

# NOVOSTI NA PODROČJU INŽENIRSTVA POVRŠINE IZDELKOV IN POLIZDELKOV IZ ALUMINIJEVIH ZLITIN

## THE STATE OF THE ART OF SURFACE ENGINEERING FOR ALUMINUM-BASED SEMI-FINISHED AND FINISHED PRODUCTS

**Varužan Kevorkijan**

ZRVK, Betnavska cesta 6, 2000 Maribor  
kevorkijan.varuzan@amis.net

*Prejem rokopisa - received: 2002-01-14; sprejem za objavo - accepted for publication: 2002-02-11*

V delu opisujemo nekatere najnovejše razvojne dosežke na področju inženirstva površine polizdelkov in izdelkov iz aluminijevih zlitin s poudarkom na funkcionalnih prevlekah in njihovi komercialni uporabi.

Ključne besede: inženirstvo površine, prevleke, izdelki, polizdelki, aluminij

Some recent R&D activities in the field of surface engineering for various aluminum-based semi-finished and finished products are described with particular emphasis on functional coatings and their commercial application.

Key words: surface engineering, coatings, finished products, semi-finished products, aluminum

### 1 UVOD

Nanašanje prevlek na površino izdelkov je inženirski koncept, ki se je v zadnjem desetletju zelo uveljavil tudi pri Al zlitinah<sup>1</sup>. V preteklosti so prevleke uporabljali pretežno zato, da so pobarvali izdelke in izboljšali njihov estetski videz (lepotne prevleke) ter jih zaščitili (zaščitne prevleke). Danes vse bolj uporabljamo funkcionalne prevleke<sup>2</sup>, s katerimi načrtno in v točno določenem delu izdelka - kjer je to potrebno za njegovo nemoteno delovanje - ustvarjamo oz. spreminjamo neko lastnost ali kombinacijo lastnosti. V večini primerov je to le površinska plast izdelka, ki je v funkcionalnem stiku z okolico. Takšno načrtno in lokalno ustvarjanje in spreminjanje potrebnih lastnosti povečuje kakovost končnega izdelka, razširja področje uporabe tradicionalnih in cenejših surovin in odločilno prispeva k zmanjševanju materialnih stroškov in ustvarjanju večje dodane vrednosti. Namesto da bi iz dragega materiala, ki zagotavlja predpisane funkcionalne lastnosti, izdelali ves izdelek, se vse bolj odločamo za to, da ga napravimo iz cenejšega materiala in ga le prevlečemo s funkcionalnejšim materialom. Takšen način je, po drugi strani, posledica vse bolj izpopolnjenih zahtev, ki jih od proizvajalcev zahteva sodobni trg. Zaradi tega je vse manj materialov, ki bi sami zadostili dolgemu seznamu zahtev. Rešitev je v izdelavi večplastnih prevlek, kjer posamezne plasti zagotavljajo oz. spreminjajo le eno ali kvečjemu nekaj funkcionalnih lastnosti, skupaj pa ustvarijo zeleno kombinacijo, in če je treba, tudi gradientno spreminjajo lastnosti<sup>3</sup>.

Inženirstvo površine se je uveljavilo tudi v aluminijski industriji, kjer so prevleke zelo pomembno

področje. Najbolj razširjeni postopki nanašanja estetskih in zaščitnih prevlek na izdelke iz aluminija so lakiranje s tekočim lakom, lakiranje s prahom, galvanizacija in anodna oksidacija. Samo v Nemčiji uporabijo na leto več kot 1 milijon ton različnih polizdelkov iz aluminija, med katerimi je 80 % prevlečenih<sup>4</sup>. Največ prevlečenih polizdelkov iz aluminija uporabljajo v gradbeništvu, za dele fasad, kjer s prevlekami (npr. z lakiranjem ali nanašanjem plasti polimera) izdelek pobarvajo, mu dajo atraktivni videz ter istočasno zaščitijo njegovo površino pred atmosferskimi vplivi in korozijo.

S prevlekami lahko načrtno spreminjamo tudi druge lastnosti površine in s tem razširjamo področje uporabe izdelkov iz aluminija. Najbolj pogosto spreminjamo lastnosti, kot so: mehanske (trdota), tribološke (obrabna zdržljivost, hrapavost, mazalnost, koeficient trenja), električne (električna prevodnost oz. upornost), termične (toplotna prevodnost, odpornost proti temperaturnim šokom), optične (barva, sijaj, odsevnost), kemijske (obstojnost proti kemikalijam in oksidaciji) in niz drugih posameznih lastnosti kot so: poroznost, sposobnost oprijemanja ipd.

Poroznost je zagotovo ena izmed pomembnejših lastnosti prevlek. Vse so v neki meri porozne. Stopnja poroznosti prevlek je odvisna od postopka za izdelavo, pogojev za pripravo in njihove kemijske sestave in je od 1 do 20%<sup>5</sup>. Čeprav so s stališča uporabnikov navadno kakovostnejše manj porozne prevleke, so tudi izjeme. Prevleke, ki jih uporabljamo zato, da ustvarimo toplotno pregrado, morajo biti porozne, da slabše prevajajo toploto.

Z razvojem novih postopkov nanašanja prevlek na izdelke iz aluminija proizvajalci težijo k temu, da

ustvarijo večplastne in večnamenske prevleke, ki omogočajo načrtno spreminjanje številnih lastnosti površine izdelka hkrati. Postopki so izpeljani tako, da omogočajo kontinuirno nanašanje različnih materialov, kot so keramika, kovina, polimeri in barve, ob minimalni pripravi površine podlage.

## 2 SODOBNI POSTOPKI NANAŠANJA PREVLEK

Večino sodobnih postopkov nanašanja prevlek na izdelke iz aluminija izvajamo tako, da fini prah ali kapljice napršimo na podlago <sup>5,6</sup>. V obeh primerih je vhodna surovina fini prah, iz katerega izdelamo prevleko. Ko gre za termično naprševanje, prah z nosilnim plinom uvajamo v plamensko ali plazemsko pištolo, kjer se delci prahu, ko letijo proti tarči, spotoma stalijo, tako da na površino podlage priletijo kot posamezne kapljice, ki se zlivajo v prevleko <sup>5</sup>. Poleg temperature na kakovost dobljene prevleke odločilno vpliva tudi hitrost kapljic, ki je večinoma nadzvočna. Čeprav je v delu plamena, kjer prihaja do taljenja delcev prahu, temperatura nad tališčem aluminija, je v coni deponiranja kapljic na podlago pod njegovim tališčem (navadno pod 100 °C), zato ob nanašanju prevleke ne pride do lokalnega taljenja površine podlage.

Novjša tehnologija (nizkotemperaturno naprševanje <sup>6</sup>), ki so jo sredi osemdesetih let razvili v nekdanji Sovjetski zvezi in jo nato l. 1994 prenesli v ZDA in Evropo, omogoča, da delce napršimo na podlago pri temperaturah, ki so precej pod njihovim tališčem. Nosilni plin, segret do največ 700 °C, prinaša delce prahu v šobo, v kateri se delci pospešijo od 2 do 4 M (mach) in zadevajo podlago. Kakovost prevleke je v največji meri odvisna od hitrosti in morfologije delcev.

Vmesna tehnologija (naprševanje s plamenom napol staljenih delcev pri velikih hitrostih <sup>5,7,8</sup>), ki so jo razvili predvsem zato, da bi z njo nadomestili kromiranje s šestvalenčnimi spojinami kroma, za katere so v ZDA ugotovili, da so kancerogene <sup>9</sup>, omogoča naprševanje delcev na podlago s hitrostjo 400-1800 m/s. Temperatura podlage je največ 170 °C.

Druga zelo obetavna razvojna smer je inženirstvo površine z laserjem <sup>10,11</sup>, ki so jo razvili leta 1998 v ZDA. Proces je sestavljen iz dveh proizvodnih operacij. V prvem delu procesa se pri sobni temperaturi z razpršilno pištolo nanese na podlago približno 150 mikrometrov debela plast prekursorja (keramični prah, zmešan z vodno raztopino organskega topila). V drugi fazi se z industrijskim laserjem (npr. Nd:YAG-ali CO<sub>2</sub>-laser) stali površinska plast podlage. Keramični delci se zaradi večje specifične mase vtisnejo in/ali kemijsko povežejo s staljeno plastjo podlage in ustvarijo prevleko.

## 3 NEKATERI KOMERCIALNI POSTOPKI IN PREVLEKE

### 3.1 Prevleke za puše avtomobilskih valjev

Sodobna smer razvoja zmanjševanja mase osebnih avtomobilov zahteva od proizvajalcev avtomobilov vse večjo uporabo aluminija, tudi za ohišje in dele motorja. Nadomeščanje litoželeznih puš valjev s pušami, izdelanimi iz aluminijevih zlitin, je možno le, če imajo ustrezno prevleko, ki zagotavlja veliko obrabno zdržljivost, nizek koeficient trenja, mazalnost in čim manjše prevajanje toplote. Postopki, ki se sedaj uporabljajo, so: galvansko kromanje ali termični postopki, kot so plazemsko in obločno naprševanje.

Novost na tem področju so prevleke iz tankih plasti, izdelane z opisanimi postopki naprševanja. Pri plazemskem nanašanju tankih plasti na podlago iz aluminijeve zlitine je navadno debelina prevleke le nekaj mikrometrov.

Postopek so v preteklosti uporabljali pretežno za nanašanje prevlek na zunanje oz. bolj dostopne površine izdelkov. Novost je posebej izoblikovana paličasta katoda, ki omogoča nanašanje prevlek tudi na manj dostopne oz. notranje površine izdelkov, kot so npr. puše valjev. Po enem izmed že utečenih industrijskih postopkov prevlečejo pušo valja s tanko večnamensko plastjo in jo nato vstavijo v izvrtino valja. Najnovejša tehnologija <sup>4</sup>, ki so jo razvili pri podjetju **Euromat GmbH** omogoča, da vse to opravijo v eni sami proizvodni operaciji, tako da prevlečejo notranjo površino izvrtine valja, pri čemer kot reakcijsko posodo uporabljajo kar samo izvrtino valja oziroma ohišje motorja.

### 3.2 Prevleke za ustvarjanje toplotne pregrade

Zgorevalna komora in deli motorja so pri delovanju izpostavljeni precejšnjim termičnim obremenitvam, kar je posledica visoke (zaželeno je čim višje) delovne temperature in njenih izmeničnih sprememb. Zato bi bilo s stališča optimalnega izkoristka najboljše te dele izdelovati iz keramike, kar se v praksi ne obnese. Po drugi strani je uporaba monolitnih temperaturno obstojnih kovinskih materialov nezaželena zaradi prevelike mase. Praktična rešitev tega problema je nanašanje keramične prevleke na notranjo površino zgorevalne komore in druge dele motorja, ki so narejeni iz aluminijevih zlitin. Zato da pri obratovanju temperatura sredice iz aluminija ne bi preseгла kritične vrednosti, je treba s keramično prevleko doseči veliko obrabno zdržljivosti in občutno zmanjšati prevajanje toplote.

Edini znani postopek, ki omogoča izdelavo takšnih keramičnih prevlek, je nanašanje s plazmo <sup>4</sup>. Značilnost tega postopka je, da se zaradi visoke temperature plazme keramični delci stalijo, kar omogoča nastanek zelo gostih prevlek. Te so navadno iz ZrO<sub>2</sub>, stabiliziranega z Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Razlike v toplotni razteznosti kovinske podlage in keramične prevleke ublažimo z vmesno napršeno plastjo MCrAlY (M je lahko kobalt, nikelj, ali železo). Vmesna plastomogoča tudi boljše obstojnost proti koroziji, ki jo povzročajo vroči zgorevalni plini.

V praksi prevlečemo s keramično prevleko le najbolj izpostavljene dele posameznih komponent (kot so npr. dovodni ventili, sprednja stran bata in glava valjev), saj bi termična pregrada po celotni površini avtomobilskega dela privedla do njegovega pregrevanja.

### 3.3 Prevleke za avtomobilске bate na osnovi aluminija

Večino avtomobilskih delov zaščitijo z anodno oksidacijo in ponikljanjem. Glavna slabost obeh postopkov je, da so take prevleke porozne. Poleg tega je v praksi dostikrat težko doseči enakomerno rast prevleke in je zato na posameznih delih izdelka potrebno prevleko kasneje brusiti.

V obeh primerih nastaja precejšnja količina izplakovalne vode, ki jo je treba kemijsko nevtralizirati, kar poleg okoljevarstvenih težav negativno vpliva tudi na ceno končnega izdelka. Postopka sta tudi sicer precej draga, saj porabljata veliko električne energije, vode, olja in plinov.

Daljša trajnostna doba prevlek in okolju prijaznejša proizvodna tehnologija sta združeni v novem postopku nanašanja TiAlN-prevlek za avtomobilске bate na osnovi aluminija. TiAlN-prevleko ustvarimo s postopkom termičnega naprševanja pri nižjih temperaturah (največ do 160 °C). Je dvakrat bolj trda kot tiste, dobljene z anodno oksidacijo, in jo je mogoče enakomerno nanašati<sup>4</sup>.

### 3.4 Površinsko utrjene aluminijeve zlitine

Francoska firma **Almag** (del skupine **Morfa**) je vpeljala v redno proizvodnjo nov postopek utrjevanja površine izdelkov iz aluminijevih zlitin<sup>12</sup>. Ta omogoča, da na površini delov iz aluminijevih zlitin ustvarimo homogeno plast keramike.

Podobno kot pri zaščiti površine z anodno oksidacijo, del, ki ga želimo prevleči s keramično prevleko, potopimo v posebno elektrolitsko kopel, ki je v tem primeru na osnovi SiO<sub>2</sub>, in skozi njo spustimo izmenični električni tok pri napetosti 800V. Temperatura elektrolitske kopeli je 35 °C.

Površina izdelka se najprej prevleče s plastjo aluminijevega hidroksida, ki vsebuje številne nehomogenosti, kot so razpoke, jamice, vlakna in kratka, votla vlakna ("mikrocevice"). Plast iz aluminijevega hidroksida nato elektrolitsko reagira z SiO<sub>2</sub>, tako da v približno 40 min zraste do 60 μm debela keramična plast na osnovi mulitne keramike (3Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·2SiO<sub>2</sub>).

Poročajo o izjemni oprijemljivosti dobljene keramične prevleke s podlago; njena obrabna zdržljivost je štirikrat večja v primerjavi s površino aluminija, utrjeno z anodno oksidacijo. Trdota dobljene keramične prevleke presega 2300 HV in je primerljiva s trdoto

korunda. Žica iz aluminija s premerom 1 mm postane potem, ko jo v **Almag**-u prevlečejo s 100 μm debelo plastjo mulitne keramike, enako toga kot 1 mm debela žica iz jekla.

Izdelki iz aluminija, obdelani po **Almag**-ovem postopku, lahko dlje časa obratujejo pri povišani temperaturi do 350 °C. Keramična zaščitna plast ne prevaja električnega toka in zelo slabo prevaja toploto. Njena prebojna napetost znaša 20 kV/cm. Poleg tega je dobljena keramična prevleka kemijsko odporna proti kislinam, bazam in drugim agresivnim medijem, kot so morska voda in olja.

Potem ko z brušenjem in poliranjem odstranimo 15-20 μm debelo površinsko plast **Almag**-ove keramične prevleke, ima površina iz mulitne keramike izjemno majhen koeficient trenja. Tega lahko še dodatno zmanjšamo tako, da prepojimo vmesni prostor med posameznimi kristali v prevleki s smolo ali s polimerom. Komponente iz aluminija, elektrolitsko prevlečene z **Almag**-ovo prevleko na osnovi mulitne keramike, uporabljajo za ležaje in tirnice, za dele krogličnih ležajev ali za drsne sisteme brez mazalnega sredstva.

V **Almag**-u lahko zaenkrat prevlečejo dele s površino do 1000 cm<sup>2</sup>. Gre za različne avtomobilске dele, osi črpalk, komponente za kemijsko, procesno in tekstilno industrijo ipd.

### 3.5 Prevleke iz kvazikristaliničnih aluminijevih zlitin za kuhinjske posode

Kvazikristalinične aluminijeve zlitine so zbudale v preteklosti pozornost zaradi svojih mikrostrukturnih značilnosti. Kasneje so raziskovalci ugotovili, da imajo te zlitine poleg izjemnih mehanskih in triboloških lastnosti še nadvse redko lastnost, da se na nanje ne prijema praktično nobena snov. V laboratoriju za kovinske materiale francoskega raziskovalnega inštituta **CNRS** so ustvarili kvazikristalinično aluminijevo zlitino proti prijemanju, imenovano **cybernox**<sup>12</sup>. Zlitino so preizkusili za oblaganje kuhinjskih posod in ugotovili, da so plazemsko napršene prevleke iz **cybernoxa** dovolj obstojne, da omogočajo nemoteno uporabo in pomivanje posode. Prevleko **cybernox** izdelujejo s plazemskim naprševanjem tako, da kvazikristalinično zlitino v obliki finega prahu vbrizgavajo z nosilnim plinom v plazemsko pištolo. Fini kvazikristalinični delci se stalijo, pištola naprši kapljice na podlago, kjer se zlijejo v pribl. 100 μm debelo plast.

Podjetje **SNMI**, lastnik multinacionalke **Sant-Gobain**, je odkupilo pravico uporabe vseh patentov v zvezi z zlitino **cybernox** in proizvodnjo s **cybernoxom** prevlečene kuhinjske posode. Industrijska proizvodnja poteka v podjetju **Sitram**, v družinskem podjetju s 360 zaposlenimi, ki je odkupilo pravico proizvodnje prevlek na osnovi kvazikristaliničnih aluminijevih zlitin za vse vrste kuhinjske posode. Po svojih lastnostih neprijemanja je **cybernox** popolnoma primerljiv s teflonom.

Cybernox ima 2,5-krat večjo trdoto od nerjavečega jekla, iz katerega je izdelana posoda.

Še ena pomembna prednost cybernoxa je, da omogoča enakomerno razporejanje toplote po površini posode in da zadržuje toploto tudi potem, ko posode več ne segrevamo. Tako cybernox omogoča enakomerno kuhanje jedi.

Cybernox lahko prenese temperature do 750 °C <sup>12</sup>. Sedaj v **Sitram**-u proizvedejo na mesec (podatek je iz marca 2001) okrog 30 000 kuhinjskih posod, prevlečenih s cybernoxom, od tega največ kuhinjskih ponev. V tovarni načrtujejo, da bodo lahko v prihodnje še povečali obseg proizvodnje, tako da bodo s cybernoxom začeli oblagati tudi plošče za pečenje <sup>12</sup>.

### 3.6 Luminescenčne prevleke za aluminij

Emajlirani aluminij združuje funkcionalne in estetske lastnosti stekla, kot so trdnost, kemijska obstojnost, visok sijaj in lep videz, s funkcionalnimi lastnostmi kovin (npr. trdnostjo).

Začetki emajliranja aluminija segajo v petdeseta leta, ko so kot eno izmed glavnih sestavin za pridobivanje emajlov uporabljali spojine svinca. Sodobni emajli ne vsebujejo svinca. Emajliranje izdelkov iz aluminija je posebej priljubljeno v ZDA, kjer med drugim vgrajujejo velike količine emajliranega aluminija v vojaške ladje, kot sta npr. letalonosilki Forrester in Saratoga.

Novost so fosforescenčni emajli <sup>12</sup>, ki jih izdelujejo z dodatki svetlečih pigmentov. Ti so toplotno obstojni do 600 °C, pri višjih pa se temperaturah razgrajujejo. Takšni emajli niso primerni za jeklene dele, ki jih emajliramo pri 830 °C, ampak jih lahko uporabimo le pri izdelkih na osnovi aluminija, katere emajliramo pri nižji temperaturi (pribl. 550 °C).

Fosforescenčne emajle za aluminij izdelujejo v rumeno-zeleni, modri in modro-zeleni barvi.

Vzporedno s fosforescenčnimi emajli izdelujejo tudi fluorescenčne <sup>12</sup>. Ti emajli, ki so popolnoma nevnetljivi, nestrupeni in ne sevajo, oddajajo svetlobo, ko so izpostavljeni nevidni svetlobi kratke valovne dolžine, ki presega valovno dolžino UV svetlobe (t. i. "črna svetloba"). Barve nastajajo v popolni temi, zaradi "osvetljenosti" predmeta s "črno svetlobo" in zbujajo pozornost zaradi svoje intenzivnosti. Fosforescenčne emajle uporabljajo za reklamne napise, za oznake, ki morajo ostati vidne tudi v temi (zasilni izhodi, reševalne poti ipd.), in v diskotekah.

### 3.7 Prevlaka "topocrom" za večjo obrabno zadržljivost

Topocrom je prevleka na osnovi kroma, ki jo naredimo s posebnim postopkom elektroliznega nanašanja kovin na podlago <sup>12</sup>.

Površina topocroma je prekrita s ploskimi delci, katerih velikost in porazdelitev vravnavamo z načrtnim spreminjanjem fizikalnih parametrov galvanizacije. Tako

lahko spreminjamo hrapavost in topografijo površine prevleke.

Pri **WMV** so v sodelovanju z **IPA Stuttgart** (članom **Fraunhofer Association**) razvili nov postopek galvanizacije, ki omogoča pridobivanje prevlek z zelo ozkimi dimenzijskimi tolerancami. Večplastnosti prevleke po novem ne dosežejo tako, da prenašajo komponente iz kopeli v kopel, temveč se kemijske spremembe na površini komponente odvijajo v eni sami kopeli, neposredno ena za drugo <sup>12</sup>.

Večplastna struktura prevleke topocrom, s posebej izdelano trdo površinsko plastjo omogoča izjemno obrabno zadržljivost in obstojnost proti mehanskim poškodbam <sup>12</sup>.

Topocrom so preizkusili v različne namene (npr. za zaščito ležajev in batnih vodil za avtomobilsko industrijo). Izkazalo se je, da je topocrom veliko bolj obstojen v primerjavi z drugimi prevlekami, dobljenimi z navadnim postopki galvanizacije <sup>12</sup>.

### 3.8 PROTAL - Priprava površine in ustvarjanje prevleke v eni sami proizvodni operaciji

Protal je proces, ki so ga l. 1998 razvili v podjetju **Sulzer Metco** <sup>12</sup>. Ta tehnologija omogoča razmastitev in aktiviranje površine ter izdelavo prevleke v eni sami proizvodni operaciji. Razmastitev in aktiviranje površine potekata obenem, tako da z industrijskim laserjem izparijo maščobo in razgradijo plast oksida.

Vendar je znano, da se plast oksida na podlagi iz aluminija zelo hitro obnavlja ter zmanjšuje oprijemanje prevleke na površino izdelka. Ta problem so v **Sulzer Metco** rešili tako, da so na robotsko roko poleg laserja za razmastitev in aktiviranje površine pritrdili še plazemsko pištolo, s katero napršijo prevleko. Le-to nanesejo takoj po končani razmastitvi in aktiviranju površine, kar izključuje možnost vmesne oksidacije.

Protal je okolju prijazen postopek, ki porablja malo energije. Ker razmastitev, aktiviranje površine in izdelava prevleke potekajo v nizu, prihranijo čas. Oprijetje prevleke na površino podlage iz aluminija ali titana je enako, kot da bi površino podlage peskali s korundnimi kroglicami.

## 4 MOŽNOSTI RAZVOJA PRI NAS

Ob dejstvu, da največ prevlečenih (pol)izdelkov iz aluminija porabijo v gradbeništvu in v avtomobilski industriji, bi bilo treba razvojne aktivnosti usmeriti k tema dvema tržnima segmentoma.

Končno obdelani polizdelki iz aluminija so večinoma (70 %) lakirani s prahom. Razvoj poteka v smeri priprav kakovostnih, okolju prijaznih, obstojnih in raznolikih barv (pigmentov in vezne faze v obliki finih praškastih delcev). Gre za tehnologijo, ki jo je treba kupiti in obvladovati. Cilj je lakiranje profilov in spreminjanje nekaterih lastnosti površine po želji kupca.

Inženirstvo površine izdelkov iz aluminija za avtomobilsko industrijo je veliko bolj zahtevno in temu ustrezno dobičkonosno. Delež aluminija in drugih lahkih kovin (npr. magnezija) v avtomobilih bo v prihodnje možno povečevati le ob nadomeščanju funkcionalno vse bolj zahtevnih delov, ki jih avtomobilska industrija zaenkrat proizvaja iz jekla in litega železa. Neizpolnjenosti mehanske, tribološke in termične lastnosti aluminijevih in še posebej magnezijevih zlitin omejujejo nadaljnje nadomeščanje jeklenih oz. litoželeznih delov z deli iz lahkih kovin. Zato bo treba med drugim razviti večplastne kompozitne materiale s sredico iz lahke kovine in večslojno površinsko plastjo, sestavljeno iz posebnih inženirskih materialov. Razvoj takšnih materialov in njihova nadaljnja predelava v polizdelke in končne izdelke je zagotovilo del prihodnosti aluminijske industrije.

## 5 LITERATURA

- <sup>1</sup> N. B. Dahotre, S. Seal, JOM, Warrendale, 53 (2001) 9, 43
- <sup>2</sup> R. Y. C. Tsui, Comprehensive composite materials, Volume 3, Metal matrix composites, 1<sup>st</sup> ed., Elsevier, 2000, 247
- <sup>3</sup> A. L. Greer, Comprehensive composite materials, Volume 3, Metal matrix composites, 1<sup>st</sup> ed., Elsevier, 2000, 321
- <sup>4</sup> B. Schmidt, M. Feldhege, I. J. Rass, Aluminium, 75 (1999) 4, 290
- <sup>5</sup> F. M. J. van der Berge, Advanced materials & processes, 154 (1998) 12, 31
- <sup>6</sup> A. Papyrin, Advanced materials & processes, 159 (2001) 9, 49
- <sup>7</sup> B. D. Sartwell, P. E. Bretz, Advanced materials & processes, 156 (1999) 2, 25
- <sup>8</sup> D. Moore, Advanced materials & processes, 155 (1999) 14, 31
- <sup>9</sup> D. Duclos, Advanced materials & processes, 159 (2001) 2, 49
- <sup>10</sup> A. Agarwal, N. B. Dahotre, Advanced materials & processes, 157 (2000) 4, 43
- <sup>11</sup> N. B. Dahotre, S. Nayak, O. O. Popoola, JOM, 53 (2001) 9, 44
- <sup>12</sup> Aluminium, 77 (2001) 4, 166