

Vinko Šimunović, Ivan Juraga
Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu

Polimerne prevlake: osvrt na mnogobrojne mogućnosti i načine primjene

ISSN: 0351-1871

UDK: 667.6

Pregledni rad / Review article

Primljeno / Received: 28. 4. 2005.

Prihvaćeno / Accepted: 4. 7. 2005.

Sažetak

Zaštitne prevlake bez sumnje su najrašireniji proizvod za zaštitu od korozije. Koriste se za dugotrajnu zaštitu različitih konstrukcija u dugom nizu korozivni agresivnih okoliša, počevši od atmosferskog izlaganja pa sve do najzahtjevnijih eksploatacijskih uvjeta u postrojenjima kemijske industrije. Činjenica da zaštitne prevlake, koje čine vrlo malen udjel u ukupnom volumenu cijele konstrukcije, čuvaju njezin integritet i osiguravaju mogućnost neometane eksploatacije, dovoljno govori o njihovoj važnosti. U radu su prikazani najvažniji postupci nanošenja polimernih prevlaka, koje se u posljednje vrijeme sve više primjenjuju u gotovo svim područjima, što se može objasniti intenzivnim razvojem novih polimernih materijala za prevlake, unapređivanjem tehnologija nanošenja te, u najvećoj mjeri, ekološkim prednostima tih postupaka. Također, u radu su dani mnogobrojni primjeri uporabe polimernih prevlaka za razna industrijska područja.

KLJUČNE RIJEČI:

polimerne prevlake
postupci nanošenja
primjena

KEYWORDS:

application processes
polymer coatings
use areas

Polymer coatings: A review of numerous possibilities and application techniques

Summary

Protective coatings are without any doubt most used products for corrosion protection. They are used for long-term protection of various structures in different corrosive environments - from atmospheric exposure to the most demanding conditions in chemical plants. The fact that protective coatings have a very small volume in comparison with the volume of the whole structure and yet preserve the integrity of the structure and make possible their exploitation without any problem in an optimal way is a clean indication of the importance of protective coatings. The present paper describes the most important processes of applying polymer coatings. Their use is increasing in almost any market area, which can be explained by the rapid development of new polymer materials for coatings, improved technologies of application, and, mostly, the ecological benefits of these processes. Numerous examples of the use of polymer coatings are reviewed for various industrial fields.

Uvod / Introduction

Od konstrukcijskih materijala očekuje se da, uz što nižu cijenu, imaju izvrsna mehanička svojstva i svojstva obradljivosti, a da u isto vrijeme osiguraju i korozivnu otpornost. Navedena svojstva u praktičnom slučaju rijetko može ispuniti sam konstrukcijski materijal. Gotovo je neizbježna pojava da su gotovo svi konstrukcijski metali u određenim okolnostima podložni koroziji, što gospodarstvu donosi znatne gubitke. Prema istraživanju iz 2003. godine koje je financirala *U.S. Federal Highway Administration* (FHWA), a podržala ga strukovna udruga NACE-International, ukupni izravni troškovi zbog korozije u SAD-u, koji obuhvaćaju metode zaštite, popravke i zamjenu, dostižu do 3,1 % BDP-a, što je oko 276 milijardi američkih dolara. Provedena istraživanja također su pokazala i da se 25 – 30 % troškova može izbjeći primjenom primjerenije metode ili tehnologije zaštite od korozije. Koroziji, kao prirodnom fenomenu, najčešće opisanom kao razaranje materijala zbog djelovanja okoliša, u usporedbi s drugim prirodnim nedaćama (potresi, poplave i sl.) ne poklanja se najčešće odgovarajuća pozornost. Za usporedbu je dovoljno navesti da je trošak procijenjene štete u SAD-u od prirodnih nepogoda, koje se medijski znatno više prate, oko 17 mlrd. US dolara na godinu. Navedeno ima još veću težinu ako se uzme u obzir procjena neizravne štete uzrokovane korozijom (zaustavljanje i zastoji u proizvodnji, onečišćenje proizvoda, okoliša i sl.), koja se procjenjuje na oko 576 mlrd. dolara na godinu u Sjedinjenim Državama.

Metode sprečavanja korozije općenito temelje se na teoriji, odnosno na mehanizmima zaštite od korozivnih pojava. Djelovanjem na unutrašnje ili vanjske korozivne čimbenike koči se ili zaustavlja proces korozije, pri čemu se najčešće koristi jedna ili više metoda zaštite (slika 1), od kojih su najvažnije:

- zaštita prevlačenjem
- primjena korozivni postojećih materijala
- konstrukcijsko-tehnološke mjere
- električne metode zaštite i
- zaštita promjenom okolnosti (npr. inhibitorima korozije).

U najvećem udjelu (prema nekim podacima i više od 80 %) nastali tehnički problem očuvanja različitih konstrukcija od korozije rješava se odvajanjem osnovnog materijala koji ima dobra mehanička svojstva od korozivnog okoliša koji ga okružuje nanošenjem površinskog sloja, tj. zaštitnih prevlaka, koje mogu biti:

- a. metalne (npr. prevlake nikla, zlata, cinka itd.)
- b. nemetalne anorganske (npr. konverzijske prevlake, anodizacijske prevlake, keramičke prevlake i prevlake emajla itd.) i
- c. organske (npr. premazi, tj. boje i lakovi, *polimerne prevlake* itd.).¹

Kako se tehnologija zaštite od korozije organskim prevlakama, u prvom redu premazima, ubrzano razvijala tijekom prošlog stoljeća, postalo je vrlo teško razlikovati prevlaku «boje» od «polimernih» prevlaka, s obzirom na to da je završni proizvod tehnologije bojenja najčešće u osnovi polimerne prevlaka.² Stoga je u uvodnom dijelu

rada dan sažet prikaz svih prevlaka koje su u osnovi polimerne, odnosno čiji suhi film ima karakteristike polimera, a poslije u radu detaljnije su prikazane prevlake koje se najčešće klasificiraju kao «prave» polimerne prevlake.

Prevlake koje su u osnovi polimerne – premazi (boje i lakovi) / Coatings which are basically polymer – paints and lacquers

Organske prevlake imaju nezamjenjivu ulogu u zaštiti metalnih konstrukcija od korozije. Pritom učinkovitost zaštite ne ovisi samo o svojstvima prevlake, što je čvrsto povezano s polimernim umrežavanjem i mogućim pogreškama u toj mreži, već i o karakteru same metalne osnove, pripremi površine i tehnologiji nanošenja prevlake. U praksi je stoga potrebno uzeti u obzir cijeli sustav i tehnologiju izvođenja zaštite, uključujući i najčešće kompliciran sastav same prevlake.

Organske prevlake – premazi sastoje se od četiri osnovne komponente:

- *veziva* – neisparljive organske tvari u obliku viskozniha kapljevin ili smola

- *pigmenata* – različiti anorganski oksidi, hidroksidi i soli, metalni elementi, ugljik i neki organski spojevi u obliku netopljivih čestica

- *aditiva i punila* – npr. katalizatori polimerizacije (umrežavanja), omekšivači (plastifikatori) i organski inhibitori korozije, prirodne i umjetne anorganske tvari (za punila) koje znatno pojeftinjuju premazna sredstva, a mogu djelovati na poboljšanje određenih svojstava (npr. sprečavanje slijeganja pigmenata) i

- *otapala* – najčešće su to smjese organskih kapljevin koje moraju biti prilagođene vrsti veziva.^{1, 2, 3}

Korozijska zaštita koju pružaju organske prevlake u osnovi je rezultat bilo barijernog djelovanja zaštitnog sloja, inhibiranja korozije pomoću aktivnog djelovanja pojedinih pigmenata u prevlaci ili galvanskog djelovanja pigmenata.^{1, 4}

Premaze je moguće podijeliti na više načina, no u praksi je ipak najčešće razvrstavanje prevlaka na osnovi vrste vezivnog sredstva. Prema toj podjeli, najvažnije skupine prevlaka su na osnovi: sušivih ulja, poliplastičnih veziva (alkidne smole), epoksidnih smola, poliu-retanskih smola, vinilnih smola, akrilata, politetrafluoretilena (PTFE), nezasićenih poliestera, fenoplasta, silikona, prirodnih smola i gumenih veziva na osnovi vulkaniziranog kaučuka.³

Pritom, ovisno o vrsti veziva, premaz može otvrdnuti (skrutiti se) na dva osnovna načina:

- *fizikalnim* isparavanjem jedne od komponenata otapala (razrjeđivača)

- *kemijskim* reakcijama (najčešće oksidacijom) u vezivu ili s vezivom.

Kemijski proces otvrdnjavanja, koji se često u literaturi i zasebno klasificira prilikom opisa načina otvrdnjavanja premaza, jest *polimerizacija* – tj. proces otvrdnjavanja zbog oksidacijske kemijske reakcije uz sudjelovanje kisika iz zraka, umrežavanja nezasićenih polimera vlagom iz zraka ili zbog reakcije između veziva i otvrdnjivača kod dvokomponentnih premaza, a koji se miješaju neposredno prije nanošenja. Premazno sredstvo u tom slučaju polimerizira i tvori umreženu strukturu, a njegova kasnija svojstva uvelike su određena stupnjem i prirodom tog umrežavanja.^{2, 3} Jedan od primjera otvrdnjavanja zbog kemijske reakcije između dviju molekula dan je na slici 2, koja prikazuje otvrdnjavanje fenolnog premaza grijanjem. U tom slučaju, fenol i formaldehid, otopljeni u alkoholu, nanose se nekom od pogodnih tehnika nanošenja (naštrcavanje, uranjanje, ličenje) na podlogu, a naknadno grijanje uzrokuje reakciju polimerizacije i nastanak umrežene polimerne strukture prevlake. Pritom kao sporedni produkt navedene reakcije, nastaje voda, pa se stoga ove prevlake nanose u više tankih slojeva da se osigura sušenje podloge za kvalitetno nanošenje sljedećeg sloja premaza.⁴

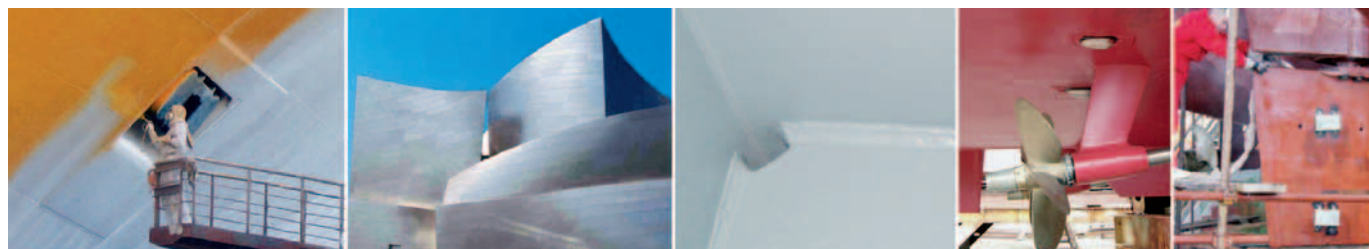
Prevlake na osnovi poliplastičnih veziva najrodnije su «pravim» polimernim prevlakama koje se dobivaju postupcima plastifikacije.³

Jedna od najslabijih točaka svih vrsta organskih prevlaka u sprječavanju korozije jest činjenica da se ove prevlake relativno lako mogu oštetiti zbog mehaničkih ili toplinskih opterećenja, što može dovesti do korozije ispod prevlake u području uz oštećenje, budući da barijerna svojstva prevlake više ne pružaju dovoljnu zaštitu. Aktivni pigmenti često su dodani polimernoj matrici prvog sloja sustava prevlaka, tj. temeljnom sloju, i oni pružaju zaštitu pomoću aktivnog inhibitorškog ili galvanskog mehanizma u slučaju kada voda, odnosno medij, dođe u izravan kontakt s metalnom podlogom prilikom oštećivanja zaštitne prevlake.¹

Prave polimerne prevlake: polimerne prevlake nanosene plastifikacijom / Genuine polymer coatings: polymer coatings applied by plastification

Postupcima plastifikacije se na različite metalne i nemetalne proizvode nanose prevlake od plastičnih masa, najčešće većih debljina (od 0,2 do 5 mm). Iako su po svome sastavu ove prevlake vrlo slične premazima s poliplastičnim vezivima, uvelike se razlikuju od njih po tehnologiji nanošenja.³ Stoga će u daljnjem tekstu biti temeljitije opisane upravo različite tehnologije nanošenja, tj. postupci plastifikacije.

Trend zaštite okoliša, koji je poseban utjecaj i važnost dobio proteklih godina, znatno je utjecao i na povećanu uporabu polimernih prevlaka koje se nanose u čvrstom stanju za zaštitu različitih konstrukcijskih materijala od korozije, s obzirom na to da kod postupaka plastifikacije ne dolazi do isparavanja hlapivog otapala koje bitno opterećuje okoliš. Procijenjeno je da se na godinu u atmosferu



Zaštita prevlačenjem
Protection with coatings

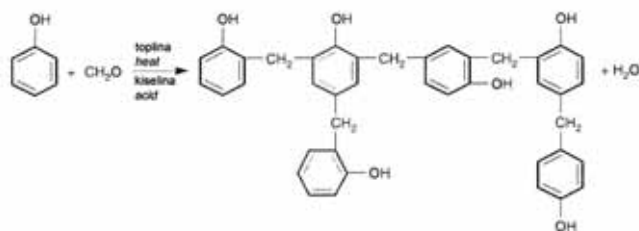
Primjena korozijskih postojani-
jih materijala / Use of materials
with higher corrosion resistance

Konstruktivno - tehnološke
Električne metode
zaštite / Electrical met-
hods of protection

Primjena inhibitora
korozije / Use of
corrosion inhibitors

SLIKA 1. Prikaz metoda zaštite od korozije / FIGURE 1. Presentation of corrosion protection techniques

ispusti približno 360 000 tona hlapivih organskih komponenata kao rezultat nanošenja premaza. Na ubrzan razvoj i povećanje primjene polimernih prevlaka te na sve strože zahtjeve očuvanja okoliša i povećanu ekološku svijest industrija premaznih sredstava odgovorila je razvijanjem cijelog niza vodorazrjedivih boja - prema-za, kod kojih je hlapiva organska komponenta zamijenjena vo-dom.² Trenutno u Europi približno 10 – 15 % svih nanosenih organ-skih prevlaka za zaštitu od korozije čine polimerne prevlake koje se nanose nekim od postupaka plastifikacije, a njih 75 – 85 % na bazi su epoksida. Za zaštitu od korozije vrlo se često još primjenjuju i praškovi na osnovi poliestera i polietilena.⁶ Postupci plastifikacije primjenjuju se za zaštitu nelegiranih ugljičnih čelika, dodatnu zaštitu vruće pocinčanih čelika (tzv. *duplex* sustavi zaštite) ili za nanošenje prevlake na neželjezne materijale poput aluminija.⁶ Vrlo su često u, sa stajališta korozijske agresivnosti, najzahtjevnijim me-dijima, tj. eksploatacijskim uvjetima, kada je katkada i estetska značajka izgleda zaštitne prevlake od manje važnosti, jedino mo-guće tehničko rješenje za zaštitu od korozije upravo, najčešće, de-beloslojne polimerne prevlake.⁵



SLIKA 2. Reakcija između fenola i formaldehida kod fenolnih prevlaka⁵

FIGURE 2. The reaction between phenol and formaldehyde in phenolic coatings⁵

Tehnologija nanošenja polimernih prevlaka dostupna je od 50-ih godina prošlog stoljeća, a uporaba polimernih prevlaka za zaštitu materijala dramatično ubrzan rast doživjela je u posljednja dva de-setljeća, s cijelim nizom posve novih područja primjene koja se go-tovo svakodnevno proširuju. To se može protumačiti, osim već na-vedenim ekološkim prednostima, i stalnim razvojem novih polimer-nih materijala i opreme te postupaka njihova nanošenja.⁷

Postupci nanošenja polimernih prevlaka / Methods of polymer coatings application

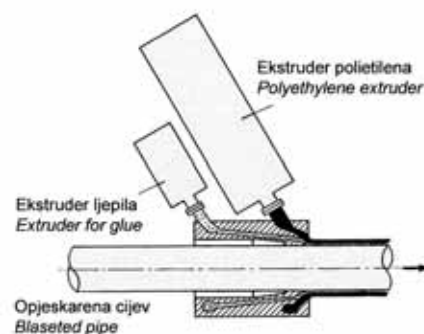
Za nanošenje polimernih prevlaka razvijen je velik broj postupaka, od kojih su najvažniji: lijepljenje i oblaganje, vruće prskanje, natalji-vanje, fluidizacija i elektrostatičko naprašivanje. Od nabrojanih po-stupaka nanošenja polimernih prevlaka, najveće tehničko značenje imaju postupci elektrostatičkog naprašivanja i fluidizacije.^{3, 6} Kao i kod nanošenja premaza, i kod svih postupaka nanošenja polimer-nih prevlaka od velike je važnosti stanje površine podloge radi posti-zanja odgovarajućih svojstava prevlake i njezine trajnosti. Tako se, osim postupaka sačmarenja oštrobriđnom sačmom radi postizanja odgovarajućeg profila usidrenja, primjenjuju i drugi postupci, npr. kemijsko nagrizanje. Prije elektrostatičkog naprašivanja, čelične se podloge fosfatiraju, dok se kod aluminijskih podloga izvodi postu-pak kromatiranja ili, u novije vrijeme, tzv. beskromatne zaštite, zbog sve većih ekoloških zahtjeva za izbjegavanjem kromatiranja s obzirom na kancerogenost iona 6–valentnog kroma.^{4, 6}

Lijepljenje/oblaganje / Gluing/lining

Ovim se postupkom nanose polimerne ploče ili folije na metalne podloge, najčešće na fino ohrapvljene čelične limove, pri čemu lje-pilo, naravno, mora biti kompatibilno s podlogom i prevlakom. Najčešće se za plastifikaciju lijepljenjem koriste polivinilklorid i dru-gie vinilne smole, polifluoretileni, fenolplasti, epoksidne, poliester-ske, poliuretanske i akrilatne smole, tj. dipolni polioplasti koji osigu-

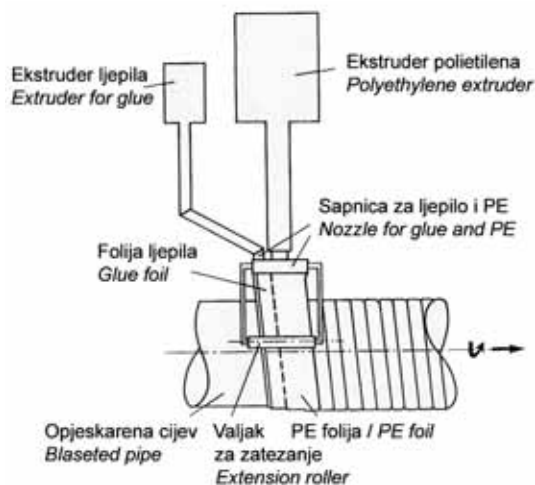
ravaju čvrsto prianjanje dipolne molekule u prevlaci i ljeplilu. U slučaju lijepljenja nedipolnih polimera (npr. polietilen, polipropilen itd.) potrebno je aktivirati površinu (posebnim ljeplilom ili kemijskom predobradom) kako bi se osiguralo uvođenje dipolne skupine u strukturu njihove površine.³

Postupak plastifikacije lijepljenjem najčešće se primjenjuje za zaštitu unutrašnjosti posuda i vanjskih stijenka cjevovoda. Tako se, na primjer, cijevi za izradu ukopanih cjevovoda, koje se osim postupkom fluidizacije (odnosno sinteriranja) ili, što je mnogo češće, zašti-tom omatanjem bitumenskim bandažama, tj. postupkom bitumenizacije, zaštićuju i postupkom oblaganja lijepljenjem ekstrudira-nog polietilena, kako je to shematski prikazano na slici 3, ili oma-tanjem i lijepljenjem prije navedenog polimera (slika 4). Osim polie-tilena, oblaganje, odnosno omatanje cjevovoda često se izvodi i po-lipropilenom.^{5, 6}



SLIKA 3. Prikaz nanošenja polimerne prevlake postupkom oblaganja i lijepljenja⁶

FIGURE 3. Presentation of polymer coating application by lining and gluing procedures⁶



SLIKA 4. Prikaz nanošenja polimerne prevlake postupkom omatanja i lijepljenja⁶

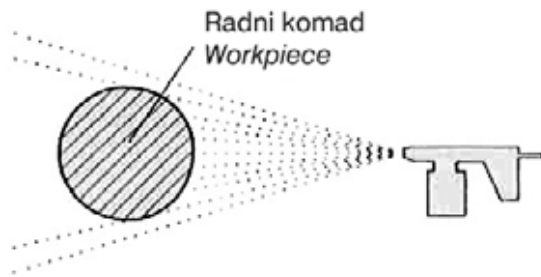
FIGURE 4. Presentation of polymer coating application by wrapping and gluing procedures⁶

Vruće prskanje / Hot spraying

Postupkom vrućeg prskanja polimerni prašak uvodi se u odgovara-jući pištolj u kojem se zagrijava i omekšava te se, pod djelovanjem struje komprimiranog zraka, raspršuje na podlogu (slika 5), koja se predgrijava da bi se osiguralo čvršće prianjanje. Naštrcavanjem u više slojeva, ovim postupkom mogu se postići debljine prevlaka od 300 do preko 1 000 μm. Za vruće prskanje pogodni su razni plasto-meri (termoplasti), prije svega poliamid i polietilen. Za grijanje poli-mernog materijala (koji može biti u obliku praha, žice ili paste od plastisola) u pištolju obično služi plamen acetilena i zraka, a razvije-

ni su i pištolji kod kojih se potrebna toplina dobiva infracrvenim svjetiljkama, elektronskim mlazom ili dielektričnim visokofrekventnim grijanjem. Katkada se, radi postizanja što bolje kompaktnosti, plastificirani predmeti griju iznad tališta termoplastične prevlake, odnosno iznad temperature umrežavanja.

Najčešće se ovaj postupak koristi za nanošenje polimernih prevlaka na dijelove ili konstrukcije velikih dimenzija (slika 6), čija bi naknadna obrada u pećima bila nemoguća, kao što su to npr. spremnici vode, dijelovi građevinskih konstrukcija i sl.^{3, 6, 8}



SLIKA 5. Skica vrućeg prskanja⁶

FIGURE 5. Sketch of hot spraying⁶



SLIKA 6. Vruće prskanje konstrukcije čeličnog mosta⁹

FIGURE 6. Hot spraying of steel bridge structure⁹

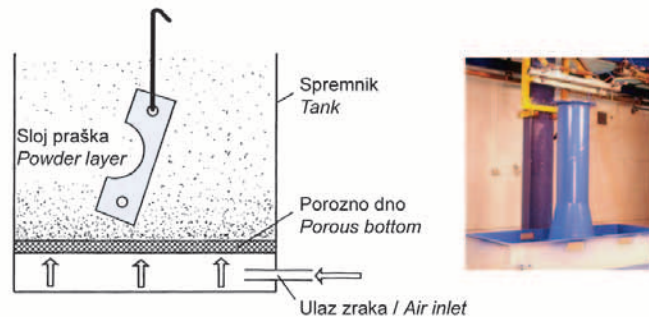
Nataljivanje / Melting on

Tehnološki gledano, postupak nataljivanja vrlo je sličan postupku oblaganja lijepljenjem, s tom razlikom što se kod ovog postupka ne koristi ljepilo, nego se vruća termoplastična traka valjanjem nanosi na podlogu ili se nataljivanje izvodi raspršivanjem hladnoga praškastog termoplasta na podlogu zagrijanu iznad tališta polimera.³

Fluidizacija/sinteriranje / Fluidization/sintering

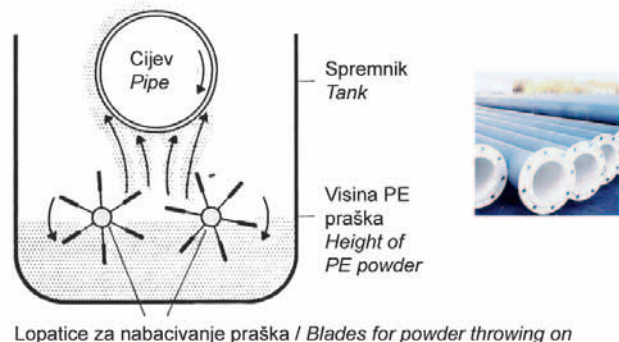
Kod ovog postupka nanošenja polimerne prevlake zagrijani predmet «uranja se» u uskovitlani sloj poliplasta koji nastaje propuhivanjem zraka ili dušika kroz porozno dno posebnog spremnika. U pravilu, predmeti se zagrijavaju na 100 do 200 °C iznad tališta poliplasta. U pravilu su, ovisno o debljini podloge te vrsti praška koji se nanosi, temperature predgrijavanja od 180 do 400 °C te su znatno više nego kod elektrostatičkog napašivanja. Ovisno o toplinskom kapacitetu obrađivanog predmeta, tj. podloge, te o temperaturi predgrijavanja i vremenu uranjanja u sloj uskovitlanoga polimernog praška, stvara se prevlaka taljenjem sinteriranog polimera izvan samog spremnika. Uobičajene debljine prevlaka koje se mogu postići jednim uranjanjem iznose od 200 do 500 μm, a u posebnim se slučajevima mogu postići prevlake debljine i veće od 1 mm. Kao pogodni polimerni materijali za ovaj postupak nanošenja u prvom redu dolaze u obzir termoplastični praškovi na osnovi poliamida, polivinilklorida i polietilena, koji se i najčešće nanosi. Osim nabrojanih polimera, iako u znatno manjoj mjeri, koriste se i toplinski očvrstivi praškovi na bazi epoksida. Veličina zrnaca praška varira između 80 i 300 μm. Osim nanošenja praška u odgovarajućim spremnicima propuhivanjem zrakom (slika 7), moguće je postiza-

nje fluidnog sloja polimera vibracijama spremnika ili npr. centrifugalno, kako je to prikazano na slici 8. Taj se postupak prije svega koristi za nanošenje prevlaka na vanjske i unutrašnje stijenke cijevi i spremnika.^{3, 6}



SLIKA 7. Princip i primjer nanošenja polimerne prevlake propuhivanjem^{6, 10}

FIGURE 7. The principle and an example of polymer coating application by blowing^{6, 10}



SLIKA 8. Princip i primjer nanošenja polimerne prevlake centrifugalnim postupkom^{6, 10}

FIGURE 8. The principle and an example of polymer coating application by the centrifugal procedure^{6, 10}

Osim opisanog postupka, razvijen je i postupak elektrostatičke fluidizacije koji se temelji na principu elektrostatičke ionizacije praška u spremniku, čime nastaje uskovitlana ionizirana kupka - sloj u koji se uranjaju uzemljeni predmeti, koji, za razliku od klasičnog postupka, ne moraju biti predgrijani. Prednost je ovoga postupka, osim toga što predmeti ne trebaju biti predgrijani, i veća brzina nanošenja prevlake te njezina veća ujednačenost, pogotovo kod manjih dijelova, jer se čestice nabijenog praška više privlače na nezaštićena mjesta nego na ona na kojima je prevlaka. Osnovni je nedostatak postupka smanjena mogućnost postizanja kvalitetne prevlake u područjima unutrašnjih kutova kod profiliranih predmeta zbog dobro poznatog efekta Faradayeva kaveza.^{7, 10, 11}

Elektrostatičko napašivanje / Electrostatic powder spraying

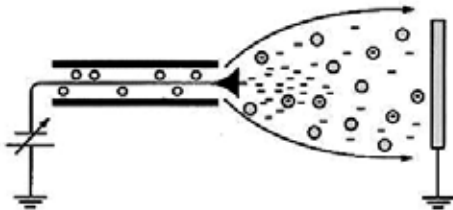
Elektrostatičko napašivanje, koje se još i kraće naziva EPS postupak (od engl. Electrostatic Powder Spraying), vrlo često naziva se i suhim ličenjem, jer se kod ovog postupka plastifikacije metalnih podloga ne primjenjuje razrjeđivač niti otapalo, već se nanosi suhi polimerni prašak. Iz navedenog proizlazi i velika ekološka prednost ovog postupka, inače tehnološki vrlo srodnoga elektrostatičkom nanošenju boja i lakova, koja je i jedan od bitnih razloga njegove sve veće primjene, posebice zbog sve strožih zakonskih propisa koji reguliraju količinu ispuštanja para organskih otapala u pogonima za nanošenje premaza (lakirnicama). Osim navedenog smanjenja,

tj. izbjegavanja emisije otapala u atmosferu, postupak elektrostatičkog naprašivanja polimernog praška, u odnosu na srodan postupak nanošenja premaza, ima i druge, u prvom redu ekološke prednosti, od kojih su najvažnije:

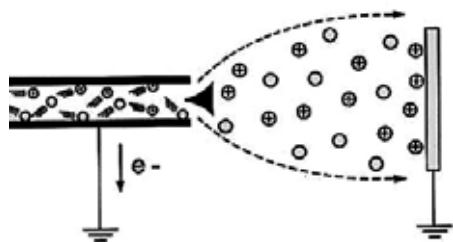
- veća mogućnost regeneriranja neiskorištenog praška (pomoću odgovarajućih pneumatskih separatora)
- smanjeno onečišćenje i potreba obrade otpadnih voda
- nema nakupljanja opasnog otpada
- smanjenje utroška energije, jer se topli zrak u dijelu postrojenja za zagrijavanje može vraćati u proces buduću da u njemu nema ishlapljenog otapala ili razrjeđivača.^{3,7,12}

Od svih postupaka nanošenja polimernih prevlaka, postupak elektrostatičkog naprašivanja je najzastupljeniji i u većini slučajeva izvodi se u automatiziranim postrojenjima. Kod ovog postupka čestice polimernog praška nabijaju se jednim od sljedeća dva načina:

- «klasičnim» elektrostatičkim nabijanjem čestica (*corona-procesi*), prolaskom praška kroz visokonaponsko električno polje u pištolju (slika 9) ili
- nabijanjem čestica zbog trenja (*tribo-sustavi*), kod kojega elektrostatičko nabijanje čestica nastaje kao posljedica trenja praška o izolatorske stijenke pištolja (slika 10).

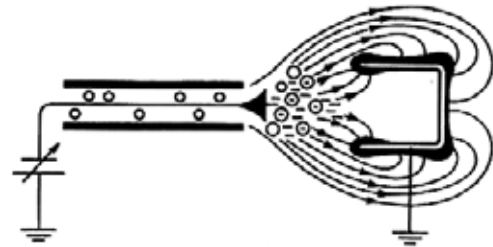


SLIKA 9. Elektrostatičko nabijanje praška – *corona-proces*^{13, 14}
 FIGURE 9. Electrostatic charging of powder – *corona procedure*^{13, 14}



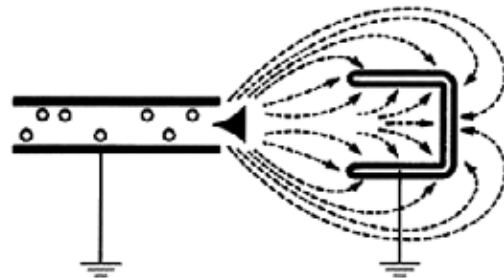
SLIKA 10. *Tribo-sustav* nabijanja praška^{13, 14}
 FIGURE 10. The *tribo-system* of powder charging^{13, 14}

Kod predmeta kompliciranijih oblika, zbog već spomenutog efekta Faradayeva kaveza, pri klasičnom elektrostatičkom naprašivanju može doći do neravnomjernog nanošenja prevlaka. U tom slučaju na dijelovima predmeta gdje su prisutna jača električna polja (npr. vanjski rubovi) stvarat će se i deblja prevlaka, dok će udubljeni dijelovi, gdje je električno polje manje gustoće, ili ga čak nema, ostati nezaštićeni, jer je nemoguće ostvariti prijanjanje praška ako nema elektrostatičkih sila, kako je to shematski prikazano na slici 11. Stoga se na predmete kompliciranijih geometrija polimerna prevlaka nanosi tzv. *tribo*-postupkom, kod kojega je, s obzirom na prirodu nabijanja čestica praška, osigurana bolja penetracija u šupljine i udubine (slika 12).^{7, 13}



SLIKA 11. Prikaz neravnomjernog nanošenja prevlaka pri klasičnom postupku elektrostatičkog nanošenja zbog nastanka efekta Faradayeve kaveza¹³

FIGURE 11. The presentation of the non-uniform application of coating by classic electrostatic procedure due to appearance of Faradays cage effect¹³



SLIKA 12. Ravnomjernije nanošenje prevlaka kod predmeta kompliciranijih oblika – postupak elektrostatičkog nanošenja tzv. *tribo-sustavom* nabijanja praška¹³

FIGURE 12. The more uniform coating application of profiled articles by the electrostatic procedure with the *tribo-system* of powder charging³

Nakon elektrostatičkog nanošenja praška, predmeti se obrađuju grijanjem (pečenjem) na 180 do 250 °C, pri čemu se iz praška taljenjem oblikuje prevlaka. Proces nastanka prevlaka zbiva se pritom u tri faze: taljenje praška, povezivanje i razlijevanje. Kod duromernih praškova pritom se događa još i proces kemijskog otvrdnjavanja.

Glavne skupine polimernih praškova za elektrostatičko naprašivanje / Main types of polymer powders for electrostatic powder spraying

Kao što je to slučaj i sa svim drugim vrstama prevlaka, sastav, tj. pojedine komponente, u najvećoj mjeri utječe na svojstva, način primjene i karakteristike prevlaka u eksploataciji. I sastav praškova, njegova formulacija, sličan je sastavu premaza navedenih u uvodnom dijelu, s tom razlikom što su pojedine komponente u čvrstom stanju. Osnovne komponente praškova za elektrostatičko naprašivanje jesu: vezivo, razni aditivi (npr. za očvršćivanje, ubrzivači

učvršćivanja, dodaci za smanjenje sjaja, postizanje teksture, reološki dodaci itd.), pigmenti, punila i voskovi.

Veziva koja su ključan element prevlake i koja se neprekidno razvijaju radi proširivanja područja primjene ovog postupka zaštite materijala, mogu biti duromerna ili plastomerna (termoplastična). Najzastupljeniji su duromerni praškovi, koji su tvrdi, imaju bolju adheziju za podlogu i otporniji su na otapala i mnoge kemikalije. Najvažniji su duromerni praškovi na osnovi epoksida, smjesa epoksida i poliuretana (tzv. hibridni praškovi), akrilata i smjese uretana i poliestera te tzv. TGIC poliesteri. Kao plastomerna (termoplastični) praškovi koriste se PVC, poliamidi, poliesteri, polivinilfluoridi (PVF) i poliolefini, a zbog svojih svojstava, budući da su uobičajeno veće molekulske težine, zahtijevaju i primjenu viših temperatura za taljenje te se najčešće koriste u postupcima fluidizacijskog nanošenja prevlaka.⁷

Praktični primjeri uporabe polimernih prevlaka / Practical examples of use areas of polymer coatings

Zaštita materijala polimernim prevlakama u posljednjih dvadesetak godina, moglo bi se reći, revolucionirala je dio industrije koji se bavi zaštitom materijala jer je u velikoj mjeri omogućila postizanje trajnih i u isto vrijeme otpornih prevlaka na ekološki prihvatljiviji način.

Zaštita materijala polimernim prevlakama, u prvom redu postupkom elektrostatskog naprašivanja, koji je najzastupljeniji, prema mnogim literaturnim podacima postupak je zaštite materijala s najbržim stupnjem razvoja primjene, koja već danas obuhvaća gotovo sva područja ljudskog djelovanja. Razvoj novih formulacija polimernih praškova te napredak u tehnologiji njihova nanošenja stvorili su preduvjete za širenje primjene ovih vrsta zaštitnih prevlaka čak i u područjima koja su bila rezervirana za premaze ili neke druge vrste prevlaka. Primjer za takva novija područja primjene polimernih prevlaka jest zaštita drva i proizvoda na njegovoj osnovi (npr. MDF laminata). Najvažnija područja i neki od primjera korištenja polimernih prevlaka dani su u prikazu 1.

Zaključak / Conclusion

Iako vrlo često svojstva polimernih prevlaka nadmašuju ona klasičnih prevlaka (boja i lakova), razlog brzom širenju područja primjene ovih prevlaka više je povezan s nekim drugim komparativnim prednostima koje se ponajprije očituju u manjem onečišćenju okoliša i s tim povezanim sve strožim zakonskim propisima te većoj

učinkovitosti postupka. Upravo zbog toga, bez obzira na relativno veći početni investicijski trošak, mnoga predviđanja upućuju na sve veću primjenu postupaka nanošenja polimernih prevlaka u budućnosti. Osim navedenoga, i ubrzan razvoj novih vrsta polimernih materijala za prevlake zasigurno će pridonijeti širenju primjene ove tehnologije zaštite materijala. Taj se trend odražava i kod nas. Sve je više tvrtki koje u proizvodnji primjenjuju postupke zaštite nanošenjem polimernih prevlaka.

Za nanošenje polimernih prevlaka, u užem smislu tog naziva, razvijeni je cijeli niz tehnoloških postupaka, koji su u radu ukratko opisani, a od kojih je danas najzastupljeniji nanošenje polimernog praha elektrostatskim naprašivanjem. Kao i kod postupaka nanošenja premaza, i kod postupaka nanošenja polimernih prevlaka od presudnog je utjecaja na izgled i kvalitetu zaštitne prevlake korektno izvođenje pripreme površine i odabir odgovarajuće prevlake te ostali tehnološki parametri prilikom nanošenja prevlake koji će u uzajamnom djelovanju osigurati korozivsku postojanost i ostala funkcionalna svojstva u eksploatacijskim uvjetima.

LITERATURA / REFERENCES

1. Marcus, P., Oudar, J.: *Corrosion mechanisms in theory and practice*, Marcel Dekker, Inc, New York, 1995.
2. Trethewey, K. R., Chamberlain, J.: *Corrosion for science and engineering*, Longman, Essex, 1995.
3. Esih, I.: *Osnove površinske zaštite*, FSB, Zagreb, 2003.
4. Roberge, P. R.: *Handbook of corrosion engineering*, McGraw-Hill, New York, 1999.
5. Jones, D. A.: *Principles and prevention of corrosion*, Prentice Hall Inc., 1996.
6. Nürnberger, U.: *Korrosion und Korrosionsschutz im Bauwesen*, Bauverlag, 1995.
7. www.specialchem4coatings.com, 3. 3. 2005.
8. www.pfonline.com, 3. 3. 2005.
9. www.powdercoating.org, 3. 3. 2005.
10. www.nordson.com, 5. 3. 2005.
11. www.coatings.de, 5. 3. 2005.
12. Kaiser, W. D., Schultz, W. D.: *Organische Beschichtungen, Vorlesungen über Korrosion und Korrosionsschutz von Werkstoffen*, TAW Verlag, Wuppertal, 1997.
13. www.jotun.com, 15. 3. 2005.
14. www.beckerpowder.com, 15. 3. 2005.
15. www.kabe-farben.ch/p_lack/pl_def.htm, 15. 3. 2005.
16. www.ic-technik.de, 15. 3. 2005.
17. www.simplon.com/conts/f5/351.htm, 17. 3. 2005.
18. www.tscherwitschke.com/html/dt/kunststoff/pulver_deko4.html, 17. 3. 2005.
19. www.albea.net/verfahren/pulverbeschichtung.php, 20. 3. 2005.
20. Stefanini, S.: *Powder paint points the way*, Automotive manufacturing solutions, 2/2001.

DOPIŠIVANJE / CORRESPONDENCE

Prof. dr. sc. Ivan Juraga
Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje
Ivana Lučića 5
HR-10 000 Zagreb, Hrvatska / Croatia
Tel.: +385-1-61-68-222, Faks: +385-1-61-56-940
E-mail: ivan.juraga@fsb.hr

PRIKAZ 1. Neki primjeri uporabe polimernih prevlaka^{7 - 11, 13 - 20}
REVIEW 1. Some examples of polymer coating use^{7 - 11, 13 - 20}

PODRUČJE PRIMJENE / USE AREA	PRIKAZ / REVIEW
<p>Kućanstvo, oprema ureda i trgovina / <i>Household appliances, office and store fittings</i></p>	<p>Industrija kućanskih uređaja najvažnije je područje primjene polimernih prevlaka; procjenjuje se da se čak 1/3 polimernih praškova koristi za zaštitu kućišta raznih uređaja za domaćinstvo (štednjaci, hladnjaci, perilice, klima-uređaji i sl.). Razvoj polimernih prevlaka otpornih na visoke temperature i prevlaka s antibakterijskim djelovanjem omogućio je njihovu primjenu i za razne vrste roštilja, peći, unutrašnjost mikrovalnih pećnica, medicinsku opremu i sl.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>Kućišta uređaja</p> </div> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;">  <p>Roštilji i peći</p> </div> </div> <hr/> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>Metalni vrtni namještaj</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Metalni uredski namještaj i oprema</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Metalna oprema trgovina</p> </div> </div> <hr/> <p style="text-align: center;">Drveni namještaj i namještaj na osnovi drva (npr. MDF laminat)</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>elektrostatsko nanošenje</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>očvršćavanje UV zračenjem</p> </div> </div> <p>Razvoj plastomernih praškova koji očvršćuju pod djelovanjem UV zračenja, pri čemu su temperature očvršćivanja snižene na oko 120 °C, omogućio je nanošenje polimernih prevlaka i na toplinski osjetljivije materijale, kao npr. drvo i polimere.</p>
<p>Automobilska industrija i industrija motorkotača / <i>Automotive and motorcycle industry</i></p>	<p>Polimerne prevlake uvedene su u automobilsku industriju tijekom 80-ih godina prošlog stoljeća, ponajprije za zaštitu pojedinih dijelova, kao što su to npr. naplatci, blok motora, ručke na vratima i sl. Polimerne prevlake kod nekih proizvođača nanose se kao međusloj u sustavu zaštite vanjskog dijela karoserije ili za zaštitu pojedinih dijelova podvozja. <i>BMW</i> je u svom novom pogonu u Dingolfingu do 2001. godine završnom prozirnopolimernom prevlakom na osnovi praška zaštitio više od 60 000 automobila.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">    </div>

Industrija poljoprivrednih uređaja i strojeva / Agricultural machines and equipment

I u industriji motorkotača polimerne prevlake koriste se za zaštitu pojedinih dijelova, ili u kombinaciji s «klasičnim» premazima, kao npr. u novim pogonima Harley-Davidsona u New Kansasu, gdje se nanose na temeljni sloj te se primjenjuju kao završna prozirna prevlaka.



Metalna kućišta različitih strojeva i uređaja

Građevinska industrija / Construction industry



Zaštita čelične armature



Čelične ograde



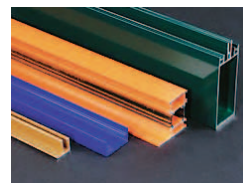
Čelične konstrukcije pročelja



Razni vanjski i unutrašnji dijelovi zgrada



Aluminijske obloge pročelja



Aluminijska stolarija



Radijatori

Električna oprema / Electrical equipment



Zaštita kućišta električne opreme i uređaja



Ostalo / Other



Dječje igračke i oprema



Oprema za dječja igrališta



Dekorativne prevlake na staklu



Okviri bicikla