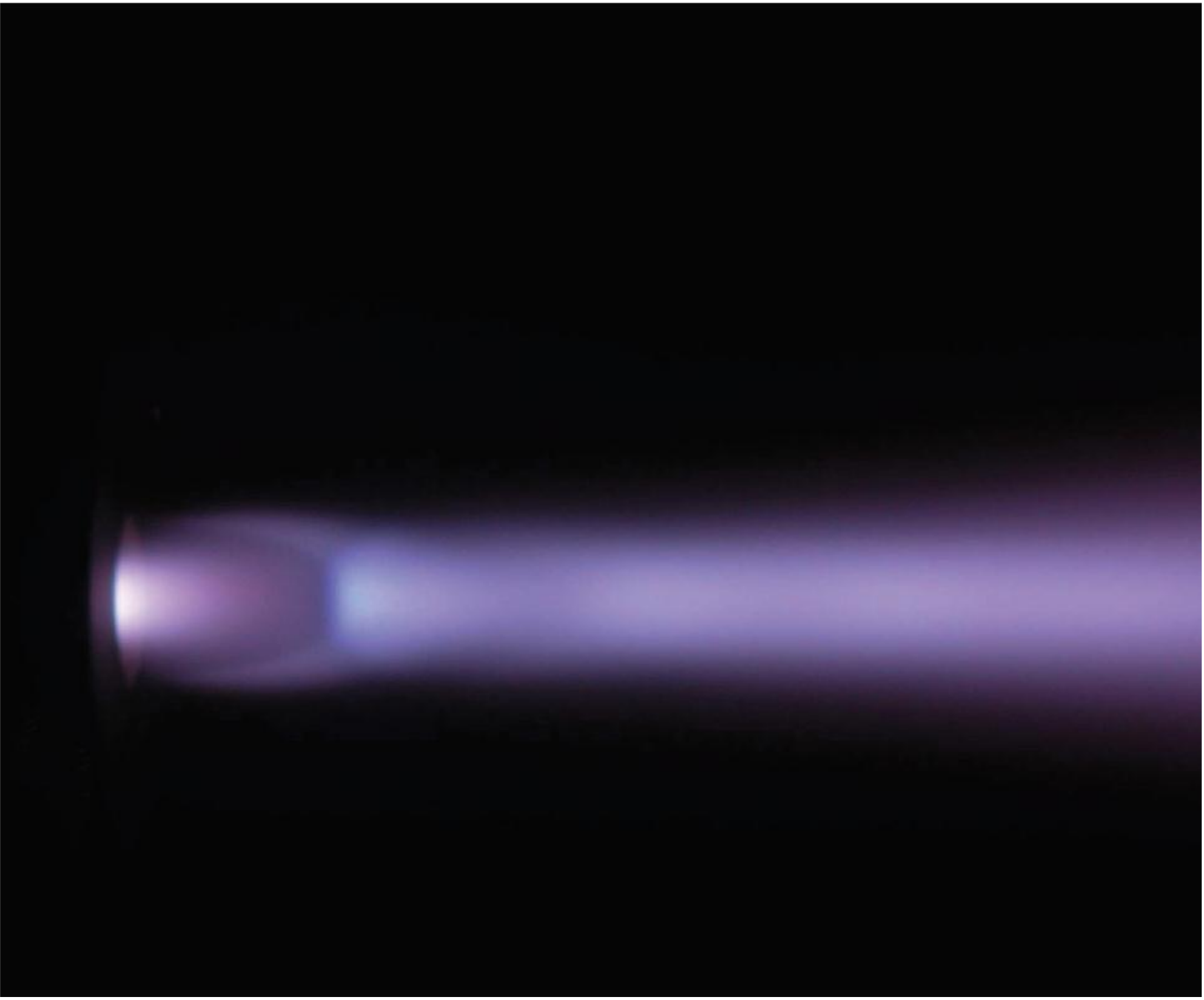
oerlikon metco

Uvod u termal sprej

Issue 6 – July 2016



Sadržaj

1 Uvod....4
1.1 Priprema površine 4
1.2 Proces prevlačenja 5
2 Termalno nanašene prevlake 6
2.1 Definicija.... 6
2.2 Supstratni materijali.... 6
2.3 Materijali za prevlačenje 7
2.4 Procesi nanošenja prevlaka termalnim sprej-prskanjem 8
2.5 Struktura prevlake.... 12
2.6 Karakteristike prevlake.... 13
2.7 Post-proces.... 13
2.8 Karakterizacija prevlake 15
3. Primene....17
3.1 Primene u proizvodnji 17
3.2 Reparacija.... 20
4. Zaključak 21
5. Dodatak 22
5.1 Referentne tabele 22
5.2 Literatura.... 23

1 Uvod

U svim sektorima industrije fraza „bolje, brže, jevtinije“ je postala uobičajena i ispravna pošto su potrebe proizvodnje u porastu. Visoki zahtevi i agresivni uslovi servisiranja često dovode do prevremenog gubitka funkcije.

U Figuri 1 je prikazana potpuno potrošena igla brizgaljke na pelton turbini nakon približno hiljadu časova njene upotrebe. Ako je period upotrebljivosti ove komponente neprihvatljiv, čitav deo se mora napraviti ili od materijala sa boljom otpornošću na habanje ili se mesto gde je došlo do habanja mora zaštiti. Iz finansijskih razloga, obično se odlučuje za ovo drugo što dovodi do upotrebe površinskih prevlaka. Prevlakom se može prekriti cela komponenta ili samo njen deo koji je pod udarom kako bi se ispunili zadati uslovi.

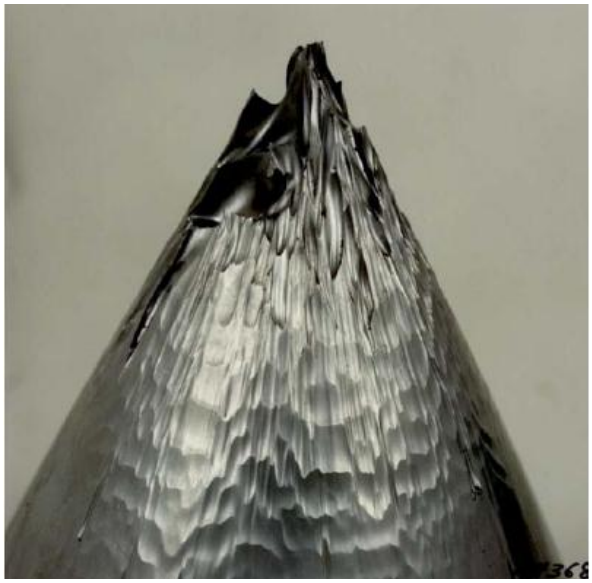


Figura 1a – Obložena hromom, 13/4 igla brizgaljke na čeličnoj pelton turbini nakon servisiranja

1.1 Površinska svojstva

Neophodni površinski uslovi za komponentu značajno variraju u zavisnosti od njenog servisnog okruženja.

Lepeza površinskih uslova obuhvata dovoljnu zaštitu od habanja, otpornost na koroziju, termalnu izolaciju, električnu izolaciju i čak poboljšan estetski izgled.

U praksi retko se dešava da su komponente izložene samo jednom faktoru. Obično je prisutna kombinacija istih, na primer, abrazivno habanje u kombinaciji sa visokim termalnim stresom. Otportnost na habanje i koroziju su najčešći uslovi koje površinska prevlaka mora ispuniti.

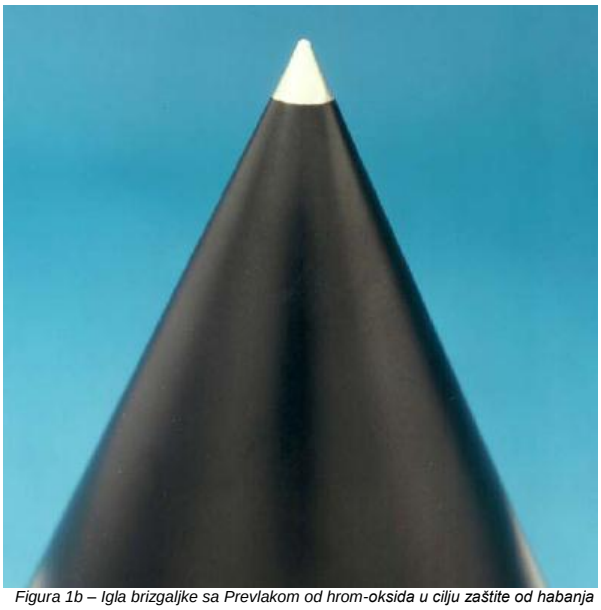


Figura 1b – Igla brizgaljke sa Prevlakom od hrom-oksida u cilju zaštite od habanja

1.2 Proces prevlačenja

Postoji više procesa prevlačenja i skoro neograničen broj materijala za prevlačenje. Obično je neophodno znanje specijaliste kako bi se odabrala prava kombinacija prevlake i procesa.

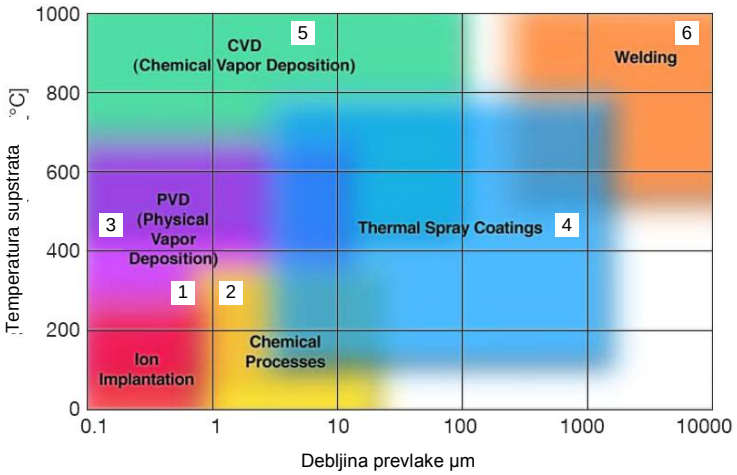
Tabela 1 navodi glavne procese za nanošenje prevlaka, uobičajene debljine prevlaka, materijale za prevlačenje i primere primene. Neki procesi prevlačenja ne odgovaraju određenim materijalima za prevlačenje. Takođe, debljine prevlaka koje se dobijaju kao rezultat se ne mogu postići u svim metodama. Pored toga, oprema koja je neophodna za neke procese može biti prilično složena i stoga skupa. Analiza troškova može odrediti da li je nanošenje prevlake praktično rešenje. Današnje regulative zahtevaju ispunjenje ekoloških kriterijuma prilikom procesa prevlacenja s obzirom da nisu sve metode u ekološkom pogledu iste.

Proces prevlačenja	Tipična debljina prevlake	Materijal za prevlacenje	Karakteristike	Primeri
PVD	1-5 µm (40-200 µin)	Ti (C,N)	Otpornost na habanje	Mašinski alati
CVD	1-50 µm (40-2000 µin)	SiC	Otpornost na habanje	Fiber prevlake
Kuvani polimeri	1-10 µm (40-400 µin)	Polimeri	Otpornost na koroziju, estetika	Automobil
Termal sprej pr.	40-3000 µm (0,0015-0,12µin)	Keramičke i metalne legure	Otpornost na habanje i koroziju	Nosači
Tvrdo hromiranje	10-100 µm (40-4000 µin)	Hrom	Otpornost na habanje	Cevi
Zavarivanje	0,5-5 µm (0,02-0,2 µin)	Čelik, stelit	Otpornost na habanje	Ventili
Galvanizacija	1-5 µm (40-200 µin)	Cink	Otpornost na koroziju	Čelični komadi
Lemljen gornji sloj	10-100 µm (40-4000 µin)	Ni-Cr-B-Si legure	Veoma čvrsta i gusta površina	Otvori

Tabela 1a – Osnovni procesi za prevlačenje i karakteristike

Proces prevlačenja koji pruža najveću lepezu materijala za prevlačenje, debljina prevlaka i mogućih karakteristika prevlaka je termalno sprej prskanje koje će biti detaljnije izloženo u daljem tekstu.

1 Jonska implantacija
2 Hemijski procesi
3 PVD (Fizička depozicija isparenja)
4 Prevlake nanešene termalnim sprej-prskanjem
5 CVD (Hemijska depozicija isparenja)
6 Zavarivanje



2 Termalno nanesene prevlake

2.1 Definicija

Definicija prema DIN 657 ([1])*: „... nanošenje ovih prevlaka se radi specijalnim uređajima/sistemima kroz koje se istopljen ili izliven materijal u obliku spreja propušta velikom brzinom na čistu i pripremljenu površinu komponente...“ Ova definicija ne opisuje u potpunosti proces termalnog sprej-prskanja.

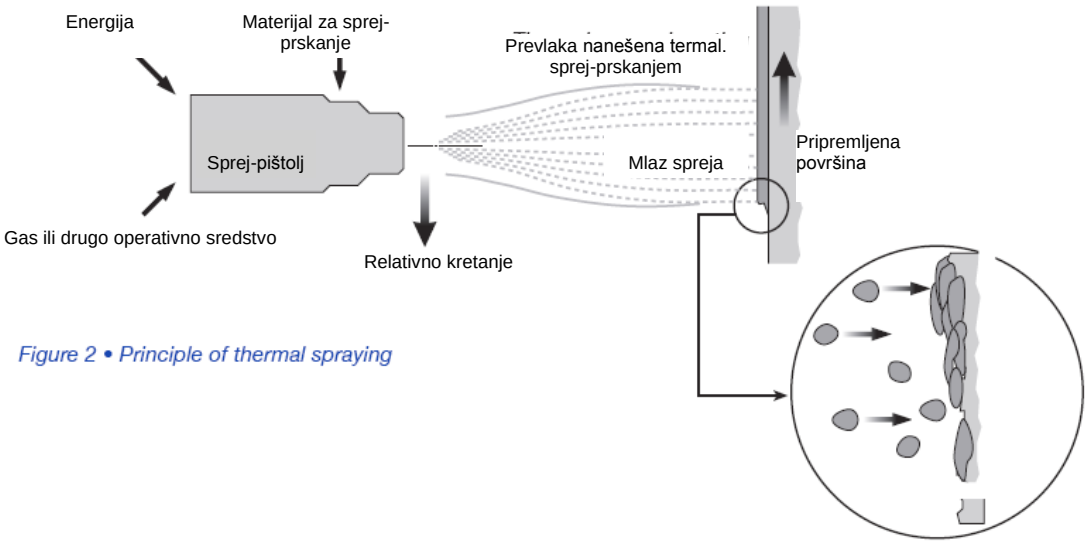
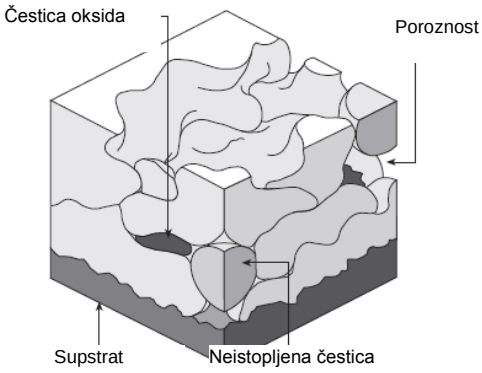


Figure 2 • Principle of thermal spraying

Figura 2 predstavlja dijagram koji pokazuje princip termalnog sprej-prskanja. Materijal za prevlačenje se topi u izvoru toplote. Ovaj tečni ili istopljen materijal se potom propušta procesnim gasovima i nanosi u spreju na osnovni materijal gde se hladi i formira tvrd sloj. Individualni aspekti termalno nanesene prevlake su:

2.2 Supstratni materijali



Pogodni substratni materijali su oni koji mogu izdržati procese paljenja kojima se „ogrubljuje“ površina čime se postiže čvrstina površine od oko 55 HRc ili manje. Neophodne su posebne procesne tehnike za pripremu supstrata sa većom tvrdoćom. Pošto se adhezija prevlake na supstrat sastoji prvenstveno od mehaničkog vezivanja, temeljno čišćenje i priprema površine na koju se nanosi prevlaka je veoma bitna.

Nakon što se uklone površinske nečistoće hemijskim ili mehaničkim metodama, površina se obično ogrubljuje procesom peskiranja. Ovo aktivira površinu tako što povećava njenu prijemčivost i pruža uvećanu površinu za vezivanje čestica spreja.

[1] Prevedeno sa nemačkog

Čestice tečnog ili istopljenog spreja udaraju u površinu velikom brzinom. To prouzrokuje deformaciju čestica i njihovo prijanjanje na supstrat u vidu „palačinke“. Toplota sa vrelih čestica se prenosi na hladniji osnovni materijal. Kako se te čestice sakupljaju i postaju čvršće, vezuju se za ogrubljeni osnovni materijal. Stoga, adhezija prevlake se zasniva na mehaničkom prijanjanju. Ova procedura je šematski prikazana u Figurama 2 i 3. Količina metarulškog vezivanja koju izaziva difuzija između čestica i osnovnog materijala je mala i može se zanemariti u slučaju mehanizama vezivanja (izuzetak: molibden).

Ogrubljivanje površine se obično obavlja „peskiranjem“ belim plemenitim korundom. Pored toga, druga sredstva, kao što su opiljci gvožđa, čelične granule ili SiC se primenjuju. Pored vrste granula, drugi bitni faktori obuhvataju veličlinu čestice, oblik čestice, ugao peskiranja, pritisak i čistoća granuliranih sredstva.

2.3 Materijali za prevlačenje

Po pravilu svaki materijal koji se ne raspada u istopljenom stanju se može koristiti kao materijal za prevlačenje termalnim sprej-prskanjem. U zavisnosti od vrste termalnog sprej procesa, materijal za prevlačenje može biti u vidu žice ili praha.

U Tabeli 2 su prikazani neki od najčešće korišćenih materijala uz najtipičnije primere, karakteristike i primere aplikacija. Odabir materijala za prevlačenje koji korespondira sa određenim načinom primene zahteva posebna znanja o servisnom okruženju kao i poznavanje materijala.

Pored fizičkih karakeristika, kao što su koeficijent širenja, gustina, toplotna provodljivost i tačka topljenja, dodatni faktori kao što su oblik čestice, distribucija veličine čestice i proizvodni proces materijala u prahu (tj. sabijeni, stvrdnuti zagrevanjem, kompozitni) utiču na svojstva prevlake. S obzirom da je većina materijala za prevlačenje dostupna u vidu legura ili mešavina, postoji skoro neograničen broj kombinacija, ali pravi odabir se može postići samo uz pomoć višegodišnjeg iskustva i poznavanja materije.

Klasa materijala	Tipična legura	Karakteristike	Primer načina primene
Čisti metali	Zn	Zaštita od korozije	Konstrukcije mostova
Samofluksivne legure	FeNiBSi	Visoka tvrdoća, topljivost, min. poroznost	Vratila, ležajevi
Čelik	Fe 13Cr	Ekonomičnost, otpornost na habanje	Popravke
MCrAIY	NiCrAIY	Visoka temperature, otpornost na koroziju	Lopatice gasnih turbina
Ni-grafitne legure	Ni 25C	Anti-trenje	Unutrašnji vodovi kompresora
Oksidi	Al_2O_3	Otpornost na oksidaciju, visoka tvrdoća	Tekstilna industrija
Karbidi	WC-Co12	Otpornost na habanje	Vratila

Tabela 2 Uobičajene klase materijala u prahu za termalno sprej-prskanje

2.4 Procesi nanošenja prevlaka termalnim sprej-prskanjem

Postoji nekoliko različitih procesa za nanošenje prevlaka termalnim sprej-prskanjem. To su:

- Konvencionalni plameni sprej;
- Elektro-lučni sprej;
- Plazma sprej; i
- Oksi-gorioni sprej velike brzine (HVOF).

Slede detalji vezani za pomenute procese. Radi pregleda pogledajte referencu (2).

2.4.1 Konvencionalni plameni sprej proces

2.4.1.1 Sprej-Prskanje sagorevanjem žice

Sa procesom prskanje sagorevanjem zice, materijal u obliku sprej žice se topi u kiseoničkom - gorionom plamenu.

Gorioni gas može biti acetilen, propan ili vodonik.

Žica se dotura koncentričnim pokretima u plamen gde se topi i atomizira dodavanjem komprimovanog vazduha i usmerava ka površini za prevlačenje.

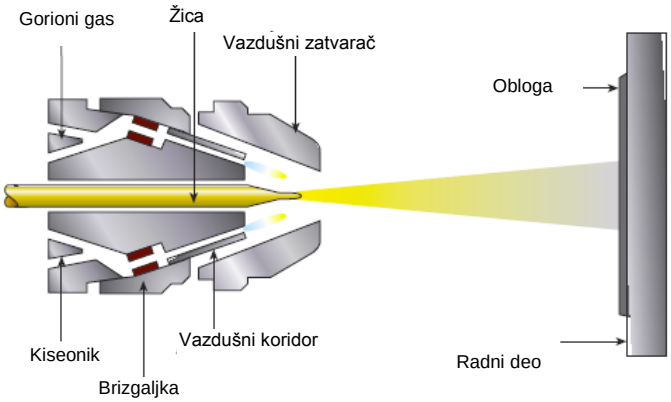


Figura 4a Šematski prikaz procesa sprej-prskanje sagorevanjem žice

2.4.1.2 Sprej-Prskanje sagorevanjem praha

Ovaj proces se zasniva na istim operativnim principima kao i prethodni sa razlikom da je materijal za prevlačenje ovde sprej prah. Stoga, dostupan je veći izbor materjala za sprej-prskanje pošto se ne mogu svi materijali proizvoditi u obliku žice.

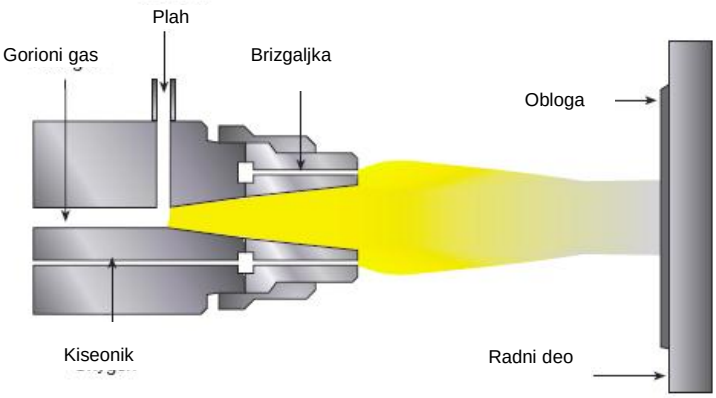


Figura 4a Šematski prikaz procesa sprej-prskanja sagorevanjem praha

2.4.2 Elektrolučno sprej-prskanje

U ovoj metodi luk se formira putem kontakta dve suprotno naelektrisane metalne žice koje su obično istog sastava. Ovo dovodi do topljenja na vrhu žice.

Vazduh atomizira istopljeni sprej materijal i potiskuje ga na supstrat. Stopa sprej-prskanja se podešava odgovarajućom regulacijom dužine žice dok se topi tako da se može održavati konstantan luk.

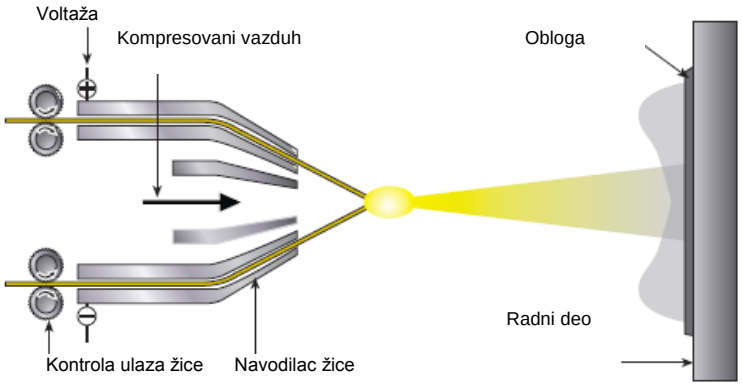


Figura 5 – Šematski prikaz procesa eletrolučnog sprej-prskanja

2.4.3 Plazma sprej-prskanje

Princip plazma sprej-prskanja je šematski prikazan u Figuri 6a. Luk visoke frekvencije se pali između anode i volfram katode. Gas koji protiče između elektroda (na primer, He, H2, N2 ili mešavine) se jonizuje tako da se stvara lepeza plazme dužine nekoliko centimetara. Temperatura u lepezi može dostizati čak 16000ºK. Sprej materijal se ubacije u vidu praha sa spoljne strane brizgaljke pištolja u lepezu plazme, gde se topi a potom gasom potiskuje na površinu supstrata.

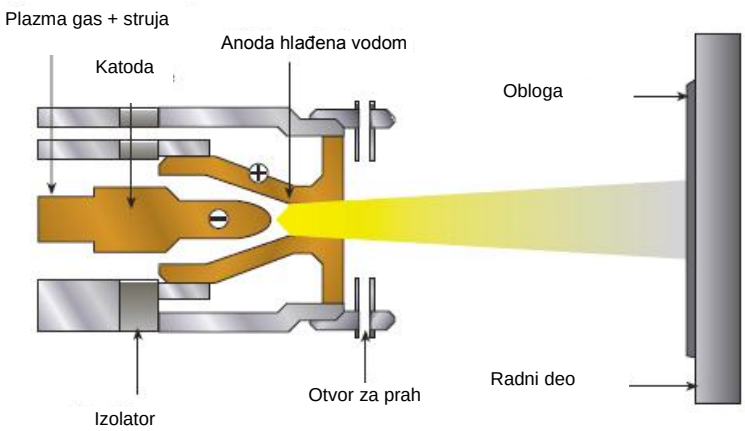


Figura 6a – Šematski prikaz procesa plazma-sprej prskanja

Za specifične primene, varijanta ovog procesa bi bila pretvaranje spreja u plazmu u kontrolisanim uslovima niskog pritiska. Za razliku od nanošenja prevlaka u vazduhu (atmosfersko plazma sprej-prskanje ili APS - atmospheric plasma spraying), otopljene čestice se mnogo manje oksidišu kod vakumskog plazma sprej-prskanja (vacuum plasma spraying, VPS) što za rezultat daje prevlake značajno višeg kvaliteta [3].

Figura 6b – VPS plazma-sprej prskanje

2.4.4 Sprej prskanje velikom brzinom uz pomoć kiseonika i gorionog gasa (High Velocity Oxy-Fuel Spray, HVOF)

HVOF proces je relativno nov proces u termalnom sprej-prskanju. Pošto on koristi supersonični mlaz što ga odvaja od konvencionalnog plamenog sprej-prskanja, brzina udara čestice o supstrat je mnogo veća što ima za rezultat poboljšane karakteristike prevlake. Ovaj mehanizam se razlikuje od plamenog sprej-prskanja u tome što se mlaz širi na izlazu pištolja (Figura 7). Gorioni gasovi propana, propilena, acetilena, vodonika i prirodnog gasa se mogu upotrebljavati kao i tečni gasovi kao što je kerozin.

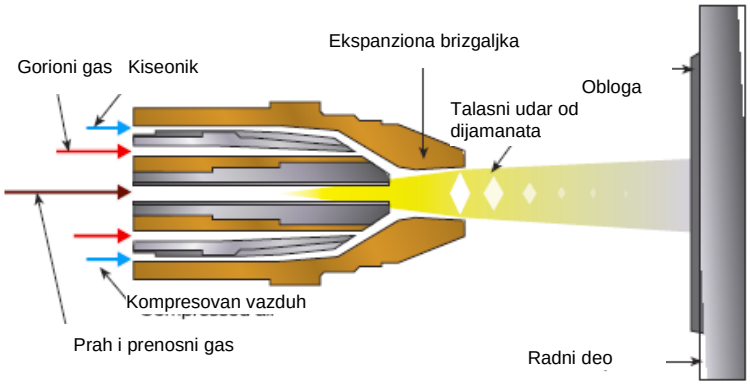


Figura 7 – Šematski prikaz HVOF procesa

2.4.5 Poređenje procesa

Gore navedeni proces se fundamentalno razlikuje po kinetičkoj i toplotnoj energiji čestica u spreju od svih ostalih. Toplotna energija se određuje preko postignute temperature plamena a kinetička energija čestica spreja je funkcija brzine gasa. Energetsko poređenje procesa sprej-prskanja je predstavljeno u Figuri 8. Visoka temperatura u plazma sprej-prskanju je naročito pogodna za materijale sa visokom tačkom topljenja kao što su keramički materijali.

1 Plasma

2 Električni luk

3 Plameni sprej

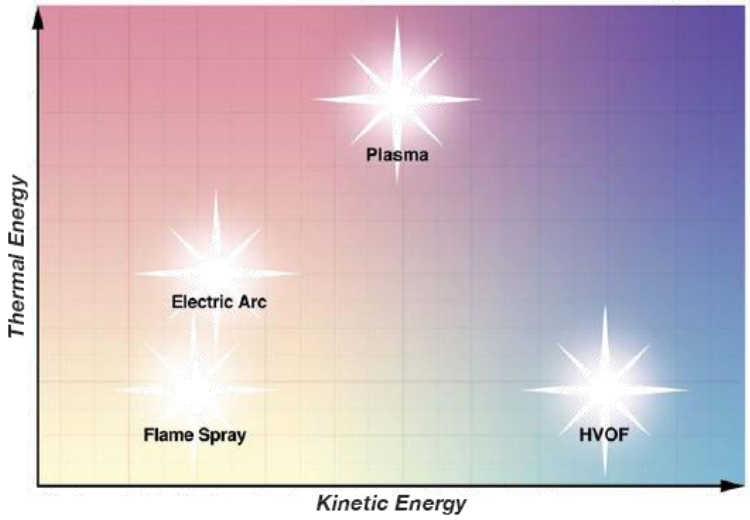


Figura 8 – Energetsko poređenje procesa sprej-prskanja

S obzirom da poseduje visoku kinetičku i nisku toplotnu energiju, HVOF proces ima za rezultat pozitivan efekat na karakteristike prevlake, i preporučuje se za sprej-materijale kao što su volfram-karbidne prevlake. Poređenje procesa je korisno uglavnom zbog prevlaka koje nastaju iz njih. Tabela 3 navodi neke od bitnih karakteristika prevlaka podeljenih po klasi materijala.

Karakteristike		Tip obloge	Plameni sprej praha	HVOF sprej	Elektrolučni žični sprej	Plazma sprej
Temperatura gasa	[°C]		3000	2600 - 3000	4000 (Arc)	12000 - 16000
	[°F]		5400	4700 - 5400	7200 (Arc)	21500 - 29000
Stopa prskanja	[kg/h]		2 - 6	1 - 9	10 - 25	2 – 10
	[lb/h]		4.5 - 13	2 - 20	22 - 55	4.5 - 22
Brzina čestice	[m/s]		do 50	do 700	približno 150	do 450
	[ft/s]		do 160	do 2300	približno 500	do 1500
Vezivna snaga	[MPa]	Legure gvožđa	14 - 21	48 - 62	28 - 41	21 - 34
	[psi]		2000 - 3000	7000 - 9000	4000 - 6000	
	[MPa]	Legure koje ne sadrže Fe	7 - 34	48 - 62	14 - 48	14 - 48
	[psi]		2000 - 5000	7000 - 9000	4000 - 7000	4000 - 7000
	[MPa]	Samofluksivne legure	83+ (fused)	70 - 80	15 - 50	---
	[psi]		12000+ (fused)	10000 - 11500	2200 - 7200	---
	[MPa]	Keramika	14 - 34	---	---	21 - 41
	[psi]		4000 - 5000	---	---	3000 - 6000
	[MPa]	Karbidi	34 - 48	83+	---	55 - 69
	[psi]		5000 - 7000	12000+	---	8000 - 10000
Debljina prevlake	[mm]	Legure gvožđa	0.05 - 2.0	0.05 - 2.5	0.1 - 2.5	0.4 - 2.5
	[mil]		2 - 80	2 - 100	4 - 100	15 - 100
	[mm]	Legure koje ne sadrže Fe	0.05 - 5.0	0.05 - 2.5	0.1 - 5.0	0.05 - 5.0
	[mil]		2 - 200	2 - 100	4 - 200	2 - 200
	[mm]	Samofluksivne legure	0.15 - 2.5	0.05 - 2.5	---	---
	[mil]		6 - 100	2 - 100	---	---
	[mm]	Keramika	0.25 - 2.0	---	---	0.1 - 2.0
	[mil]		10 - 75	---	---	4 - 80
	[mm]	Karbidi	0.15 - 0.8	0.05 - 5.0	---	0.15 - 0.8
	[mil]		6 - 30	2 - 200	---	6 - 30
Tvrdoća (videti tabelu A2, Dodatak)	[HRc]	Legure gvožđa	35	45	40	40
		Legure koje ne sadrže Fe	20	55	35	50
		Samofluksivne legure	30 - 60	30 - 60	---	30 - 60
		Keramika	40 - 65	---	---	45 - 65
		Karbidi	45 - 55	55 - 72	---	50 - 65
Poroznost	[%]	Legure gvožđa	3 - 10	< 2	3 - 10	2 - 5
		Legure koje ne sadrže Fe	3 - 10	< 2	3 - 10	2 - 5
		Samofluksivne legure	< 2 (fused)	< 2	---	---
		Keramika	5 - 15	---	---	1 - 2
		Karbidi	5 - 15	< 1	---	2 - 3

fused – topljena

Tabela 3 – Poređenje karakteristika prevlaka nanešenih termalnim sprej-prskanjem (približne vrednosti)

2.4.6 Infrastruktura (zahtevi sistema)

Pored glavne stavke u sistemu nanošenja prevlaka, što je zapravo pištolj, postoji značajan broj drugih neophodnih stvari za nanošenje prevlaka u industrijskom okruženju. Figura 9 prikazuje jedan sistem za nanošenje prevlaka. Kabina za sprej-prskanje služi kao štit od buke i prašine koju proizvodi pištolj za vreme prskanja. Kabina poseduje ulazne otvore za napajanje, dotok gasa i nadzor procesa kao i kontrolne opreme. Pištolj se obično postavlja na robota čiji su pokreti programirani za sprej-prskanje specifičnih komponenti. Komponenta na kojoj se vrši sprej-prskanje se obično postavlja na jedinicu za rukovanje kao što je obrtni stol. Stoga, moguće je nanošenje prevlaka sa veoma složenim geometrijskim zahtevima. Ventilacijski sistem sa svojom filterskom jedinicom se ne sme zapostaviti pošto tzv. „prekomerni sprej“, tj. praškasti materijal koji se ne lepi za površinu komponente, se može usisati i sakupiti u filtersku jedinicu. Prašina koju proizvode neki sprej-materijali se može zapaliti. Stoga, u ovakvim situacijama čitav sistem mora biti otporan na vatru i eksploziju. Figura 24 prikazuje moderno, automatizovano i visokoproduktivno postrojenje za nanošenje prevlaka.

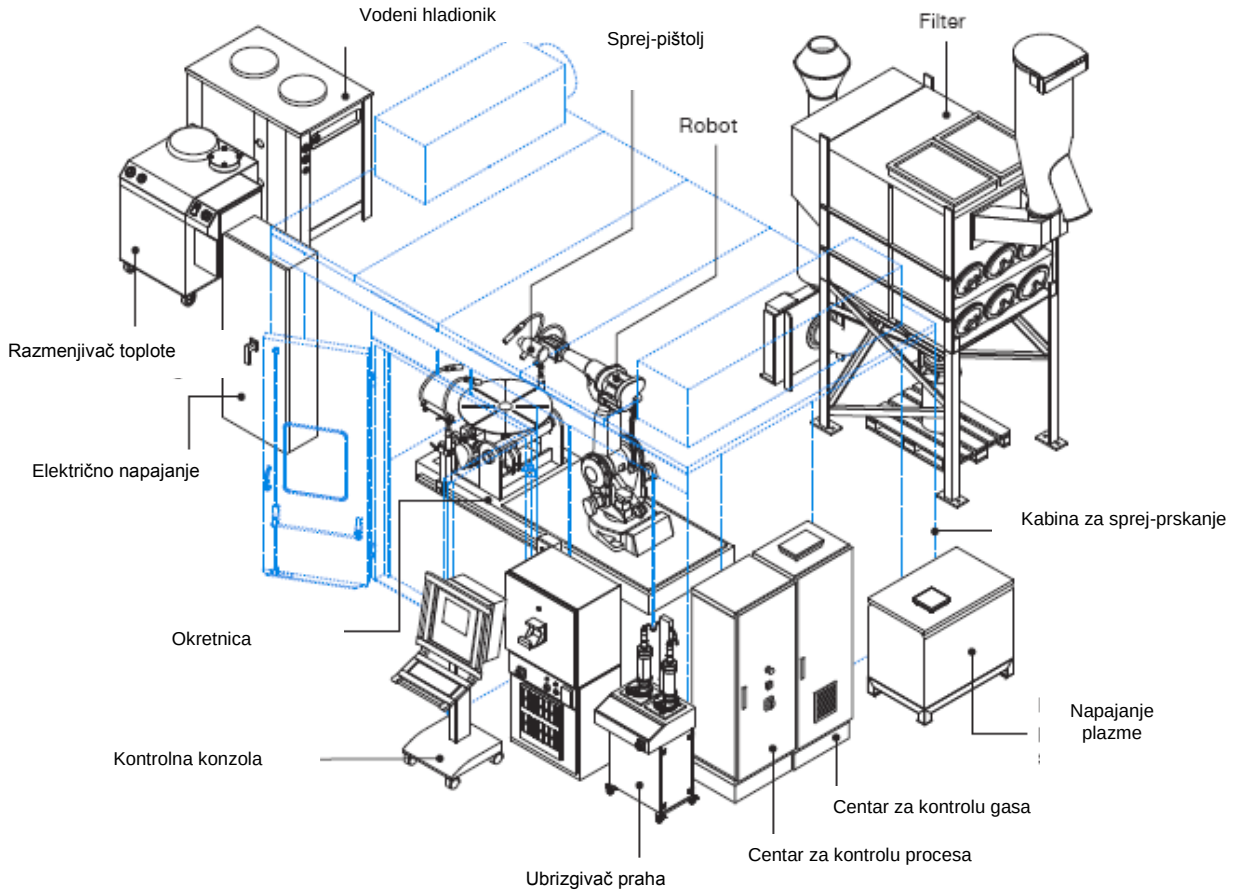


Figura 9 – Tipično postrojenje za nanošenje prevlaka

2.5 Struktura prevlake

Termalno nanešene prevlake iskazuju određenu meru poroznosti na proces. Najviše vrednosti poroznosti su za plameno elekro-lučno sprej-prskanje. HVOF prevlake s druge strane daju veoma guste slojeve sa poroznošću ispod 0.5%. Tipične plazma prevlake poseduju približno jedan do 2 procenta poroznosti.

Prevlaka nanešene sprej-prskanjem nastaje postepeno kako se pištolj kreće naizmenično preko površine i nanosi je u slojevima. Uobičajena debljina sloja je od 10 do 20 µm (400 do 800 µin). Oksidi mogu nastati u trenucima između prelaza pištolja na gornjoj površini sloja. Ova oksidacija se može minimizirati ukoliko se sprej-prskanje vrši u vakumu ili inertnoj atmosferi.

Fina prašina i neistopljene čestice se mogu zadržati u prevlaci. Prašina je posledica materijala za prevlačenje koji ne prione na radni deo tokom sprej-prskanja. Potonji prelazi spreja vuku ove čestice ka površini prevlake gde bivaju „uhvaćene“ u sloju prevlake.

Figura 10 prikazuje fotomikrografiju prevlake nanešene eletro-lučnim sprej-prskanjem X40 Cr 13. Jasno se vidi laminirana struktura i poroznost (crne oblasti). Krupne čestice su one koje se nisu potpuno istopile pre ponovnog očvršćavanja. Debljina ove prevlake može iznositi do nekoliko milimetara.

Mnogo gušće prevlake se mogu dobiti u HVOF procesu. Prevlaka od WC (CoCr) je predstavljena u Figuri 11. Poroznost jedva da je vidljiva u ovom slučaju. Svetle oblasti se sastoje od čvrstog WC-a, koji je utkan u elastični obrazac kobalta i hroma. Ovde je uobičajena debljina prevlake od 0.2 do 0.3 mm (0.008 do 0.012 inča).

Termalno nanešene prevlake generalno daju visoku otpornost na interno opterećenje što se pripisuje procesima očvršćavanja i hlađenja. Vrela čestica se smanjuje kako se hladi što povećava otpornost na interno opterećenje prevlake.

Ukoliko se uzmu u obzir odnos koeficijenata termalnog širenja za supstratni materijal i materijal za prevlacenje, ova opterećenja se mogu kompenzovati proizvodnjom kompresivnih opterećenja. Stoga, kontrola temperature tokom procesa nanošenja prevlake ima bitnu ulogu u odlučivanju da li se substrat mora hladiti ili zagrevati.

Adhezija keramičke prevlake na supstrat ponekad ne ispunjava neophodne uslove za jačinu prijanjanja. Kako bi se snaga prijanjanja povećala, nanosi se vezivni sloj koji se obično sastoji od NiAl ili Ni Cr legura, koje se ponašaju kao međusloj između supstrata i keramičke prevlake. Takav međusloj može ispunjavati još jednu funkciju pružajući dodatnu zaštitu od korozije.

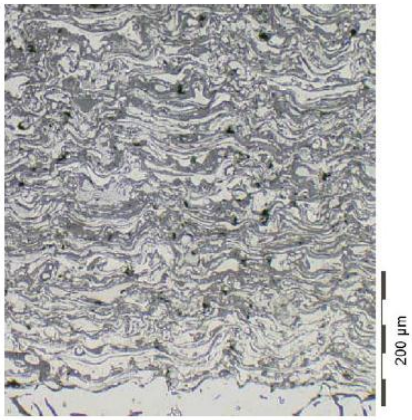


Figura 10 – Prevlaka nanesena elektro-lučnim sprej prskanjem X40Cr13

Figura 11 – Prevlaka od WC-(Co, Cr) 12 nanesena HVOF procesom

2.6 Karakteristike prevlake

Ko što je već navedeno, poroznost prevlake nanešene termalnim sprej-prskanjem zavisi od procesa i daje ansiotropske i slojevite strukture. Ove osnovne karakteristike se mogu modifikovati u širokom rasponu kako bi se zadovoljile različite primene.

2.6.1 Otpornost na habanje

Jedna od najbitnijih svojstava termalno nanešenih prevlaka je otpornost na habanje [4]. U ovakvim slučajevima koriste se keramički, i pre svega, karbidni materijali. Karbidni materijali koji se obično upotrebljavaju su WC/Co ili WC/CoCr. U ovom slučaju karbidne čvrste faze (WC) demostriraju sjajnu otpornost na abrazivno i erozivno habanje, i utkane su u elastični obrazac kobalta.

2.6.2 Otpornost na koroziju

Materijali sa niskim sadržajem ugljenika, nelegurisanog čelika i livenog gvožđa su podložni rđi i stoga zahtevaju konstantnu površinsku zaštitu. To se može izvesti prevlakama nanešenim plamenim sprej-prskanjem aluminijuma ili cinka. Glavne oblasti primene su zemne strukture mostova. Za primene koje obuhvataju visoku temperaturu, mogu se koristiti zaštitne prevlake od MCrAlY materijala. One se obično nanose plazma sprej-prksanjem u kontrolisanoj atmosferi.

2.6.3 Izolacijske prevlake (toplotne/električne)

Keramički materijali su sjani toplotni i električni izolatori. Takođe poseduju dobru otpornost na oksidaciju i habanje. Ova svojstva su veoma korisna na delovima motora i turbina kao termalne barijere u vidu prevlaka. Takve barijere snižavaju površinsku temperaturu supstrata, i na taj način produžuju radni vek tog elementa. S druge strane, efikasnost se povećava kao rezultat redukovanog gubitka toplote na istoj radnoj temperaturi. Ovakvi sistemi prevlaka se sastoje od vezivne prevlake, koja je obično MCrAlY materijal otporan na toplotu (M=Fe, Ni ili Co) i gornje keramičke prevlake. Itrijum-stabilizovan cirkonijum oksid se često koristi za gornji sloj jer poseduje dobru otpornost na termalni šok.

2.7 Post-proces

Pošto mnoge prevlake nakon nanošenja imaju grubu površinu i poroznost, često je neophodno da se površina obradi u post-procesu. Pored toga, specifikacijske procedure mogu zahtevati i druge metode kao što je post-procesna difuzija, nitracija, vrelo izostatično presovanje ili grubo poliranje.

2.7.1 Mehanički post-proces

Prevlake nanešene termalni sprej-prskanjem imaju grubu površinu koja je između 5 i 20 μm (pogledajte Tabelu A1 u Dodatku). Stoga, često je neophodno da se mnoge komponente mašinski obrade kako bi se površina ispolirala i dobile zahtevane dimenzije. U zavisnosti kakva je prevlaka nanešena, površina se može obraditi konvencionalnom mašinskom obradom ili se može glačati i strugati do željenog izgleda.

2.7.2 Zapunjavanje

Zapunjavanje prevlake obično ima za cilj da popune pore i miropukotine u prevlaci što pojačava otpornost na korozivne uticaje koji bi inače prodrli u osnovni materijal.

Kada se koriste zapunjivač na bazi smole ili voska, one u tečnom stanju prodiru u pore i potom se očvršćavaju (obično uz pomoć toplote). Ako se materijal za zapunjavanje nanosi sprejom ili mazanjem, procedura se mora ponoviti više puta kako bi se dobilo dobro pokrivanje.

Materijali za zapunjavanje se takođe mogu koristiti za dobijanje površina sa ne-adhezivnim karakteristikama (materijali za Zapunjavanje na bazi PTFE).

2.7.3 Tretman toplotom nakon nanošenja prevlake

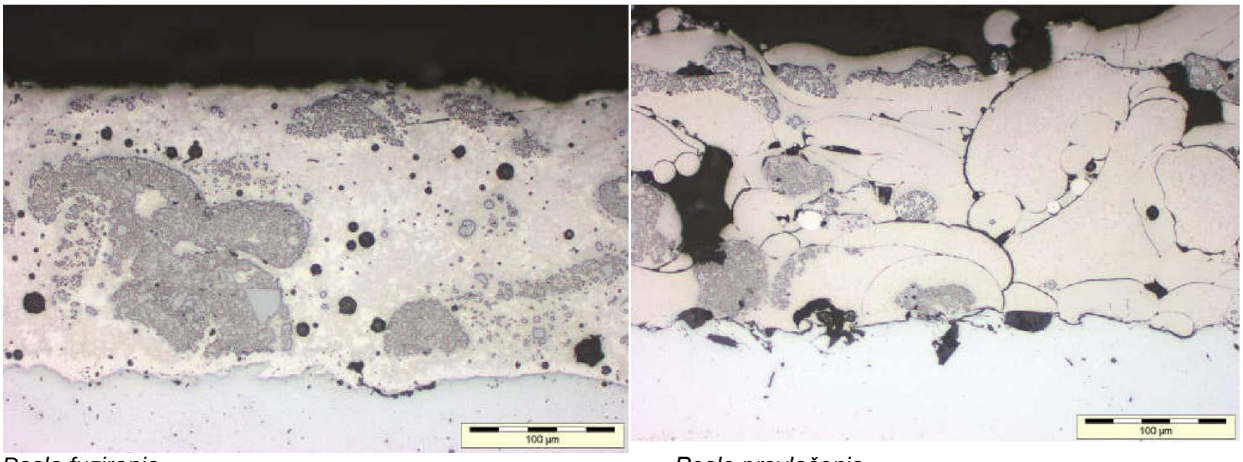
Kod ovakvim tretmana postoji razlika između difuzije kojom se pojačava prijanjanje između osnovnog materijala i prevlake, i fuzije „samofluksivnih“ legura.

Samofluksivne legure čine zasebnu klasu materijala za sprej-prskanje jer je nakon nanošenja prevlake potrebno uraditi još jedan dodatni korak, tj. istopiti prevlaku. Prahovi za sprej-prskanje ovakvih legura su obično mešavine hroma, gvožđa i nikla koja sadrže znatnu količinu temperaturnih supresanata, kao što su boron i silikon.

Tokom procesa sprej-prskanja, postoji trenutak kada se delimično formiraju intermetalne faze. Potonje fuziranje prevlake uslovljava kompletnu transformaciju materijala i stvaranje čvrstog silicida i borida. Difuzija u supstratu se takođe odigrava i povećava vezivnu snagu, dok se poroznost skoro potpuno eliminiše bez ikakve međuvezne poroznosti.

Ovakve prevlake demonstriraju veoma dobru otpornost na koroziju i veoma veliku čvstinu. Uobičajena metoda kojom se tope prevlake je upotrebom acetilenskog gorionika. Isto se može takođe postići topljenjem u peći upotrebom lasera, električnog zraka ili indukcijom toplote.

Figura 12 prikazuje jednu takvu prevlaku od NiCrBSi legure pre i nakon topljenja prevlake. Homogenizacija njene strukture se jasno vidi kao i redukovana poroznost i gustina.



Posle fuziranja *Posle prevlačenja*

Figura 12 – Samofluksivna prevlaka

2.8 Karakterizacija prevlake

Pored karakteristika prevlake koje su bitne u pogledu primene, postoje i neke karakteristike koje se mogu utvrditi prilično lako u smislu standardizovanih kontrolnih merenja. To su:

- Vizuelna inspekcija
- Merenje debljine prevlake
- Merenje površinske hrapavosti

Ukoliko je potrebno, mogu se ispitati i test elementi koji su prskani u isto vreme i pod istim uslovima kao i prvobitna prevlaka kako bi se utvdile dodatne karakteristike kvaliteta prevlake:

- Presek za određivanje tačne debljine prevlake, poroznosti i strukture kao i ispitivanje mikrostrukture neistopljenih čestica i inkluzije kiseonika
- Merenje mikrotvrdoće
- Određivanje vezivne snage upotrebom specijalne opreme za adheziju i testiranje
- Testovi savijanja

Test merenja koriste standardizovane konfiguracijske uzorke. Precizno izvođenje i interpretacija je u skladu sa različitim standardima [6]. Pored toga, postoje i mnoge druge mogućnosti. Karakterizacija prevlaka u praksi je prilično složena, i postoje mnoge različite procedure koje nisu uobičajene.

S druge strane, različite metode za analizu elemenata se mogu uključiti kao što je testiranje na ogrebotine, tribologička ispitivanja, analiza opterećenja i korozije i ispitivanje ponašanja pod uslovima abrazije. Pošto su sve ovo destruktivna ispitivanja, nisu pogodna za proizvodnju i retko se vrše na test uzorcima. Mnogi krajnji korisnici su razvili sopstvene metode specifikacije i testiranja za karakterizaciju i ocenivanje kvaliteta svojih prevlaka. Konkretno, vazduhoplovna i svemirska industija poseduju veoma striktne direktive u tom pogledu.

3 Primena

Kako bi se termalno nanešene prevlake najbolje iskoristile, materijal za prevlačenje mora biti pravilno izabran, pravi proces nanošenja prevlaka upotrebljen i procesni parametri dobro uračunati. Takođe, komponenta na koju se nanosi prevlaka se mora pravilno izmeriti.

Preporučene konfiguracije za prevlake su diskovi, ravni paneli i rotaciono simetrične komponente kao što je ilustrovano u Figuri 13.

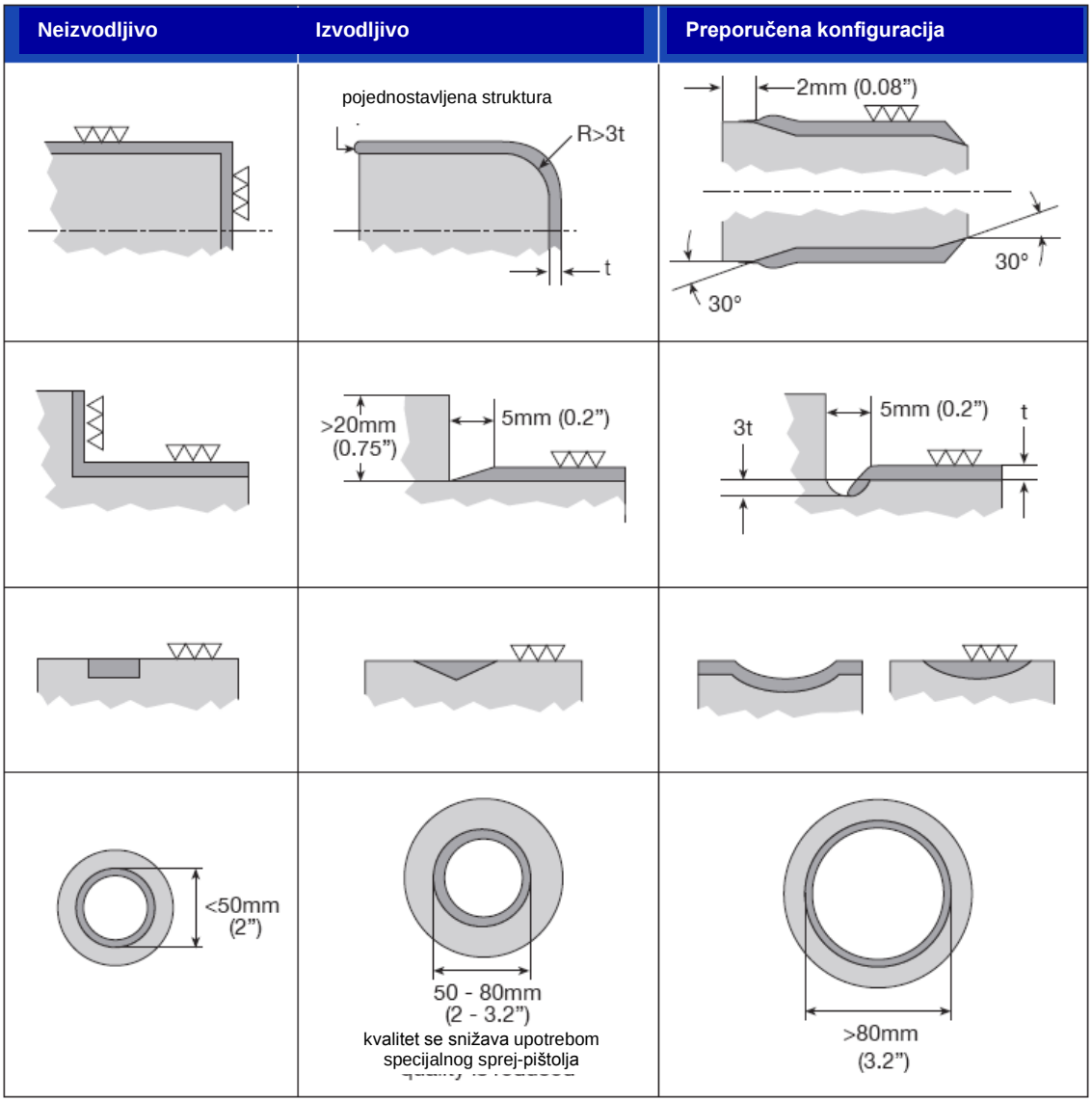


Figura 13 – Najbolje konfiguracije za nanošenje prevlaka

3.1 Primene u proizvodnji

3.1.1 Alternativa čvrstog hroma

Kao alternativa nanošenju oplate čvrstim hromom, prevlake nanešene termalnim sprej-prskanjem se mogu upotrebiti za dobijanje dobre otpornosti od habanja i korozije. Čisti hrom kao i mnoge karbidne prevlake se mogu upotrebiti [5]. Kako bi se dostigla otpornost na koroziju što približnija onoj koju poseduje oplata hroma, koristi se HVOF proces. Karakteristike HVOF prevlaka prevazilaze karakteristike koje poseduje oplata hroma. Međutim, da bi se dobilo reflektivno svojstvo koje poseduje čvrsta oplata hroma, prevlaka se mora strugati i polirati. Kao primer upotrebe termalnog sprej-prskanja kao zamene za nanošenje oplate od čvrstog hroma mogu poslužiti komponente opreme za sletanje kod aviona. Figura 14 prikazuje nos F5 Tiger aviona koji je prekriven sa WC/CoCr.

Figura 14 – Deo nosa aviona F5 Tiger sa WC/CoCr Prevlakom

3.1.2 Medicinski implanti

Površinko poliranje je od velikog značaja za jake i izdržljive delove ortopedskih implanata kao što su veštački kukovi. Oerlikon Metco Metco®PLANT prevlake koje se nanose plazma procesom, su namenski prskane veoma fiziranom površinom koja dozvoljava da kost priraste za nju. Postoje SUME®PLANT prevlake koje se ponašaju kao biokompatibilne titanijumske prevlake (Figura 15) ili bioaktivne hidroksi-apatit prevlake koje aktivno ubrzavaju rast prirodne kosti na površini proteze.

Figura 15 – Biokompatibilni Metco®PLAN titanijumska prevlaka na implantu kuka

3.1.3 Mašine u tekstilnoj industriji

Metco®TEX sistemi prevlaka su nastali kao rezultat dugogodišnje saradnje sa proizvođačima tekstila. Ove prevlake karakteriše precizna definicija oblika koja je dobijena upotrenom različitih metoda i topologije površine. Tekstura površine je od naročitog značaja za proizvodnju komponenti u kontatku sa niti. Kako bi se maksimizirala proizvodnja vlakana, koriste se prevlake keramičkih oksida naročito sa vezivnim slojem nikla koji pruža zaštitu od korozije. Figura 16 prikazuje nekoliko primera ovakve primene.

Figura 16 – Komponente u tekstilnoj industriji

3.1.4 Gasne turbine

U stacionarnim kao i letačkim gasnim turbinama, termalno nanešene prevlake se koriste na različitim mestima i u različite svrhe. Zaštitne prevlake za visokom otpornošću na temperaturu, termalno izolativne prevlake, prevlake koje pružaju zaštitu od trenja i reparacija komponenata od superlegula uz pomoć prevlaka sličnog sastava su samo neki od primera (videti Figuru 17).

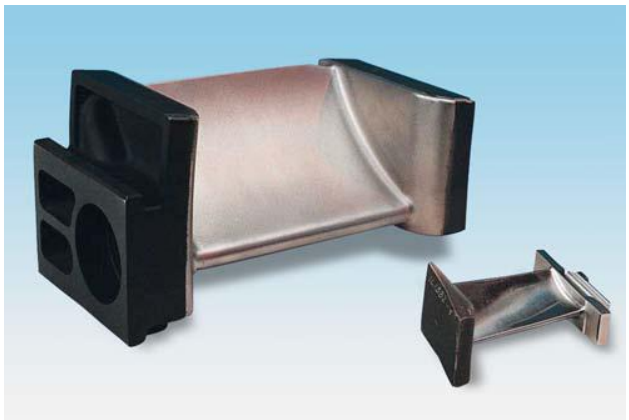


Figura 17 – Obložene lopatice gasne turbine

3.1.5 Štamparska industrija

Obloženi valjci i cilindri se naširoko koriste u štamparskoj industriji. U saradnji sa klijentima iz papirne i štamparske industrije, nekoliko Metco®PRINT prevlaka je razvijeno. Prevlake hrom-oksida koje su nanešene plazma sprej-prskanjem za valjke za mastilo pokazuju veoma fine mikrostrukture na kojima se laserski mogu gravirati veoma mali i uski obrasci (Figura 18).

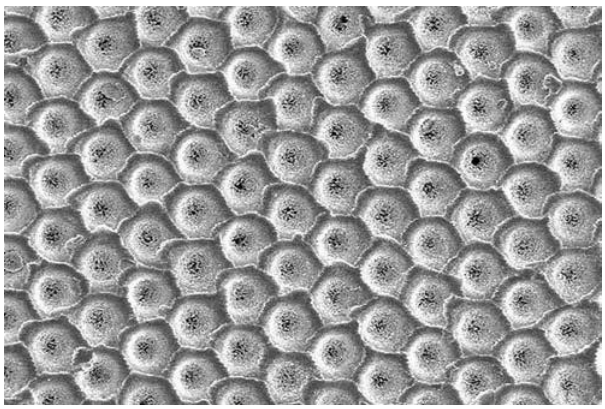


Figura 18 – Anilox rolan za štampu sa ugraviranom Metco®PRINT Prevlakom

3.1.6 Opšta upotreba u industriji

Najveći obim primena prevlaka se može naći u mašinskoj industriji. Figura 19 prikazuje osovinu koja je obložena babitnom Prevlakom koja se koristi u fabrikama cementa.

Ovakva specijalna, naročito porozna prevlaka je dizajnirana za lubrikaciju uljem što sprečava skorevanje materijala u rezervoaru.

Drugi primeri primene su prstenovi klipova za dizel motore, nosači pumpi, šipke klipova u kompresorima, pokrivači ventila itd.

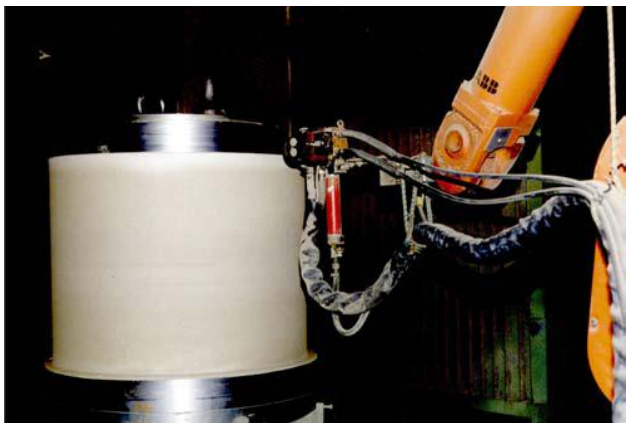


Figura 19 – Noseća osovina sa babitnom Prevlakom

3.1.7 Potrošačka roba

Iako su mnoge primene termalno nanosivih prevlaka razvijene za veoma specifične komponente, postoje primene i u potrošačkoj industriji. Gvozdena ploča na koju je nanešena keramička prevlaka u vidu zaštite od habanja je prikazana u Figuri 20. Sloj materijala koji se ne lepi (anti-stick) se nanosi u sledećem koraku. Slične prevlake se takođe nanose na teflonske (non-stick) tiganje za pečenje.

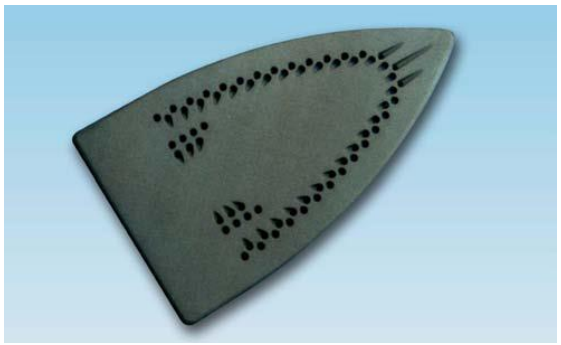


Figura 20 – Obložena gvozdena ploča kućne pegle

3.1.8 Automobilska industrija

Pored nanošenja prevlaka na brojne male delove, najnoviji proboj u Oerlikon Metco indistriji predstavljaju prevlake za aluminijumske blokove motora. Unutrašnjost cilindara motora se oblažu upotrebom specijalnog rotirajućeg plazma pištolj-manipulatora (Figura 21), koji nanosi prevlaku na unutrašnjost malih ureza koja pruža otpornost na habanje.

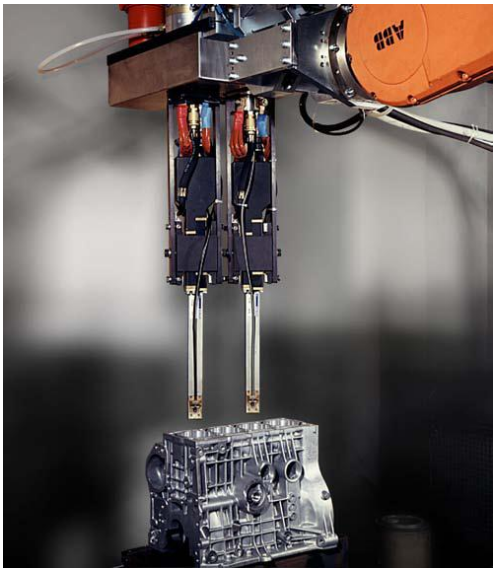


Figura 21 – Dual-RotaPlasma®

3.1.9 Industrija čelika

Koturi (rolne) koje se koriste u industriji proizvodnje čelika podnose veoma velika termalna opterećenja vrelog čelika. Pored toga, mora se rukovati šljakom koja se javlja u procesu proizvodnje; u proizvodnji cinka, tu je korozivna opasnost od topljenog cinka. Nekoliko različitih Metco®STEEL sistema prevlacenja se mogu upotrebiti kako na novim tako i na repapriranim delovima.

Figura 22 – Nanošenje prevlake HVOF presom na kotur od cinka

3.1.10 Industrija papira

Roleri u industriji papira podnose najrazličitije faktore u operatinom okruženju kao što su habanje, hemijska korozija prouzrokovama bojama, termalni stres na zagrejane rolere i mehanička opterećenja na lopatice. Istovremeno, oni moraju pružiti visokokvalitetni površinski sjaj i glatkoću što je duže vremena moguće. Metco®CAL prevlake ispunjavaju ove uslove naročito kada su koturi za kalendare u pitanju (Figura 23).

Figura 23 - SUME®CAL nakon finog poliranja

3.1.11 Vazduhoplovna industrija

Pored komponenti za gasne turbine koje su već pomenute, postoje i dodatne vrste prevlaka koje se koriste za avione. Figura 24 prikazuje prevlaku na unutrašnjoj strani komore za sagorevanje.

Figura 24 – Komora za sagorevanje

3.2 Reparacija

Termalni sprej se takođe može koristiti za reparaciju kako bi se komponentama vratile njihove originalne dimenzije. Prevlake se mogu obrađivati i brusiti do finalne veličine. Ni-, Cr, Ni-Al ili Ni-Cr-Al se koriste kao materijali za reparaciju legurisanih čelika.

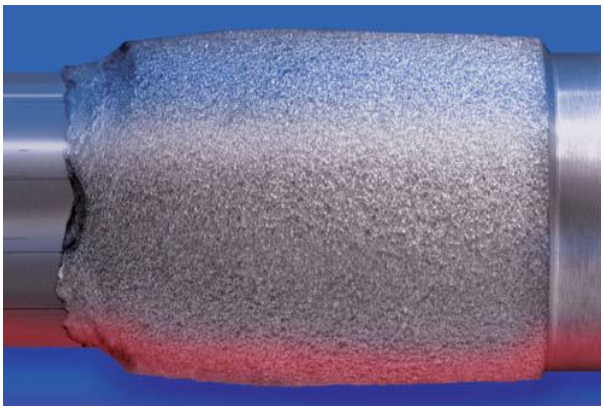


Figura 25 – Procedura reparacije

Figura 26 – Moderan LPPS proizvodni sistem velikog kapaciteta za prevlacenje lopatica gasnih turbina

4 Zaključak

Termalni proces, možda više nego bilo koji drugi proces prevlacenja, nudi neograničeni broj opcija koje se mogu primeniti na supstrate i materijale za prevlacenje. Kao rezulatat toga sledi činjenica da za termalno sprej nanošenje prevlaka postoji široka lepeza primena, bilo za proizvodnju novih komponenti bilo za reparaciju. Karakteristike prevlaka variraju kako bi zadovoljile različite specifične uslove što zavisi od iskustva i znanja koje poseduju specijalisti.

Naše obimno poznavanje dizajna i konstrukcije sistema nanošenja prevlaka termalnim sprejom, opreme i materijala kao i višegodišnje iskustvo u nanošenju prevlaka kako na prototipske tako i na proizvodne komponente, svedoči da je Oerlikon Metco idealan partner za termalno sprej-prskanje.

Molimo Vas da kontaktirate svog Oerlikon Metco predstavnika SM SBB TIM za više informacija ili posetite našu Internet stranicu na adresi www.oerlikon.com/metco.

5 Dodatak

5.1 Referentne tabele

Površinsko poliranje	Ra u µm	Ra u µin	Rz u µm
Surface Finish	**Ra in µm**	**Ra in µin**	**Rz in µm**
N0	0.0125	0.5	
N1	0.025	0.1	0.29
N2	0.05	2	0.55
N3	0.1	4	0.91
N4	0.2	8	1.74
N5	0.4	16	2.6
N6	0.8	32	4.65
N7	1.6	64	7.87
N8	3.2	128	15.6
N9	6.3	250	40
N10	12.5	500	63
N11	25	1000	100
N12	50	2000	160

Tabela A1 – Površinsko poliranje (približne uporedne vrednosti)

Rockwell HRc	Vickers HV	Brinell HB	Vučna sila Rm [N/mm2] Tensile strength Rm [N/mm2]
80	1865		
79	1787		
78	1710		
77	1633		
76	1556		
75	1478		
74	1400		
73	1323		
72	1245		
71	1160		
70	1076		
69	1004		
68	942		
67	894		
66	854		
65	820		
64	789		
63	763		
62	746		
61	720		
60	697		
59	674		
58	653	620	2180
57	633	599	2105
56	613	580	2030
55	595	570	1995
54	577	551	1920
53	560	532	1845
52	544	515	1780
51	528	495	1700
50	513	485	1665

Rockwell HRC	Vickers HV	Brinell HB	Vučna sila Rm [N/mm2] Tensile strength Rm [N/mm2]
50	513	485	1665
49	498	475	1630
48	484	456	1555
47	471	447	1520
46	458	437	1485
45	446	423	1450
44	434	409	1385
43	423	399	1350
42	412	390	1320
41	402	380	1290
40	392	371	1255
39	382	361	1220
38	372	352	1190
37	363	340	1150
36	354	335	1140
35	345	330	1115
34	336	323	1095
33	327	314	1060
32	318	304	1030
31	310	295	995
30	302	285	965
29	294	280	950
28	286	271	915
27	279	266	900
26	272	257	865
25	266	252	850
24	260	247	835
23	254	242	820
22	248	238	800
21	243	233	785
20	238	228	770

Tabela A2 – Tvrdoća u rasponu od HRc 80 do 20 (približne uporedne vrednosti)

5.2 Literatura

[1]	DIN EN 657; Thermal Spray – Begriffe, Einteilung; Beuth-Verlag, Berlin (1994)
[2]	H.D. Steffens, J. Wilden: “Moderne Beschichtungsverfahren”, DGM-Verlag, ISBN 3-88355-223-2, (1996)
[3]	P. Huber: “Vakuumplasmaspritzen”, Oberfläche surface, 10 (1992), 8
[4]	H. Simon, M. Thoma: “Angewandte Oberflächentechnik für metallische Werkstoffe”, Hanser-Verlag, München (1985)
[5]	E. Lugscheider. H. Reymann: “Hochgeschwindigkeitsflammgespritzte Chromschichten zum Verschleiss-und Korrosionsschutz”, Schweissen und Schneiden, 50 (1998), 44
[6]	DIN 50600; Metallographische Gefügebilder, Beuth-Verlag, Berlin DIN EN 582 Ermittlung der Haftzugfestigkeit, Beuth-Verlag, Berlin (1994) DIN EN 10109 Teil 1; Härteprüfung, Beuth-Verlag, Berlin (1995) DVS 2310 Teil 2; Anleitung zur Schliffherstellung, DVS, Düsseldorf, (1989)

Savršena rešenja za podloge kroz optimalne materijale i inovativne tehnologije

Oerlikon Metco je globalni lider na polju inženjerskih rešenja za podloge i usluge koji nudi:

- Široku lepezu termalnih sprejeva, tankih filmova i druge opreme za naprednu tehnologiju površinke obrade, integrisane sisteme i materijale
- Specijalozovane usluge poboljšanje prevlaka i površina
- Proizvedene komponente za industriju turbina, automobila i druge
- Usluge korisničke podrške

Oerlikon Metco pruža široku mrežu proizvodnje, distribucije i servisa kao i podršku vazduhoplovnoj industriji, energetskoj i automobilskoj industriji i drugim strateškim naprednim industrijama.

Uspešno kontrolišite izazove u na polju inženjerskih rešenja za podloge, kontaktirajte svoju Oerikon Metco kancelariju, posetite našu Internet stranicu na adresi www.oerlikon.com/metco ili nam pošaljite e-mail na info.metco@oerlikon.com. Ili lokalnog distributera office@smsbbtim.com

SM SBB TIM DOO ZEMUN
Dubrovačka 7, 11080 Zemun, Srbija
Tel: +381 11 316 8637
Mob tel: +381 63 833 6561