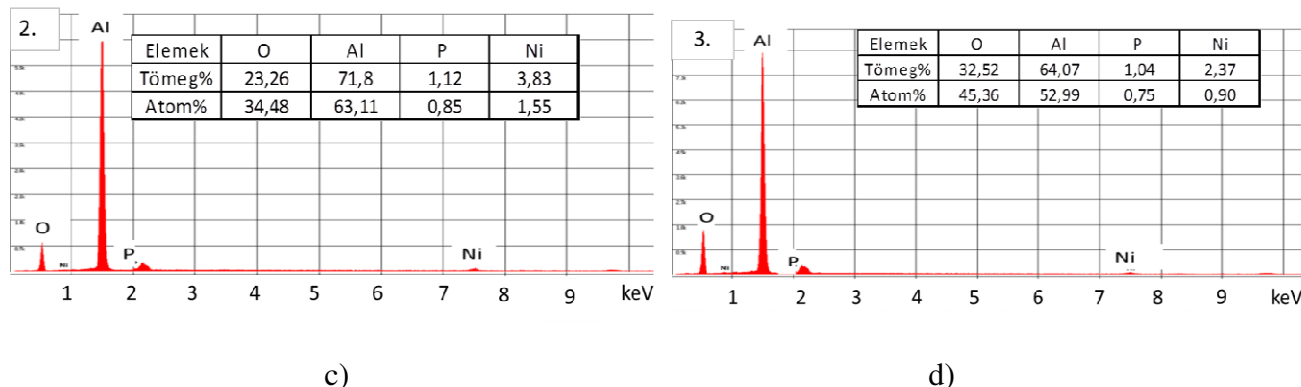
Kísérleteink során bebizonyosodott, hogy a kerámia szemcsék acetonos ultrahangos tisztítása s azt követő kémiai nikkelezése azonban nem elegendő egy összefüggő tömör bevonat kialakításához, mint ahogy ez a 6. ábra SEM felvételei is igazolják. A szilíciumkarbid és alumínium-oxid szemcséket a kémiai nikkelt gömböcskék füzére fogja közre, de a felületen képződött bevonatról nem beszélhetünk.



a)



b)



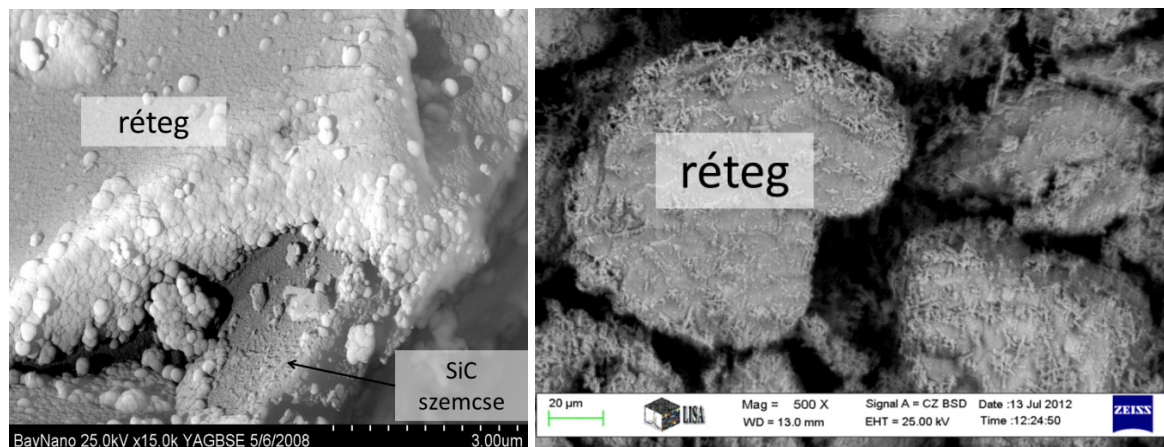
7. ábra Acetonos tisztítás nélkül kémiaiailag nikkelezett alumínium-oxid szemcsék

- a) SEM felvétel vizsgálati pontokkal
- b) 1 pont EDX spektruma és kémiai összetételi táblázata
- c) 2 pont EDX spektruma és kémiai összetételi táblázata
- d) 3 pont EDX spektruma és kémiai összetételi táblázata

Tehát a szigetelő, kerámia anyagokra csak felülettisztítást követően nem lehet fémréteget leválasztani. Vagyis az aktiválásnak is nagy szerepe van a felületi réteg kialakulásában. Hogy megbizonyosodjunk arról, hogy melyik előkezelésnek - tisztítás vagy aktiválás - van nagyobb szerepe a felületbevonás során kémiaiailag nikkeleztünk csak aktivált, de nem tisztított szemcséket is. A kísérletek elvégzése után részleges nikkel réteg jött létre a kerámia szemcsék felületén. Az eredmények tehát egyértelművé tették, hogy a tisztítás szükséges, de nem elégséges feltétele az összefüggő bevonat kialakításának, ugyanis a kezdeti tiszta felületen az aktiváló oldat palládium csírái meg tudtak tapadni, s aktív centrumként szolgáltak a nikkel csírák megtapadásához, míg a szennyezett területeken már nem. Így alakulhatott ki a szigetes elhelyezkedésű, önmagában összefüggő bevonat a szemcséken (7. ábra).

Tehát az eddigi megállapítások alapján, a felülettisztítás, elhagyható a technológia során, de ha összefüggő, szemcsealak követő bevonatot kívánunk létrehozni, akkor szükséges művelet lehet. Míg a felületaktiválás semmiképpen nem nélkülözhető a felületbevonás során.

Abban az esetben, ha 25 perces acetonos ultrahangos tisztítást és 5 perc ón-kloridos érzékenyítést és 5 perc palládium-kloridos aktiválást is végzünk, akkor a kémiai nikkel fürdőben lejátszódó reakciók, vagyis a nátrium-hipofoszfát foszfit ionjai redukálják a nikkel-szulfát nikkel ionjait és nikkel-foszfor bevonat csírák jönnek létre a felületen. Ezek megtapadva a szemcsék felületén biztosítják, hogy a kémiai fémleválasztás autokatalitikussá váljon, és akár mikronos vastagságú nikkel réteg is kialakulhasson a kezdetben kémiaiilag inert szilíciumkarbid illetve alumínium-oxid szemcsék felületén (8. ábra).



a)

b)

8. ábra Acetonos tisztítást követően aktivált, majd kémiai nikkelezett kerámia szemcsék SEM felvétele

a) szilíciumkarbid, b) alumínium-oxid

Tehát összefüggő kémiai nikkelt réteg csak úgy hozható létre a kerámia szemcsék felületén, ha alapos felülettisztítást és felületaktiválást is végzünk, melynek időtartama a szakirodalomban megadottól eltérően csupán 5-5 perc.

Összefoglalás

Kutatómunkánk során célul tűztük ki, hogy kémiai inert kerámia szemcséken kémiai nikkelt réteget hozunk létre. Azonban az eddig feldolgozott szakirodalomban nem ismertették részletesen az egyes kimeneteket, ha a technológia lépéseit megváltoztatjuk, vagy kihagyjuk. Cikkünk célja, tehát az volt, hogy rávilágítsunk a műveleti lépések fontosságára és megmutassuk, hogy milyen eredmény várható, ha a felülettisztítást elhagyjuk, vagy éppen nem aktiváljuk a kerámia szemcséket. Ennek igazolására végeztünk kísérleteket, és a kísérleti eredményekből az alábbi következtetéseket vontuk le:

- i. A felülettisztítás a szemcsealak-követő, teljesen összefüggő bevonat kialakítása szempontjából nélkülözhetetlen, mert az aktiváló oldat palládium csírái csak a tiszta, szennyeződésmentes felületen képesek megtapadni, a szennyezett felületen nem.
- ii. A tisztítás önmagában nem elégséges a bevonatképzéshez, ugyanis a tisztított kerámia felületen a nikkelt csírák nem tapadtak meg, hanem a szemcsék körül önmagukhoz kapcsolódva füzereket képeztek.

Pázmán J, Veréb V, Török T, Gácsi Z, *Anyagok Világa (Materials Word)* 10(3) (2012) 1-13

- iii. Az aktivált, de nem tisztított szemcsék kémiai nikkelezése már eredményez összefüggő bevonati részeket, de a tisztítás hiányában szennyezett területeken az aktiváló palládium csírák nem rögzültek és így szigetszerűen elhelyezkedő, de önmagukban összefüggő nikkel-foszfor bevonatot hoztak létre.
- iv. A teljesen alakkövető és ugyanakkor összefüggő nikkel-foszfor bevonat csak a 25 perces ultrahangos acetonos tisztítást követő 5 perces ón-kloridos érzékenyítést és 5 perc palládium-kloridos aktiválást követő kémiai nikkelezéssel jött létre.

Tehát a kísérleti eredményekből egyértelműen kitűnik, hogy mind a felülettisztításnak, mind a felületaktiválásnak igen nagy jelentősége van a felületi rétegeképzésben.

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnénk köszönetet mondani Kovács Árpádnak (ME-MAK Fémteni, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet) és Hegman Norbertnek (ME-BayLogi-BayNano) a pásztázó elektronmikroszkópos felvételek és elemzések készítéséért. A kutatómunka és az elvégzett szövetszerkezeti és mechanikai vizsgálatok a „A felsőoktatás minőségének javítása kiválósági központok fejlesztésére alapozva a Miskolci Egyetem stratégiai kutatási területein” TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 projekt keretében készült.

Hivatkozások

- [1] Socha, R., Nowak, P., Laajalehto, K., & Vayrynen, J. (2004). Particle-electrode surface interaction during nickel electrodeposition from suspensions containing SiC and SiO₂ particles. *Colloids and Surfaces A: Physical/Chemical and Engineering Aspects* 235 (1-3), 45-55.
- [2] Shokuhfar, A., Alinejad, M., Dashtbayazi, M., & Shokuhfar, T. (2007). Characterisation of Al/SiC Nanocomposite Prepared by Mechanical Alloying Method. *Material Science Forum* Vol. 553, 257-265.
- [3] Zou, G., & Cao, M. (2006). Nickel layer deposition on SiC nanoparticles by simple electroless plating and its dielectric behaviors. *Powder Technology*, 84-88.
- [4] Pázmán, J., Mádai, V., Gácsi, Z., & Kovács, Á. (2012). Arrangement of the Al-Ni phases in Al/SiC(Ni)_p composites. *Int. J. Microstructure and Materials Properties*, Vol. 7, No. 1., 49-63.
- [5] Xiao, Z., Wang, W., Ye, L., Sha, Y., & Tu, S. (2008). Effect of Cd²⁺ as a stabilizer in the electroless nickel plating system. *Surface & Coatings Technology* 202, 5008-5011.
- [6] Haag, S., Burgard, M., & Ernst, B. (2006). Pure nickel coating on a mesoporous alumina membrane: Preparation by electroless plating and characterisation. *Surface & Coatings Technology* 201, 2166-2173.

Pázmán J, Veréb V, Török T, Gácsi Z, *Anyagok Világa (Materials Word)* 10(3) (2012) 1-13

- [7] Chen, Y., Cao, M., Xu, Q., & Zhu, J. (2003). Electroless nickel plating on silicon carbide nanoparticles. *Surface and Coatings Technology* 172, 90-94.
- [8] Xue, R.-j., & Wu, Y.-c. (2007). Mechanism and Microstructure of Electroless Ni-Fe-P Plating on CNTs. *J China Univ Mining & Technol* 17 (3), 0424-0427.
- [9] Kilicarslan, A., Toptan, F., & Kerti, I. (2012). Electroless nickel-phosphorus coating on boron carbide particles. *Materials Letter* 76, 11-14.
- [10] Wen, G., Guo, Z. X., & Davies, C. L. (2000). Microstructural characterisation of electroless-nickel coatings on zircon powder. *Scripta Materialia* 43, 307-311.
- [11] Cheon, S.-Y., Park, S.-Y., Rhym, Y.-M., Kim, D.-H., & Lee, J.-H. (2011). The effect of bath conditions on the electroless nickel plating on the porous carbon substrate. *Current Applied Physics* 11, 790-793.
- [12] Li, L., An, M., & Wu, G. (2005). Electroless deposition of nickel on the surface of silicon carbide/aluminum composites in alkaline bath. *Materials Chemistry and Physics* 94, 159-164.
- [13] Mallory, G. O., & Hajdu, J. B. (1990). *Electroless Plating Fundamentals & Applications*. Orlando: AESF.
- [14] Sahoo, P., & Das, S. K. (2011). Tribology of electroless nickel coatings - A review. *Materials and Design* 32, 1760-1775.
- [15] Pázmán, J. (2011.). Szilíciumkarbid szemcsék kémiai nikkelezése és fémkompozitokban történő alkalmazása, PhD értekezés. Miskolc: Miskolci Egyetem.
- [16] Li, L., An, M., & Wu, G. (2006.). A new electroless nickel deposition technique to metallise SiCp/Al composites. *Surface&Coatings Technology* 200, 5102-5112.
- [17] Kretz, F., Gácsi, Z., Kovács, J., & Pieczonka, T. (2004.). The electroless deposition of nickel on SiC particles for aluminum matrix composites. *Surface & Coatings Technology* 180-181, 575-579.