

Korozivsko-erozijsko-abrazijska svojstva epoksidnih prevlaka

Turkalj, Josip

Master's thesis / Diplomski rad

2012

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:432998>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-21**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Josip Turkalj

Zagreb, 2012.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Dr. sc. Ivan Juraga

Student:

Josip Turkalj

Zagreb, 2012.

IZJAVA

Izjavljujem da sam diplomski rad na temu ***Korozijnsko-erozijsko-abrazijska svojstva epoksidnih prevlaka*** izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se svom mentoru prof. dr. sc. Ivanu Juragi, dr. sc. Vesni Alar, izv.prof., dr. sc. Ivanu Stojanoviću i ostalim djelatnicima u Laboratoriju za zaštitu materijala na pomoći i stručnim savjetima prilikom izrade ovog rada.

Zahvaljujem se dr. sc. Krešimiru Grilecu, izv. prof. sa Katedre za materijale i tribologiju na pomoći i savjetima prilikom ispitivanja triboloških svojstava, te gospodinu Ivanu Strelaru, dipl. ing. iz tvrtke ISEA d.o.o. na ustupljenim materijalima i dokumentaciji o ispitivanim proizvodima.

Također, zahvaljujem se svojim roditeljima i obitelji koji su mi omogućili školovanje i pružali podršku tijekom studiranja.

Josip Turkalj



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
 Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:
 proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo
 materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Josip Turkalj** Mat. br.: 0035151798

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Korozijsko-erozijsko-abrazijska svojstva epoksidnih prevlaka**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Corrosion, erosion and abrasion properties of epoxy coatings**

Opis zadatka:

Čelične konstrukcije u radu izložene su različitim eksploatacijskim uvjetima koji smanjuju njihovu učinkovitost i trajnost. Zaštita od korozije premazima je osnovna metoda zaštite čeličnih konstrukcija, pri čemu zaštitne prevlake redovito moraju biti otporne i na druge vrste oštećivanja materijala.

U radu je potrebno obraditi zaštitu od korozije premazima s posebnim osvrtom na epoksidne premaze. Potrebno je detaljnije izučiti njihova svojstva, vrste i područje primjene.

U eksperimentalnom dijelu rada potrebno je nanijeti epoksi premaze u različitim debljinama na pločice od niskougljičnog konstrukcijskog čelika. Nakon sušenja potrebno je ispitati fizikalna, korozijska, erozijska i abrazijska svojstva zaštitnih premaza. Dati ocjenu učinkovitosti zaštite ispitanih prevlaka.

Zadatak zadan:

26. travnja 2012.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Ivan Juraga

Rok predaje rada:

28. lipnja 2012.

Predvideni datum obrane:

4., 5. i 6. srpnja 2012.

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Franjo Čajner

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	III
POPIS TABLICA.....	VI
POPIS OZNAKA I KRATICA	VII
SAŽETAK	VIII
1. UVOD	1
2. ORGANSKI PREMAZI	2
3. POLIMERNA VEZIVA ZA ORGANSKE PREMAZE	6
3.1. Sušiva ulja	6
3.2. Samooksidirajuće umrežene smole	7
3.2.1. Alkidne smole.....	8
3.2.2. Epoksi-ester i epoksi-katran.....	11
3.3. Plastomerne smole.....	12
3.3.1. Lakovi	13
3.3.2. Vinili	13
3.3.3. Prevlake od klorirane gume	15
3.3.4. Akrilne prevlake	15
3.4. Umrežene duromerne prevlake	17
3.4.1. Epoksidi	19
3.4.1.1. Bisfenol-A smole	21
3.4.1.2. Bisfenol-F smole.....	22
3.4.1.3. Novolac smole.....	23
3.4.2. Epoksi-fenolne prevlake.....	24
3.4.3. Fenolne prevlake	25
3.4.4. Uretanske prevlake	26
3.4.5. Poliuretanske prevlake.....	26

4. RAZRIJEĐIVAČI I OTAPALA ZA ORGANSKE PREMAZE.....	29
5. PIGMENTI I PUNILA ORGANSKIH PREMAZA	30
6. ADITIVI ZA ORGANSKE PREMAZE	33
7. PRIPREMA POVRŠINE PODLOGE ZA NANOŠENJE PREVLAKA.....	34
8. POLIMERNE KOMPOZITNE PREVLAKE ZA REPARATURU I ZAŠTITU	39
8.1. Polimerni kompoziti za reparaturu	39
8.2. Polimerni kompoziti za zaštitu materijala	41
8.3. Mehanizam trošenja epoksidnih prevlaka uslijed kavitacije.....	44
8.4. Abrazijsko-erozijsko trošenje materijala	49
9. EKSPERIMENTALNI DIO.....	52
9.1. Uvod.....	52
9.2. Priprema uzoraka	53
9.3. Nanošenje polimernih kompozitni prevlaka na uzorke.....	56
9.4. Ispitivanje debljine prevlaka na uzorcima	64
9.5. Ispitivanje kemijskih svojstava prevlaka	66
9.5.1. Ispitivanje korozijske postojanosti prevlaka u slanoj komori	67
9.5.2. Ispitivanje postojanosti prevlaka u 10% otopini HCl.....	71
9.5.3. Ispitivanje postojanosti prevlaka u 40% otopini NaOH.....	77
9.6. Ispitivanje fizikalnih svojstava prevlaka	81
9.6.1. Ispitivanje otpornosti prevlaka na abrazijsko trošenje	81
9.6.2. Ispitivanje otpornosti prevlaka na erozijsko trošenje	93
9.7. Analiza eksperimentalnog dijela rada.....	101
10. ZAKLJUČAK.....	103
11. LITERATURA	104

POPIS SLIKA

Slika 3.1. Molekularna struktura alkida lanenog ulja [4].....	9
Slika 3.2. Struktura epoksidnog prstena [5].....	19
Slika 3.3. Molekularna struktura bisfenol-A smole [6].....	21
Slika 3.4. Molekularna struktura bisfenol-F epoksidne smole [4].....	22
Slika 3.5. Molekularna struktura novolac smola [4].....	23
Slika 3.6. Razlika između poliuretana i poliureatskih smola [4].....	28
Slika 8.1. Primjer reparature upotrebom <i>Super Metala</i> [9].....	41
Slika 8.2. Sustav dobave rashladne industrijske vode [11].....	43
Slika 8.3. Zaštita dobavnih cijevi industrijske rashladne vode [11]	43
Slika 8.4. Uređaj za ispitivanje utjecaja kavitacijske erozije [12].....	45
Slika 8.5. Poroznost pojedinog uzorka s premazom [12].....	46
Slika 8.6. Izgled površine premaza nakon ispitivanja utjecaja kavitacije [12]	47
Slika 8.7. Mikrostrukturalna oštećenja nastala odvajanjem TiO ₂ čestica [12]	48
Slika 8.8. Gubitak mase pojedinih prevlaka uslijed testa kavitacijom [12]	48
Slika 8.9. Shematski prikaz abrazijskog trošenja [13].....	50
Slika 8.10. Shematski prikaz erozijskog trošenja [14].....	51
Slika 9.1. Čišćenje površine uzoraka prije nanošenja prevlake [15]	53
Slika 9.2. Uzorci nakon čišćenja površine na koju će se nanijeti prevlaka [15].....	54
Slika 9.3. Uzorci s nahrapavljenom površinom spremni za nanošenje prevlaka [15].....	55
Slika 9.4. Dvokomponentni polimerni kompoziti, <i>Super Metal</i> i <i>Super E-Metal</i> [15].....	57
Slika 9.5. Digitalna vaga <i>Kern-EMB 2200-0</i> [15].....	58
Slika 9.6. Pribor za miješanje i nanošenje proizvoda [15].....	58
Slika 9.7. Pribor korišten za miješanje i nanošenje prevlaka na uzorke [15]	59
Slika 9.8. Otopina za premazivanje površina na koje izmješana pasta ne smije prijanjeti [15]	59
Slika 9.9. Priprema paste <i>Super Metal</i> prije nanošenja [15].....	61
Slika 9.10. Nanošenje <i>Super Metala</i> na ispitni uzorak [15].....	62
Slika 9.11. Uklanjanje viška paste u improviziranom kalupu [15].....	62
Slika 9.12. Uzorci sa nanesenim prevlakama [15].....	63
Slika 9.13. Mjerenje debljine prevlake uređajem <i>QuaNix 1500</i> [15].....	64
Slika 9.14. Slana komora <i>Ascott-S450</i> [15]	67
Slika 9.15. Izgled ispitivanih uzoraka u slanoj komori [15].....	69
Slika 9.16. Ispitivani uzorci nakon 20 dana u slanoj komori [15].....	70

Slika 9.17. Detaljan prikaz površine prevlake od <i>Super Metala</i> nakon 20 dana u slanoj komori [15].....	70
Slika 9.18. Detaljan prikaz površine prevlake od <i>Super E-Metala</i> nakon 20 dana u slanoj komori [15]	71
Slika 9.19. pH-metar/konduktometar (<i>Mettler Toledo</i>) [15].....	71
Slika 9.20. Uzorci pripremljeni za ispitivanje u 10% otopini HCl [15]	72
Slika 9.21. Uzorci u kiselj otopini tijekom ispitivanja [15]	73
Slika 9.22. Oprani i osušeni uzorci nakon ispitivanja u kiselj otopini [15].....	73
Slika 9.23. Modularni stereomikroskop <i>Leica MZ6</i> [15]	74
Slika 9.24. Prevlaka od <i>Super Metala</i> prije i nakon ispitivanja u 10% otopini HCl (povećanje 25 puta) [15]	75
Slika 9.25. Prevlaka od <i>Super Metala</i> prije i nakon ispitivanja u 10% otopini HCl (povećanje 40 puta) [15]	75
Slika 9.26. Prevlaka od <i>Super E-Metala</i> prije i nakon ispitivanja u 10% otopini HCl (povećanje 25 puta) [15]	76
Slika 9.27. Prevlaka od <i>Super E-Metala</i> prije i nakon ispitivanja u 10% otopini HCl (povećanje 40 puta) [15]	76
Slika 9.28. Uzorci pripremljeni za ispitivanje u 40% otopini NaOH [15]	77
Slika 9.29. Uzorci u lužnatoj otopini tijekom ispitivanja [15].....	78
Slika 9.30. Oprani i osušeni uzorci nakon ispitivanja u lužnatoj otopini [15]	78
Slika 9.31. Prevlaka od <i>Super Metala</i> prije i nakon ispitivanja u 40% otopini NaOH (povećanje 25 puta) [15]	79
Slika 9.32. Prevlaka od <i>Super Metala</i> prije i nakon ispitivanja u 40% otopini NaOH (povećanje 40 puta) [15]	79
Slika 9.33. Prevlaka od <i>Super E-Metala</i> prije i nakon ispitivanja u 40% otopini NaOH (povećanje 25 puta) [15]	80
Slika 9.34. Prevlaka od <i>Super E-Metala</i> prije i nakon ispitivanja u 40% otopini NaOH (povećanje 40 puta) [15]	80
Slika 9.35. Shematski prikaz ispitivanja abrazijske otpornosti metodom <i>suhi pijesak/gumeni kotač</i> prema ASTM G65-94 normi [13].....	81
Slika 9.36. Uređaj za ispitivanje otpornosti na abrazijsko trošenje [15]	82
Slika 9.37. Vaga METLLER B5C 1000 [15].....	83
Slika 9.38. Ispitni uzorak u steznim čeljustima uređaja za ispitivanje otpornosti na abrazijsko trošenje [15]	84
Slika 9.39. Uzorci nakon ispitivanja otpornosti na abrazijsko trošenje prevlake [15]	87

Slika 9.40. Uzorci koji su 24 sata bili uronjeni u 10% otopinu HCl, nakon ispitivanja otpornosti na abrazijsko trošenje [15]	90
Slika 9.41. Grafički prikaz rezultata abrazije za <i>Super Metal</i> prevlake	91
Slika 9.42. Grafički prikaz rezultata abrazije za <i>Super E-Metal</i> prevlake.....	92
Slika 9.43. Shematski prikaz rada uređaja za ispitivanje otpornosti na erozijsko trošenje [13]	93
Slika 9.44. Uređaj za ispitivanje otpornosti na erozijsko trošenje [15]	94
Slika 9.45. Ispitni uzorak u držaču prije početka ispitivanja otpornosti prevlake na erozijsko trošenje [15]	95
Slika 9.46. Uzorci nakon ispitivanja otpornosti na erozijsko trošenje prevlake [15]	96
Slika 9.47. Uzorci koji su 24 sata bili uronjeni u 10% otopinu HCl, nakon ispitivanja otpornosti na erozijsko trošenje [15]	98
Slika 9.48. Grafički prikaz rezultata erozije za <i>Super Metal</i> prevlake	99
Slika 9.49. Grafički prikaz rezultata erozije za <i>Super E-Metal</i> prevlake.....	100

POPIS TABLICA

Tablica 7.1. Značajke najvažnijih vrsta otapala za odmašćivanje [2]	36
Tablica 8.1. Prosječne vrijednosti poroznosti [12].....	46
Tablica 9.1. Upute za miješanje i apliciranje proizvoda	57
Tablica 9.2. Debljine prevlaka na pojedinim uzorcima	65
Tablica 9.3. Parametri unutar slane komore tijekom ispitivanja	68
Tablica 9.4. Svojstva 10% otopine HCl.....	72
Tablica 9.5. Svojstva 40% otopine NaOH.....	77
Tablica 9.6. Parametri ispitivanja otpornosti na abrazijsko trošenje prevlaka	82
Tablica 9.7. Rezultati ispitivanja otpornosti na abrazijsko trošenje prevlake od <i>Super Metala</i>	85
Tablica 9.8. Rezultati ispitivanja otpornosti na abrazijsko trošenje prevlake od <i>Super E-Metala</i>	86
Tablica 9.9. Podaci o abrazijskom trošenju prevlake od <i>Super Metala</i> nakon 24 sata uronjenosti u 10% otopini HCl.....	88
Tablica 9.10. Podaci o abrazijskom trošenju prevlake od <i>Super E-Metala</i> nakon 24 sata uronjenosti u 10% otopini HCl.....	89
Tablica 9.11. Rezultati ispitivanja otpornosti na erozijsko trošenje prevlake od <i>Super Metala</i>	96
Tablica 9.12. Rezultati ispitivanja otpornosti na abrazijsko trošenje prevlake od <i>Super E-Metala</i>	96
Tablica 9.13. Podaci o erozijskom trošenju prevlake od <i>Super Metala</i> nakon 24 sata uronjenosti u 10% otopini HCl.....	97
Tablica 9.14. Podaci o erozijskom trošenju prevlake od <i>Super E-Metala</i> nakon 24 sata uronjenosti u 10% otopini HCl.....	97

POPIS OZNAKA I KRATICA

1K – jednokomponentni (premaz)

2K – dvokomponentni (premaz)

PVC-PVA – polivinil klorid acetat

HOS – hlapljivi organski sastojci

T_g – temperatura staklišta, [°C]

n – množina tvari, [mol]

HCl – klorovodik

NaOH – natrijev hidroksid

m – masa, [g]

V – volumen, [cm³]

ρ – gustoća, [g/cm³]

n – broj okretaja, [okr]

n_{okr} – broj okretaja osovine, [okr/min]

D – promjer držača uzorka, [mm]

v_u – brzina vrtnje uzorka, [m/s]

SAŽETAK

Diplomski rad sastoji se od dva dijela, teorijskog i eksperimentalnog.

U teorijskom dijelu rada, govori se o organskim premazima za zaštitu čeličnih konstrukcija. Navedene su sastavne komponente koje čine organske premaze, s naglaskom na najčešće korištene vrste polimernih veziva, te njihov utjecaj na konačna zaštitna svojstva premaza.

U eksperimentalnom dijelu rada, ispitana su fizikalno kemijska svojstva dvije vrste polimernih kompozitnih prevlaka ojačanih keramičkom i čeličnom ispunom. Uzorci od niskougličnog čelika, na koje su nanešene prevlake, podvrgnuti su ispitivanjima otpornosti na abrazijsko i erozijsko trošenje, postojanosti prevlaka u morskoj atmosferi, te otpornosti na kisele i lužnate otopine.

Sva ispitivanja provedena su na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu, u Laboratoriju za zaštitu materijala i u Laboratoriju za tribologiju.

1. UVOD

Zaštita premazima je najčešći oblik zaštite čeličnih konstrukcija. S obzirom na raznolike uvjete koji se javljaju u pojedinim industrijskim postrojenjima, često je osim zaštite od korozije potrebno osigurati da agresivne kemikalije ne prodru kroz zaštitni sloj i oštete osnovni materijal. U tu svrhu razvijeni su mnogi organski premazi, koji ovisno o sastavnim konstituentima osiguravaju da ne dođe do korozijskih procesa, te ostalih oštećenja uzrokovanih agresivnim kemijskim utjecajima.

Zaštitna moć premaza određena je korištenim vezivom, punilom, pigmentima i ostalim aditivima kojima se postižu ciljana svojstva. Ipak, najčešće korišteno vezivo koje osigurava vrlo kvalitetnu zaštitu je epoksidna smola. Njena izvrsna svojstva prijanjanja, te trajnost i otpornost na okolišne utjecaje čine je prvim izborom kada se govori o vezivima za organske premaze.

U radu su obrađena najčešće korištena veziva za organske premaze, njihova najvažnija svojstva, te područje primjene. Također, spomenute su vrste pigmenata i ostalih konstituenata organskih premaznih sredstava, te njihov utjecaj na krajnja zaštitna svojstva.

U eksperimentalnom dijelu rada ispitana su fizikalno kemijska svojstva dvije vrste kompozitnih polimernih prevlaka. Cilj ispitivanja je bio odrediti otpornost ispitivanih prevlaka na abrazijsko i erozijsko trošenje, te postojanost u agresivnim kemijskim okruženjima. Ispitani proizvodi su polimerni kompoziti, na bazi epoksida sa ojačanjima u obliku keramičkih i čeličnih čestica.

2. ORGANSKI PREMAZI

Metalne konstrukcije najčešće su izložene atmosferskim utjecajima, tj. koroziji. Kako bi se materijal zaštitio od takvih kemijskih procesa, najčešće se primjenjuju zaštitni premazi, koji mogu biti anorganski ili organski [1].

Organskim prevlakama smatraju se sve one kompaktno prevlake nastale tvorbom opne organske tvari. Više je načina kao se prevlake mogu nanositi, kao npr. [2]:

- bojanjem i lakiranjem,
- plastifikacijom,
- gumiranjem i
- bitumenizacijom.

Termini boje i lakovi, često podrazumijevaju premazna sredstva za zaštitu kao i gotove prevlake nastale njihovim sušenjem. Premazna sredstva uvijek sadrže vezivo koje čini opnu prevlake, te otapalo koje otapa vezivo i regulira viskoznost kako bi se olakšalo nanošenje na površinu. Osim navedenih sastojaka, premazi obično sadrže i ostale aditive, kao što su pigmenti i punila te ostali dodaci kojima se modificiraju svojstva samog premaza. Za boje i lakove najčešće se koristi višeslojno nanašanje, kako bi se postigla bolja zaštitna svojstva te iz dekorativnih razloga [2].

Podijela organskih premaznih sredstava moguća je na više načina, pri čemu niti jedna ne definira konkretne sastojke u potpunosti. Jedna od glavnih podijela organskih premaza je sljedeća [2]:

- prema sastavu (pri čemu se podijela obično bazira na vrsti veziva, ali ponekad i na vrsti pigmenta i otapala),
- prema osnovnoj namjeni (sredstva za zaštitu od korozije, od mehaničkog oštećivanja, sredstva za dekoraciju, za električnu izolaciju i sl.),
- prema izgledu (npr. bezbojne i različito obojene, mutne i sjajne, prozirne i neprozirne boje i lakovi),
- prema podlozi na koju se nanose (crni i obojeni metali, građevinski materijali itd.),
- prema broju konstituenata koji se miješaju prije nanošenja (jedno-komponentna (1K), dvo-komponentna (2K) i više-komponentna premazna sredstva),
- prema ulozi u premaznom sustavu (temeljna, međuslojna i pokrivna premazna sredstva, kitovi itd.) i

- prema načinu skrućivanja sloja (fizikalno isparavanje otpala, kemijsko otvrdnjavanje reakcijama u vezivu ili s vezivom).

Sustav zaštite materijala premazima se sastoji od temeljnog sloja, koji osigurava kvalitetnije prijanjanje, međusloja koji može biti nanesen u jednom ili u više premaza, te završnog sloja kako bi se postigao odgovarajući stupanj zaštite [1].

Zaštitno djelovanje premaza je višestruko, tj. premaz povećava električku otpornost u krugu anode i katode korozijskog članka na površini metala konstrukcije, povećava otpor difuziji kisika prema površini metala i time usporava katodnu reakciju, te usporava difuziju metalnih iona od aktivnih mjesta na površini metala i time usporava anodnu reakciju [1].

Zaštitni premazi sadrže veći broj komponenata kao što su vezivo (najčešće na polimernoj osnovi), otapalo, pigmente, punila i ostale aditive. Njihova podijela se može napraviti prema više kriterija, kao što su npr. [1]:

- broj komponenti,
- trajnost premaza,
- način sušenja,
- generički tipovi itd.

Po broju komponenti, premazi mogu biti jednokomponentni (1K) ili dvokomponentni (2K). U pogledu trajnosti, prema normi ISO 12944-5:2007, premazi mogu biti kratkotrajni (2 do 5 godina), srednje trajni (od 5 do 15 godina) i dugotrajni (od 15 na više godina) [1, 3].

Dva osnovna načina sušenja premaza su konvertibilni i nekonvertibilni. Konvertibilni premazi su oni koji se suše oksidacijom ili polimerizacijom, a nastali sloj je umrežen i netopljiv u originalnom otapalu [1].

Nekonvertibilni premazi se suše isparavanjem otapala i nakon nanošenja ne prolaze kroz neke znatnije kemijske promjene [1].

Generički tipovi premaza prema normi ISO 12944-5:2007 su [1]:

- premazi koji se suše na zrak,
- premazi koji se suše fizikalnim procesom i
- premazi koji očvršćuju kemijskom reakcijom.

Premazi koji se suše na zraku su premazi koji otvrdnjavaju isparavanjem otapala i reakcijom s kisikom iz zraka. Primjer takvih premaza su oni čija su veziva alkidi, uretan-alkidi, epoksid-esteri i njihove modifikacije. Reakcija se odvija do temperature od 0 °C, a vrijeme sušenja ovisi o temperaturi [1].

Premazi koji se suše fizikalnim procesom isparavanja sadrže organsko otapalo ili vodu. Premazi na osnovi organskog otapala su premazi koji očvršćuju hlapljenjem otapala. Proces je povrativ, tj. suhi sloj ostaje uvijek topiv u svome otapalu. Ovu skupinu čine premazi čija su veziva klor-kaučuk, kopolimeri polivinil-klorida, akrili i modificirani akrili, ugljikovodične smole i bitumen. Odlika ovakvog tipa premaza je da ima odličnu prionjivost između slojeva i ne zahtijeva nikakvu dodatnu obradu površine prethodnog sloja prije nanošenja sljedećeg. Vrijeme sušenja ovisi o temperaturi i odvija se do temperature od -10 °C [1].

Kod premaza na osnovi vode, očvršćenje se odvija hlapljenjem vode i formiranjem sloja disperziranog veziva. Ovaj tip premaza nakon sušenja nije topljiv u vodi. Primjer ovakvih premaza su oni čija su veziva akrilne disperzije, vinilne disperzije i poliuretanske disperzije. Vrijeme sušenja također je ovisno o vremenu, a reakcija se odvija do temperature 5 °C [1].

Oni premazi koji se otvrdnjavaju kemijskom reakcijom se općenito sastoje od osnovne komponente i otvrdnjivača. Proces otvrdnuća se odvija isparavanjem otapala i kemijskom reakcijom između osnove i otvrdnjivača. Ovom skupinom premaza obuhvaćeni su dvokomponentni (2K) epoksidni i dvokomponentni (2K) poliuretanski premazi [1].

2K epoksidni premazi imaju vezivnu komponentu koja sadrži epoksidne grupe koje reagiraju s otvrdnjivačem. Najčešće korištena veziva za ovu vrstu premaza su [1]:

- epoksid,
- katran epoksid i
- modificirani epoksid.

2K epoksid veziva mogu biti na osnovi organskog otapala, vode ili bez otapala. Komponenta otvrdnjivača je obični poliamin, poliamid ili njihova kombinacija. Vrijeme sušenja ovisno je o temperaturi, dok se reakcija otvrdnjavanja odvija do temperature od 5 °C [1].

2K poliuretanski premazi imaju vezivnu komponentu koja sadrži hidroksilne grupe koje reagiraju sa odgovarajućim otvrdnjivačem. Najčešća vezivna sredstva koja se koriste kod ove vrste premaza su [1]:

- poliester,
- hidroksi akrilat,
- epoksid i
- fluoro smola.

Komponenta očvršćivača je aromatski ili alifatski izocijant, pri čemu alifatski izocijanti imaju svojstvo izvanrednog očuvanja sjaja i boje kada se kombiniraju sa odgovarajućom osnovnom komponentom. Vrijeme sušenja ovisi o temperaturi, dok se reakcija otvrdnjavanja odvija do temperature od -10 °C [1].

Premazi koji otvrdnjaju pomoću vlage iz zraka, otvrdnjavaju isparavanjem otapala i kemijskom reakcijom sa vlagom iz zraka. Često korištena veziva kod ove vrste premaza su [1]:

- poliuretan,
- cinkov-alkilsilikat i
- 1K silikat.

Vrijeme sušenja ovisi o temperaturi i kretanju zraka, dok se reakcija otvrdnjavanja odvija do temperature 0 °C , pod uvjetom da zrak još uvijek sadrži vlagu. Što je niža relativna vlažnost zraka, premaz će se sporije sušiti [1].

3. POLIMERNA VEZIVA ZA ORGANSKE PREMAZE

Kao veziva za boje i lakove koriste se mnoge nehlapljive organske tvari u obliku viskoznih kapljevina ili smola. Vrlo često se u premaznom sredstvu kombiniraju različita veziva s ciljem postizanja željenih svojstava premaza. Nadalje, važno je istaknuti kako se vezivo premaznog sredstva bitno razlikuje od tvari koja čini opnu prevlake ako ona nastaje kemijskim otvrdnjavanjem. Neka od važnih veziva su na bazi sušivih masnih ulja, poliplasta, derivata celuloze, prirodnih smola, prirodnog ili sintetičkog kaučuka i bituminoznih tvari [2].

Zaštitne premaze je moguće podijeliti prema vrsti veziva, tj. prema vrsti smole i prema načinu na koji se ostvaruje mehanizam otvrdnuća. Iako smola i organsko vezivo imaju najveći utjecaj na krajnja svojstva i otpornost samog premaza, također je bitno znati kako vrsta i količina pigmenata, vrsta otapala, te ostali aditivi značajno utječu na način primjene premaza te na njegova ukupna zaštitna svojstva. Nadalje, moguća je hibridizacija sustava, tj. napraviti kombinaciju konstituenata. Primjer je akrilni monomer ili prepolimer, koji se može pomiješati sa bilo kojom drugom generičkom vrstom smole u cilju dobivanja premaza čija svojstva su kompromis između akrilnog i originalnog polimera [4].

U mnogim slučajevima ovo se smatra prednošću, kao npr. kod miješanja poliuretana i akrila, ili pri toplinskom otvrdnuću alkida i akrila. U drugim slučajevima, npr. sa epoksidima, modifikacija akrilom može imati negativan utjecaj na konačna svojstva [4].

3.1. Sušiva ulja

Sušiva ulja su esteri glicerola i masnih (karboksilnih) kiselina, među kojima prevladavaju one s dvostrukim vezama između atoma ugljika. Takva ulja se mogu dobiti iz sjemki lana (laneno ulje) i nekih vrsta tropskog drveća (npr. tungovo ili oitisikino ulje), a suše se, tj. otvrdnjavaju oksidativnom polimerizacijom djelovanjem kisika iz zraka [2].

Vrijeme potrebno za sušenje je nekoliko dana (za slojeve do približno 100 μm) u uobičajenim uvjetima, te se proces ubrzava dodavanjem manje količine katalizatora, tj. soli Co, Mn, Pb i sl. s radikalima organskih kiselina iz nafte (naftenati), smole crnogoričnog drveća (rezinati), lanenog ulja (linoleati) itd., čime se dobiju *firmisi* koji se na zraku osuše obično za otprilike 24 sata [2].

Uljne premaze je moguće nanositi na metale i drvo, a odlikuje ih žilavost i postojanost na atmosferi, čak i uz nagle promijene temperature i vlažnosti. Nedostatak im je što su meki i neotporni na visoke temperature, te nepostojanost u mnogim kapljevinama, osobito lužnatim otopinama i organskim otapalima pri trajnom uranjanju. Poboljšana svojstva ostvaruju se kombinacijom sikativiranih uljnih veziva s umjetnim ili prirodnim smolama (tzv. uljno-smolni premazi), i to najčešće s alkidima ili s kolofonijem (nehlapivim dijelom crnogorične smole) [2].

3.2. Samooksidirajuće umrežene smole

Kod ove vrste premaza, sušenje i umrežavanje prevlake se odvija reakcijom sa kisikom iz atmosfere. Sve vrste premaza ove vrste sadrže sušeća ulja, koja se uglavnom sastoje od poli-nezasićenih masnih kiselina, i tvore zaštitni sloj sušenjem na zraku. Reakcija sušenja se ubrzava uz prisutnost metalnih soli kao što su kobaltni, manganski i olovni naftenati ili oktoati. Prilikom sušenja dolazi do redukcije nezasićenih grupa, često etilensko-uglične dvostruke veze. Samooksidirajuća reakcija se odvija relativno brzo, u kratkom vremenskom periodu nakon nanošenja mokrog premaza, i nastavlja se odvijati tijekom životnog vijeka premaza, ali značajno sporijim tempom [4].

Samooksidacijska reakcija je reakcija razgradnje, koja rezultira formiranjem hidroperoksida. Iako je samooksidirajuće umrežavanje nužno za postizanje svojstava postojanosti premaza, s vremenom, peroksidi koji su nastali kao nusprodukt samooksidacijske razgradnje razgrađuju se na organske kiseline, koje skraćuju životni vijek premaza. Slično, samooksidirajuće reakcije rezultiraju otvrdnućem i gubitkom duktilnosti premaza, koje dovodi do smanjenje sposobnosti rastezanja pod opterećenjem i fleksibilnosti tokom vremena. Pojava krhkosti i povezana razgradnja hidroperoksida rezultiraju starenjem sloja premaza te gubitkom zaštitnih svojstava [4].

Također, stupanj gubitka zaštitnih svojstava povezan je s temperaturom, debljinom sloja, izloženošću sunčevoj svjetlosti, te vrstom pigmentata (npr. cinkov oksid i pigmenti koji sadrže olovo, su korisni za upijanje hidroperoksida i usporavanje procesa starenja zaštitnog sloja) [4].

Samooksidirajući umreženi slojevi premaza, u svakom slučaju sadrže sušeće ulje, najčešće biljno. Sušeća ulja mogu biti direktno pomiješana sa pigmentima, tvoreći gotov premaz. Ipak, češći je postupak da se sušeće ulje pomiješa sa smolom, npr. alkidnom, epoksi-esterom ili poliuretanom, pri povišenoj temperaturi. Smola doprinosi žilavosti i poboljšava kemijsku otpornost i postojanost na vlagu [4].

Količina ulja pomiješanog sa smolom izravno utječe na zaštitna svojstva nanesenog sloja premaza. Modifikacijom dugih ulja, postiže se slabija kemijska postojanost i potreban je dulji vremenski period za sušenje, no povećava se otpornost na penetriranje i zaštita na površinama koje nisu potpuno očišćene. Manjim modifikacijama, dobivaju se kratka ulja, koja se moraju primijeniti na relativno čistima površinama te se ujedno brzo suše. Neka kratka ulja se često koriste za brzo sušeće premaze koji potpuno otvrdnu nakon nekoliko minuta pri temperaturi od približno 95 °C. Premazi s kratkim uljima imaju dobru kemijsku postojanost i otpornost na vlagu, na relativno su krhki i tvrdi. Srednja ulja su kompromis između dugih i kratkih uljnih modifikacija. Najčešće se koristi kombinacija alkidnih, epoksi esterskih i uretanskih smola sa sušećim uljima kako bi se dobila samooksidirajuća umrežena prevlaka [4].

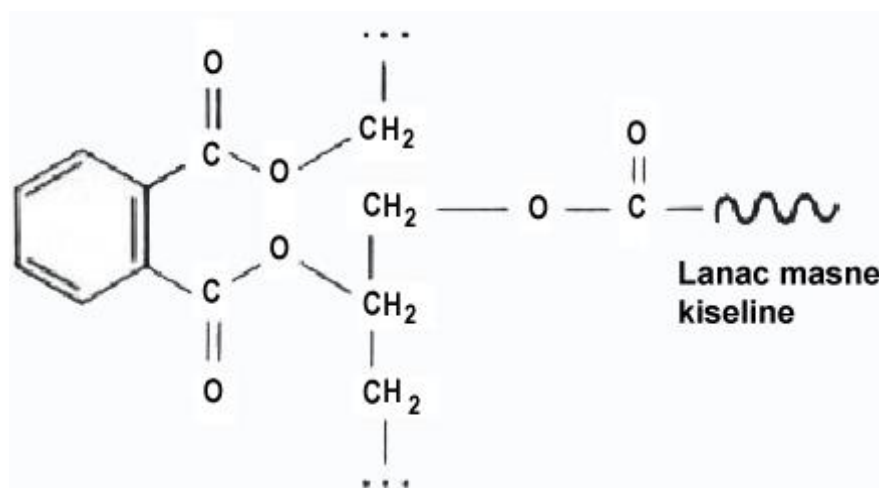
3.2.1. Alkidne smole

Alkidne smole su poliesteri viševalentnih alkohola (npr. glicerola i pentaeritritola) i dvovalentnih karbonskih kiselina (npr. ftalne i maleinske kiseline), i najraširenija su vrsta veziva. Osnovna razlika između alkida i poliestera je ta da alkidi koriste poli-baznu kiselinu dobivenu od polušušećih ili sušećih ulja, koja osigurava da nastala smola samooksidira na okolišnoj temperaturi preko reakcije s atmosferskim kisikom i nezasićenim grupama prisutnim u molekulama masnih kiselina. Poliester, s druge strane, ne podliježe samooksidirajućem mehanizmu zbog korištene di-bazne kiselina, najčešće glicerola, koji sadrži vrlo malo slobodnih nezasićenih grupa raspoloživih za samooksidirajuće umrežavanje [2,4].

Reakcija otvrdnuća kod poliesterskih smola je proces umrežavanja iniciran slobodnim radikalima, te se stoga poliesterski premazi definiraju kao kemijski umreženi. Čisti alkidni premazi nisu sušivi na zraku te ih je potrebno peći na temperaturi od 120 do 200 °C kako bi se omogućilo kemijsko otvrdnjavanje [2,4].

Moguće su modifikacije alkida drugim vrstama veziva, a najvažnija su sušiva, polusušiva i nesusšiva ulja (npr. laneno, sojino i kokosovo), melaminske i karbamidne smole, fenoplasti, epoksidne smole, poliuretani (izocijantne smole), celulozni nitrat, kolofonij i silikoni. Također, moguća je i modifikacija monomerima (npr. stirenom i metakrilnom kiselinom) koji sudjeluju u reakcijama otvrdnjavanja premaza. Uz dodatak dovoljne količine uljnog firnisa, alkidni premazi postaju sušivi na zraku [2].

Svojstva alkidnih prevlaka su dobivena uvelike na temelju svojstava sušućih ulja korištenih za proizvodnju smole. Vrijeme sušenja, čvrstoća, boja i osjetljivost na vlagu u velikom postotku ovise o vrsti korištenog sušućeg ulja te njegovom stupnju nezasićenosti (prostorne mogućnosti umrežavanja). Također, sušće ulje utječe i na svojstva smole. Pokazalo se kako ulje soje povoljno utječe na skraćanje vremena sušenja i zadržavanje boje, te su stoga standardni alkidi najčešće alkidi sa sojinim uljem. Laneno ulje, s druge strane se općenito brže suši no dovodi do tamnjenja pri izloženosti svjetlu. Na slici 3.1. prikazana je kemijska struktura alkida lanenog ulja, pri čemu je prikazana molekula nastala reakcijom monoglicerida lanenog ulja sa ftalnim anhidridom [4].



Slika 3.1. Molekularna struktura alkida lanenog ulja [4]

Ulja kokosa i ricinusa imaju dobra svojstva u pogledu zadrživosti boje i koriste se kao smole za plastificiranje zbog svojih neoksidirajućih svojstava [4].

Ftalni anhidrid, te tereftalne i izoftalne kiseline su najčešće poli-bazne kiseline koje se koriste za pripremu alkida. Glavna prednost tereftalnih i izoftalnih kiselina, u usporedbi s ftalnim anhidridima, je što osiguravaju polimere s visokom molekularnom masom i većom viskoznošću. Nadalje, posjeduju svojstvo bržeg sušenja, fleksibilniji su, tvore zaštitni film veće čvrstoće i osiguravaju veću temperaturnu stabilnost nego ortoftalni alkidi [4].

Zbog svojih svojstava, alkidni premazi čine jedan od glavnih načina korozijske zaštite u industriji. Prema nekim podacima, njihov udio čini približno 2/3 svih premaza prodanih za korozijsku zaštitu, iako je takva vrsta premaza ograničena u pogledu kemijske postojanosti i otpornosti na vlagu, te ima relativno lošu otpornost na lužine. Unatoč navedenim nedostacima, niska cijena, mogućnost miješanja i jednostavna primjena, odlična svojstva prodiranja i prijanjanja na relativno loše pripremljenu grubu i prljavu podlogu, čine upravo ovu vrstu smola prvim izborom kada je riječ o zaštiti čeličnih konstrukcija u kemijski neagresivnom atmosferskom okruženju [4].

Alkidi su podložni modifikacijama, dodavanjem različitih vrsta smola s ciljem postizanja određenih svojstava, kao što su vrijeme sušenja, zadržavanje boje, te kemijska postojanost i otpornost na vlagu. Primjer takve modifikacije je dodavanje klorirane gumene smole, pri čemu se poboljšavaju čvrstoća i adhezija, a ujedno i povećava otpornost na kiseline, lužine i vlagu [4].

Modifikacije s fenolnim smolama poboljšavaju zadržavanje sjaja i postojanost na vlagu i lužine. Fenolne alkidne smole pokazale su se zadovoljavajućima u podvodnom okruženju, uvjetima u kojima ostale ne-fenolne alkidne smole nisu primjenjive [4].

Alkidne smole sa vinilnom modifikacijom se najčešće primjenjuju kao univerzalni temeljni premazi. Alkidni konstituenti poboljšavaju adhezijska svojstva, tvore zaštitni film, daju otpornost na otapala i osiguravaju temperaturnu postojanost, dok se vinilnom modifikacijom postiže mogućnost naknadnog premazivanja, tj. nanošenja novog zaštitnog sloja na već postojeći sloj, te se povećava kemijska otpornost i postojanost na vlagu [4].

Modifikacija alkidne smole silikonom je jedan od najraširenijih načina modifikacije za antikorozijske zaštitne premaze. Silikonski sastojak se dodaje u alkidnu smolu u količini do 30%, kako bi nastao polimer sa poboljšanom izdržljivošću, boljim zadržavanjem sjaja, te temperaturnom postojanošću [4].

Također, postojanost na vlagu se dodatkom silkona značajno povisuje, pa je primjena ovih premaza česta u održavanju i morskom okruženju [4].

Nemodificirani alkidi srednjih i dugih ulja, su najčešće korišteni u domaćinstvima. Razlog tome dobro svojstvo prodiranja i prijanjanja na drvene i betonske površine, jednostavno se primjenjuju i čiste, imaju širok raspon boja, te mogućnost postizanja visokog ili niskog sjaja [4].

Alkidi se mogu modificirati sa poli-izocijantima s ciljem poboljšanja vremena sušenja, te kemijske i abrazijske otpornosti. Takve smole, često nazivane uralkidi, dostupni su u raznim bojama te posjeduju izvrstan sjaj i zadržavaju boju. Slično, epoksidne smole se miješaju s alkidima kako bi se postigla bolja prionjivost na metalnu podlogu, veći sjaj i zadržavanje boje, te znatno poboljšala otpornost na vlagu i kemijske utjecaje [4].

Značajke čistih alkida su tvrde i glatke površine koje su temperaturno postojane do 120 °C, te ujedno postojane u atmosferi i slatkoj vodi. Kako bi se prevlake učinile mekšima i žilavijima, tj. otpornijima na savijanje i udarce, dodaju se masna ulja. Modifikacije epoksidnim smolama, poliuretanim i akrilatima poboljšava se kemijska postojanost u slabo kiselim i slabo lužnatim otopinama, dok modificiranje fenoplastima i silikonima osigurava postojanost na višim temperaturama. Alkidi modificirani aminoplastima daju sjajne prevlake koje su otpornije na abraziju i prema detergentima. Posebnim postupkom modifikacije mogu se dobiti vodotopljive alkidne smole [2].

3.2.2. Epoksi-ester i epoksi-katran

Epoksidni esteri nastaju iz smjesa epoksidnih smola i masnih kiselina koje najčešće potječu iz sušivih ulja, i obično ima se dodaju sikativi kako bi se ubrzao proces otvrdnjavanja umrežavanjem. Takve vrste premaza sušive su na zraku no mogu se i peći [2].

Za epoksidno-katranske premaze koristi se smjesa epoksida i katranske smole koja zaostaje pri destilaciji katrana iz kamenog ugljena, a vrlo je jeftina. Ova vrsta premaza obično je dvokomponentna i redovito otvrdnjavaju umrežavanjem s polamidima i aminima, pri čemu su neki sušivi na zraku dok drugi zahtijevaju pećenje [2].

Epoksidni i epoksidno-esterski premazi podnose temperature do 120 °C, te su postojani u atmosferi i vodi, u kiselim i lužnatim otopinama, u tlu i u organskim otapalima. Epoksidno-katranski premazi imaju slična svojstva no nisu postojani u aromatskim otapalima. Osnovne karakteristike epoksidnih premaza su vrlo dobro prianjanje na sve vrste podloga, čvrsti su, imaju glatku površinu, a uz dodatak katrana, povećava im se žilavost [2].

Ukoliko su duže vrijeme izloženi sunčevoj svjetlosti, epoksidne prevlake su sklone kredanju, tj. pojavi prašine na površini koja je rezultat raspadanja veziva pod utjecajem ultraljubičastih zraka. Kredanje kvari estetski izgled prevlake, a ujedno i smanjuje otpornost na trošenje uslijed trenja [2].

Epoksi esteri se razlikuju od epoksida modificiranim alkidima, jer je epoksid izravni produkt esterifikacije epoksidne smole i masne kiseline, kao što je npr. biljno ulje. Poput alkida, epoksi esterne smole se obični pripremaju reakcijom sušećeg ulja sa epoksidnom smolom pri temperaturi od približno 220 do 290 °C, uz prisutnost deterifikacijskog katalizatora. Ista sušeća ulja koja se koriste za pripremu alkidnih smola, koriste se i za epoksi-estere. Također, kao kod alkida, ulja mogu biti kategorizirana kao duga, srednja i kratka, dok svojstva dobivena iz smole ovise pretežno o količini i vrsti korištenog sušećeg ulja za modifikaciju. Osnovna razlika u usporedbi s alkidima, je da epoksidne smole imaju bolja adhezijska svojstva, te su otpornije na vlagu i kemijske utjecaje, a ujedno su skuplje [4].

3.3. Plastomerne smole

Plastomerne smole su karakterizirane svojstvom da se omekšavaju pri povišenim temperaturama. Iako su smole u plastomernim premazima često ko-polimerne ili ter-polimerne, molekularna struktura nije umrežena u krute molekule, kao kod kemijski umreženih samooksidirajućih premaza [4].

Točnije, smolno vezivo je otopljeno u odgovarajućem otapalu, te pomiješano s pigmentima i ostalim aditivima za poboljšanje svojstava. Prilikom primjene, otapalo ishlapljuje te smolno vezivo zajedno s pigmentima na podlozi tvori čvrsti zaštitni film [4].

Premazi bazirani na plastomernim smolama mogu otvrdnuti na dva načina [4]:

- isparavanjem otapala (lakovi) i
- isparavanjem vode (vodorazrjeđivi premazi).

3.3.1. Lakovi

Najkorisnije, otapalom stvorene plastomerne smole za zaštitu od korozije su vinili, klorirana guma, plastomerni akrili i bitumenske gume. Svaka vrsta smole ima vlastita svojstva, specifičnu otpornost i sposobnosti zaštite. Ipak, u svim slučajevima upotrebe ovakvih smola nema kemijskih promjena prilikom nanošenja i sušenja, te se stoga u ponovnom kontaktu s originalnim korištenim otapalom razgrađuju. Također, do procesa razgradnje dolazi i u kontaktu s jačim otapalima od originalnog korištenog, no to se često ne smatra nedostatkom ove vrste premaza. Njihovo područje primjene podrazumijeva rijetko izlaganje radnom okolišu koji sadrži otapala, te se češće koriste za zaštitu od vremenskih utjecaja, izloženosti kiselinama i lužinama, te zaštitu od vlage [4].

Obrnuto, osjetljivost ove vrste plastomernih prevlaka na otapala je često prednost. Kada je prilikom redovnog održavanja potrebno nanijeti novi zaštitni sloj premaza, korištenje iste vrste premaza uzrokuje djelomičnu razgradnju starog sloja, što rezultira međumolekularnim povezivanjem starih i novih molekula i samim time osigurava izvrsnu adheziju dvaju slojeva. Ovakav način ponovnog premazivanja se ne može primjeniti za samooksidirajuće umrežene i kemijski otvrdnute prevlake [4].

Kao glavni nedostatak ove vrste lakova, smatra se velika količina potrebnog otapala za razgradnju smola sa relativno visokim molekularnim masama koje se koriste za prevlake [4].

3.3.2. Vinili

Vinilne smole su plastomerni polimeri na osnovi monomera od supstituiranog etilena, tj. ugljikovodika s dva atoma ugljika spojena dvostrukom vezom. Takvu skupinu čine prije svega vinilklorid i vinilacetat, iz kojih se dobiju polimeri ili kopolimeri [2].

Među vinilna veziva ubrajaju se i polimeri vinildenklorida, vinilfluorida, vinildenfluorida itd., te njihovi kopolimeri, zatim polivinilizobutir, polivinilbutiral itd. Modificiranje vinilnih smola je moguće dodatkom nezasićenih poliestera, alkida, akrilata, fenoplasta, aminoplasta, epoksida i bitumena, čime se mjenjaju svojstva premaza [2].

Sušenje čistih vinilnih premaza odvija se isparavanjem otapala. Veziva od polivinilklorida, polivinilacetata i njihovi kopolimeri otporna su samo do temperature od približno 70 °C, a premazi su teško zapaljivi i postojani u atmosferi i vodi, te u kiselim, lužnatim i oksidativnim otopinama. Povećanje udjela klor (Cl) i uvođenjem fluora (F) u polimer mjenjaju se njegova svojstva, te se tako mogu povećati toplinska otpornost (maksimalno do približno 170 °C) i kemijska postojanost [2].

Mnoga se vinilna veziva primjenjuju u disperznim premaznim sredstvima, u kojima nisu otopljena već samo raspršena u vodi (hidrosoli), organskim otapalima (organosoli) ili omekšivačima (plastisoli) [2].

Vinilne prevlake se obično primjenjuju kao otapalom razrijeđenje mješavine sastavljene od polivinil klorid acetata (PVC-PVA) kopolimera, u omjeru približno 86% PVC i 13% do 14% PVA [4].

Općenito su vinilne prevlake meke, sa velikim udjelom otapala sukladno ograničavajućim propisima o količini hlapljivih organskih sastojaka (HOS). Većina plastomernih prevlaka sa vinilnim mješavinama sadrže otapalo u količini od 75 do 90% ukupnog volumena formuliranog premaza, najčešće ketone i glikol etere. Prevlake na bazi vinilnih mješavina imaju izrazitu žilavost i otporne su na vodu [4].

Vinilni premazi se koriste kao cjelokupni sustav, tj. kao temeljni premaz, srednji te završni sloj, ili kao završni zaštitni premaz preko temeljnog premaza bogatog cinkom. Relativna inertnost vinilnog sloja, u spoju sa dobrom adhezijom (ukoliko se formulira sa maleinskom kiselinom), štiti relativno reaktivni cink u organskom ili anorganskom temeljnom premazu od okolišne vlage, kiselih kiša te ostalih atmosferskih utjecaja. Temeljni premazi bogati cinkom osiguravaju galvansku zaštitu čeličnoj podlozi [4].

3.3.3. Prevlake od klorirane gume

Prevlake od klorirane gume nanose se također pomoću otapala, pri čemu ne dolazi do kemijske promjene prilikom primjene, a zaštitni film nastaje isparavanjem otapala. Ovakve vrste prevlaka zahtijevaju veliki udio otapala prilikom primjene, no osiguravaju izvrsnu otpornost na kiseline, lužine, oksidirajuće agente te imaju vrlo mali stupanj paropropusnosti (približno jedna desetina u usporedbi s prevlakama na bazi alkidne smole). Nadalje, prednost upotrebe ovakve vrste prevlaka je nazapaljivost (zbog udjela klora) i neotrovnost. Premazi od klorirane gume koriste se uglavnom kao kemijski i korozijski otporne prevlake [4].

Smole klorirane gume se proizvode kloriranjem prirodne gume sa približno 65 do 68% klora (Cl). Rezultirajuća smola mora biti plastificirana i stabilizirana prema utjecaju svjetla, topline i gelizaciji, kako bi se mogla koristiti kao vezivo u zaštitnim prevlakama. Temperaturna stabilnost se postiže dodavanjem epoksidnih sastojaka, niske molekularne mase ili epoksidiziranih ulja u smolu. Također, dodaju se brzi i laki plastificirajući sastojci, poput diakil ftalata i akrilnih smola. Za primjenu u zahtjevnijim kemijskim uvjetima, preporuča se upotreba kloriranog parafina ili kloriran difenila, zbog njihove visoke otpornosti na saponifikaciju [4].

3.3.4. Akrilne prevlake

Akrilne prevlake mogu biti formulirane plastomerne prevlake koje se mješaju s otapalom, umrežene duromerne prevlake i prevlake na bazi vodene emulzije. Akrilne smole koje se koriste kao zaštitne prevlake sastoje se od polimera i kopolimera, tj. estera metakrilnih i akrilnih kiselina. Rezultirajuća smola, sa odgovarajućim pigmentima, osigurava izvrsno stvaranje zaštitnog filma kojeg karakterizira izvrsna trajnost pri izloženosti svjetlu, sjaj i stabilnost na ultraljubičasto zračenje. Kemijska otpornost na atmosferske uvjete je općenito izvrsna, kao i otpornost na vlagu. Većina akrilnih prevlaka nije prikladna za primjenu u uronjenim uvjetima ili u kemijski izrazito agresivnom okolišu, zbog razaranja esterskih grupa prisutnih u polimetil metakrilatnim i etil akrilatnim smolama [4].

Ta esterska grupa prisutna je samo kao *privjesak*, tj. bočni lanac, pa prema tome osnova koju čini ugljik-ugljik lanac u akrilnim smolama osigurava vrlo dobru otpornost na vlagu i kemijske utjecaje, što omogućava primjenu ovih smola u većini modernih kemijskih postrojenja [4].

Prevlake mogu biti formulirane sa akrilima, metakrilima ili višim homopolimerima. Mješavine obje vrste smola se također često koriste za zaštitu od korozije. Općenito, prevlake formulirane od akrilata ili kopolimera, uz prevagu akrilnog estera, su mekše i fleksibilnije od metakrilatskih prevlaka. Otpornost na ultra ljubičasto zračenje akrilatnih prevlaka je nešto manja nego kod metakrilatnih prevlaka zbog prisutnosti tercijarnog vodika izravno spojenog na ugljik, koji se uključuje u osnovnu strukturu molekule. Taj aktivni vodik je osjetljiv na foto-oksidacijske i termo-oksidacijske reakcije. Metakrilati, osim što osiguravaju tvrdi i krhkiji zaštitni film sa manjom adhezijom, su kemijski postojaniji i otporniji na vlagu, te također imaju veće toplinske tolerancije [4].

Kod obje vrste smola, veća fleksibilnost, žilavost i otpornost na abraziju se može ostvariti povećanjem molekularne težine, no time se smanjuje čvrstoća [4].

Akrilne smole su topive u otapalima sa umjerenim vodikovim vezama, poput ketona, estera, aromatskih ugljikovodika i odgovarajućih kloriranih ugljikovodika. Odlikuju ih izvrsno zadržavanje boje, sjaja, ultra ljubičasta stabilnost, te vrlo dobra otpornost na vlagu i kemijske utjecaje. Upravo zbog tih svojstava, akrilne prevlake su često korištene za zaštitu čeličnih konstrukcija koje su izložene atmosferskim utjecajima [4].

Plastomerni akrili, kao i ostale plastomerne prevlake su u osnovi smole koje se primjenjuju uz dodavanje otapala, a prilikom sušenja ne dolazi do kemijskih promjena u samoj smoli. Isparavanjem otapala dolazi do skrućenja, otvrdnuća i postižu se konačna svojstva prevlake. Kako bi se pospiješio proces isparavanja otapala, koristi se grijanje ili pećenje, no zbog visokog udjela HOS-a, plastomerne akrilne prevlake nemaju široku primjenu [4].

Duromerni akrili, ili umreženi akrili, se tvore kombinacijom metakrila ili akrilnih estera sa reaktivnim neakrilnim polimerima. Najčešće korišteni dodatak za postizanje reakcije umrežavanja je epoksidna smola. Općenito, neakrilni polimer tvori osnovnu strukturu u stvorenom zaštitnom filmu, dok se akrilnom modifikacijom poboljšavaju zadržavanje boje, sjaj i ultra ljubičasta postojanost neakrilnih konstituenata [4].

U odnosu na plastomerne, duromerni slojevi su tvrdi no nešto manje postojani u kiselim i lužnatim otopinama [4].

3.4. Umrežene duromerne prevlake

Kemijski umrežene prevlake očvršćuju i postižu krajnja svojstva kemijskom reakcijom sa kopolimerom ili sa vlagom. Primjeri prevlaka koje se kemijski umrežuju kopolimerizacijom, su one koje sadrže epokside, nezasićene poliestere, uretane kod kojih je reakcija izocijanta sa poliolum, silikone koji očvršćuju pri visokim temperaturama te fenolne obloge. Prevlake koje kemijski očvršćuju uz prisutnost vode, uključuju vlagom-otvrdnute poliuretane i većinu anorganskih cinkom bogatih prevlaka. Iako su prevlake na bazi sušućih ulja također kemijski umrežene u reakciji sa kisikom iz zraka, izostavljene su iz ove kategorije zbog samo-oksidirajućeg mehanizma koji predstavlja posebno područje u razmatranju [4].

Osnovni princip kemijskog umrežavanja je formuliranje prevlake korištenjem smole ili veziva niske molekularne težine. Kada se pomiješa i nanese, nastupa reakcija sa vlagom iz zraka ili sa ko-rekaktantima, rezultirajući umrežavanjem i puno većom trodimenzionalnom molekularnom strukturom. Prednost ove vrste prevlaka je što nakon nanošenja na velike površine, kao što su spremnici ili brodovi, tek nakon dužeg vremenskog perioda dolazi do otvrdnjavanja, pa prevlaka može otvrdnuti u veliku makromolekulu koja prekriva više stotina metara kvadratnih. Takva prevlaka, ako je pravilno formulirana, osigurava žilavost, fleksibilnost i visoku kemijsku postojanost i otpornost na koroziju. Također, makromolekula takve veličine sa pratećim svojstvima otpornosti na koroziju se teško može postići sa vezivom koje zahtjeva predreakcije prije nanošenja [4].

Prevlake i obloge bazirane na kemijski konvertibilnom vezivu, mogu se formulirati tako da posjeduju izvrsna svojstva otpornosti na kiseline, lužine i vlagu, te svojstva otpornosti na abraziju, ultra ljubičastu i toplinsku degradaciju. Općenito pravilo je da se čvrstoća i fleksibilnost prevlake povećavaju sa povećanjem duljine molekule. Slično, otpornost na vlagu i kemikalije povećava se sa povećanjem gustoće umreženosti unutar makromolekule. Ipak, kod svih prevlaka, konstituirajuće kemijske grupe unutar svake molekularne strukture mogu rezultirati karakterističnom čvrstoćom ili slabošću unutar molekularnog lanca [4].

Nadalje, raspored i kompozicija sporednih bočnih grupa može dodatno izmijeniti svojstva molekularne strukture. Također, strukture kod kojih nije ostvarena reakcija unutar molekule, mogu dovesti do smanjenja otpornosti na vlagu i kemikalije, te smanjiti temperaturnu postojanost [4].

Stupanj umrežavanja molekula ovisan ne samo o reakcijskim strukturama, već i o mehanizmu umrežavanja (npr. dopunjavanje, kondenzacija ili umrežavanje inicirano slobodnim radikalima). Najvažniji vanjski faktori, poput temperature i (kod reakcija sa vlagom) atmosferska vlažnost zraka, utječu na stupanj i duljinu umrežavanja. Kemijski otvrdnute prevlake nakon apliciranja na površinu moraju proći proces isparavanja vlage ili otapala, te potom očvršćuju i postižu konačna svojstva umrežavanjem, koja su ovisna o vlazi ili temperaturi okoline. Prespori stupanj reakcije može dovesti do nepotpunog umrežavanja prevlake koje, iako ima čvrstoću i dobar vizualni izgled, nema postojanost na kemikalije i vlagu. Prebrza reakcija pak može dovesti do pojave *preotvrdnuća*, tvrde, nepropusne prevlake koja se ne može kasnije premazivati novim odgovarajućim slojem premaza [4].

Preotvrdnuće je najčešći problem koji se javlja kod održavanja, pri premazivanju umreženih prevlaka novim zaštitnim slojem nakon dužeg vremenskog perioda. U ekstremnim slučajevima, interval između ponovnog premazivanja prilikom kojeg ne dolazi do problema je nekoliko sati, pod odgovarajućim okolišnim uvjetima. Aminom otvrdnute katranske epoksidne prevlake su dobar primjer kod kojih vremenski okvir za ponovno nanošenje novog sloja iznosi oko šesnaest sati, nakon čega je moguća pojava problema s adhezijom između dvaju slojeva [4].

Otvrdnuće nekih kemijski umreženih sustava, poput većine poliestera i vinil estera, je toliko brzo da zahtjevaju aplikaciju mlaznicom. Kod takvog načina primjene koreaktanti se miješaju prilikom apliciranja u samoj mlaznici ili neposredno nakon izlaska iz nje. Kemijska reakcija umrežavanja nastupa odmah pri dodiru prevlake s podlogom. Iako su ovakve vrste prevlaka čvrste na dodir za nekoliko minuta, potrebno je nekoliko dana kako bi se isparavanje otapala i dodatno umrežavanje odvijalo u potpunosti prije primjene u kemijski agresivnoj okolini. Opće pravilo je da za otvrdnjavanje kemijski umreženih sustava treba proći vremenski period od približno sedam dana pri temperaturi od 25 °C, prije nego li se prevlaka izloži korozivnim uvjetima, uranja, izloži kiselinama i lužinama [4].

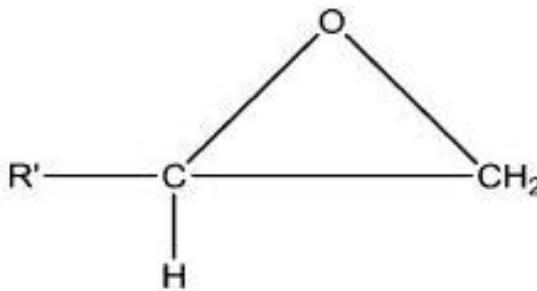
3.4.1. Epoksidi

Epoksidne smole su polieteri viševalentnih alkohola i fenola koji sadrže etilenoksidne prstene i slobodne OH-skupine, što omogućuje njihovo katalitičko ili termičko otvrdnjavanje daljnjim povećanjem i umrežavanjem makromolekula, pri čemu često nastaju drugi fenoli, amini, poliamidi i poliuretani [2].

Umreženi epoksidi posjeduju izvanredna svojstva kao što su [5]:

- dobra adhezija na raznim površinama,
- malo skupljanje prilikom otvrdnuća,
- nema emisije štetnih plinova,
- kemijska i temperaturna postojanost,
- visoka temperatura staklišta (T_g) i
- visok modul elastičnosti.

Pored navedenih svojstava, najbitnija je gustoća umreženosti koja utječe na modul elastičnosti, temperaturu staklišta (T_g), temperaturnu stabilnost te kemijsku postojanost. Razlog zašto su epoksidne smole sklone reakciji vezivanja je zbog strukture koju čini tročlani prsten, koji je u izuzetno napetom stanju jer su oba atoma ugljika djelomično pozitivno nabijena pod utjecajem atoma kisika koji privlači elektrone (slika 3.2) [5].



Slika 3.2. Struktura epoksidnog prstena [5]

Upravo je otvaranje ovog epoksidnog prstena povezano s otvrdnjavanjem epoksida i formiranjem umrežene strukture. Izbor epoksidne smole i dodataka za otvrdnjavanje određen je uvjetima u kojim dolazi do samog otvrdnjavanja (visoka ili okolišna temperatura) i željenim svojstvima konačnog proizvoda. Ovisno o izboru dodataka za otvrdnjavanje, epoksidne smole mogu otvrdnuti sporo (nekoliko sati) ili vrlo brzo (manje od jedne minute) na sobnoj temperaturi ili pri povišenim temperaturama [5].

Uobičajeno korišteni dodaci za otvrdnjavanje su alifatski amini, aromatski amini i anhidridne kiseline. Amini odmah reagiraju s epoksidom na sobnoj temperaturi, dok anhidridi reagiraju na povišenim temperaturama. Također, anhidridi se češće koriste nego amini kada je potrebno osigurati zaštitu od temperaturnog starenja [5].

Atraktivna svojstva epoksidnih smola čine ih preferiranim izborom materijala za razne primjene kao što su adhezivi, prevlake i kompozitne tvorevine. Epoksidne smole mogu otvrdnuti reakcijom tri mola di-funkcionalne epoksidne smole sa dva mola tri-funkcionalne karboksilne kiseline kako bi se stvorila ulančena polimerna mreža. Kada je karboksilna kiselina masna kiselina, nastaje epoksi ester. Epoksi ester objedinjuje adheziju i kemijsku postojanost epoksidne smole sa fleksibilnošću i proizvodnošću nezasićenih poliestera. Poput prevlaka od nezasićenih poliestera, epoksi esterske prevlake osiguravaju odgovarajuću zaštitu metalima poput aluminija i čelika protiv korozije [5].

Proizvodi na bazi epoksidnih smola su [2]:

- jednokomponentna premazna sredstva koja se peku (s čistim epoksidnim ili s epoksidno-fenolnim vezivima), pri čemu su neka od njih vodorazrjeđiva, te
- dvokomponentna premazna sredstva koja otvrdnjavaju katalitički ili pečenjem (npr. s epoksidnim i poliamidnim smolama s otapalom ili bez njega, s epoksidnim smolama i aminima itd.).

Kemijski umreženi epoksidi obično dolaze kao dvokomponentni sustavi. Prva komponenta sadrži epoksidnu smolu, pigmente i nešto otapala, dok je druga komponenta kopolimerni aditiv za otvrdnuće. Dvije komponente se miješaju neposredno prije apliciranja, a pri otvrdnuću tvore veliku makromolekularnu strukturu. Svojstva proizlaze iz vrste i molekularne mase pojedinih konstituenata, epoksidne smole i kopolimernog aditiva korištenog za postizanje otvrdnuća [4].

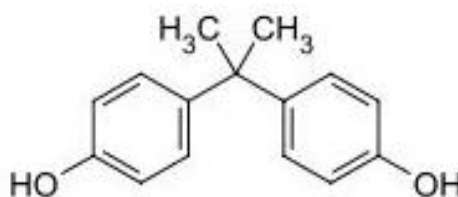
Postoje tri osnovne grupe epoksidnih smola koje se razlikuju u kemijskom procesu nastanka [4]:

- bisfenol-A, dobiven iz bisfenolnog acetona i epiklorohidrina,
- bisfenol-F, dobiven iz bisfenolnog formaldehida i epiklorohidrina i
- novolac, modifikacija bisfenol-F smole sa suviškom fenola.

Bisfenol-A epoksidna smola je najčešće primjenjivana u industriji, no upotreba bisfenol-F i novolac smole se postepeno povećava zadnjih godina zbog njihove manje molekularne mase u usporedbi s bisfenol-A smolama. Time se osigurava veća fleksibilnost pri formuliranju prevlaka u skladu s HOS propisima. Bisfenol-F i novolac epoksidne smole također imaju veću funkcionalnost, koje ako su pravilno umrežene, imaju bolju otpornost na vlagu i kemikalije, te toplinsku postojanost od bisfenol-A epoksidnih smola [4].

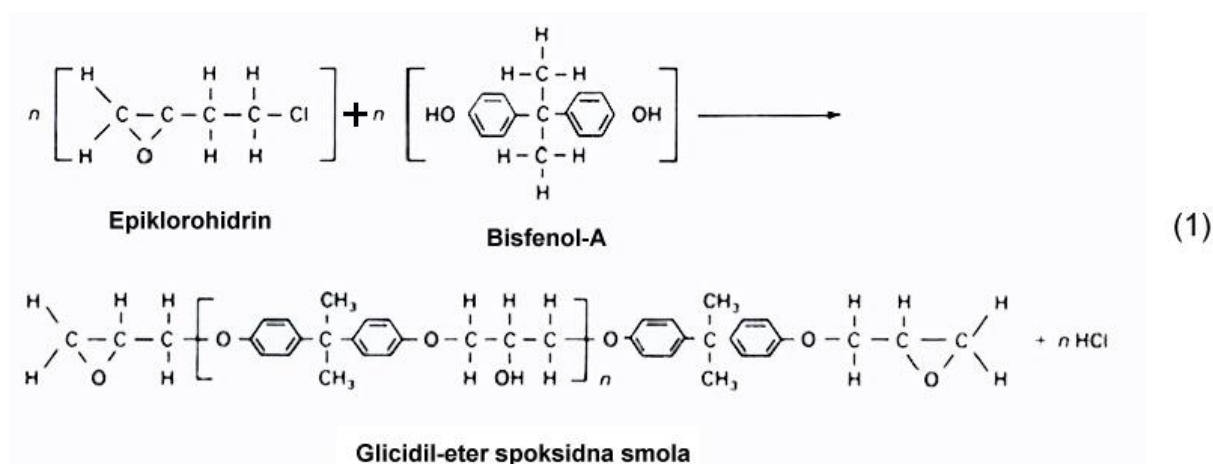
3.4.1.1. Bisfenol-A smole

Bisfenol aceton (bisfenol-A) je reakcijski produkt fenola i acetona. Zatim, dobivena smola reakcijom sa epiklorohidrinom tvori diglicidilni eter bisfenolne-A smole. Molekularna struktura bisfenol-A smole prikazana je na slici 3.3 [4].



Slika 3.3. Molekularna struktura bisfenol-A smole [6]

Reakcija epiklorohidriinske i bisfenol-A smole prilikom koje nastaje glicidil-eter vrsta epoksidne smole prikazana je jednadžbom (1) [4].

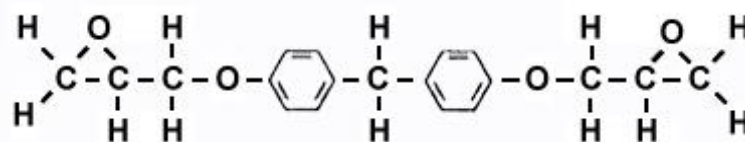


Kada je množina n jedan ili manja, smola je tekuća i konzistentna poput meda. Ova vrsta tekućih smola se koristi za tvrde epoksidne smole koje očvršćuju na okolišnim temperaturama. Kada je prosječna molekularna masa smole povećana, povećanjem množine n do približno $n=2$, smola postaje čvrsta i mora se otopiti odgovarajućim otapalom kako bi se omogućilo apliciranje prevlake na površinu. Najčešća formulacija epoksida koji se široko primjenjuju industrijskom održavanju i brodogradilištima, ima vrijednost $n=2$, dok molekularna masa ima vrijednost od 800 do 1000. Povećanjem n do većih brojeva, povisuje se ujedno i molekularna masa [4].

3.4.1.2. Bisfenol-F smole

Bisfenol-F smole imaju manju molekularnu masu (približni jednu trećinu one koju imaju bisfenol-A smole sa jednakom funkcionalnošću). Slične su kao i bisfenol-A, osim što fenol ostvaruje reakciju sa formaldehidom a ne sa acetonom kako bi nastao međuprodukt, koji zatim ostvaruje reakciju epiklorohidrinom s ciljem nastajanja bisfenol-F smole [3].

Molekularna struktura reaktanata je prikazana na slici 3.5 [4].



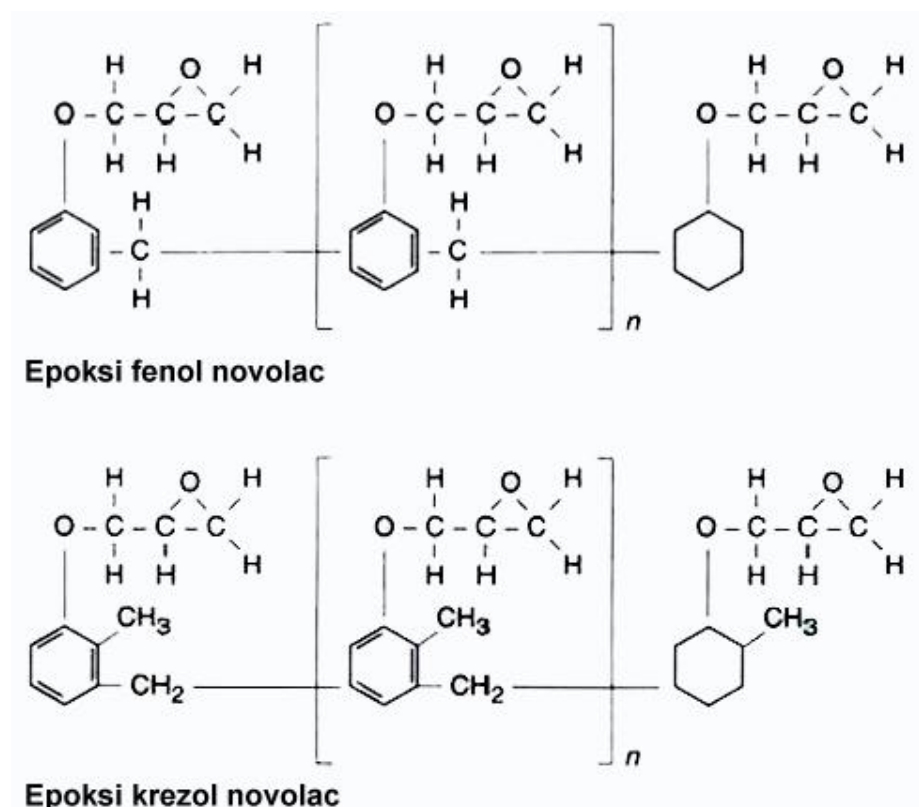
Slika 3.4. Molekularna struktura bisfenol-F epoksidne smole [4]

Bisfenol-F smole imaju bolju kemijsku i temperaturnu postojanost od bisfenol-A smola, no stoga imaju manju čvrstoću i fleksibilnost. Navedena svojstva i činjenica da ne zahtijevaju upotrebu otapala kako bi bile tekuće, povećala je njihovu upotrebu kao prevlaka gdje je ograničena količina dopuštenih hlapljivih organskih sastojaka u premazu (HOS) [4].

Kada bisfenol-F ko-reagira sa aromatskim aminom i aminskim spojevima, može se formulirati kao vrlo krut i 100% krut epoksid (sa malo ili bez otapala) [4].

3.4.1.3. Novolac smole

Ove vrste spoksidnih smola su modifikacija bisfenol-F smola, koje nastaju uz suvišak fenola. Bisfenol-F je najjednostavnija vrsta novolac smole, a sve ostale novolac smole imaju značajno veću viskoznost od bisfenol-F smola. Jednako važna značajka novolac smole je da ima značajno bolja funkcionalna svojstva, koja uključuju bolju otpornost na kemikalije i vlagu, te temperaturnu postojanost u usporedbi sa bisfenolom-F. Molekularna struktura dvije vrste novolac smola, epoksi fenol novolac i epoksi krezol novolac, prikazana je na slici 3.6 [4].



Slika 3.5. Molekularna struktura novolac smola [4]

Epoksi fenol novolac smole su vrlo viskozne tekućine srednje tvrdoće. Epoksi krezol novolac smole su čvrste i češće se koriste za prevlake u obliku praha. Obje vrste smola imaju višu epoksidnu funkcionalnost od bisfenol-A i bisfenol-F smola. Njihova visoka gustoća prilikom umrežavanja osigurava vrlo visoku temperaturnu postojanost, otpornost na kemikalije, otapala i vlagu, te se često koriste za uvjete rada sa otapalima i gdje je potrebna otpornost na mineralne kiseline pri povišenim temperaturama. Novolac smole se formuliraju za cijevi na bušotinama nafte, gdje je prisutna izloženost visokim temperaturama, suhim i vlažnim kiselinama, lužinama i abraziji [4].

Ipak, zbog njihove visoke gustoće umreženosti, potrebno je pažljivo odabrati odgovarajuće ko-reaktantske tvari kojim se ostvaruje reakcija umrežavanja. U suprotnome, prevlaka je izrazito krhka i puca [4].

3.4.2. Epoksi-fenolne prevlake

Fenolom umrežene epoksidne prevlake su izuzetno otporne na kiseline, lužine i otapala. Koriste se epoksidi visoke molekularne mase sa visokim udjelom hidroksilnih funkcionalnih grupa slobodnih za ostvarivanje reakcije. Prilikom proizvodnje, epoksid je zapakiran sa fenolnom smolom, pigmentima i katalitičkom kiselinom. Nakon miješanja, prevlaka se nanosi mlaznicom te se zatim stavlja u peć na temperaturu od 150 do 205 °C kako bi se osiguralo potpuno umrežavanje. Nanošenje u više slojeva zahtjeva kratko pećenje nakon svakog nanesenog sloja, dok se završni sloj peće duži vremenski period [4].

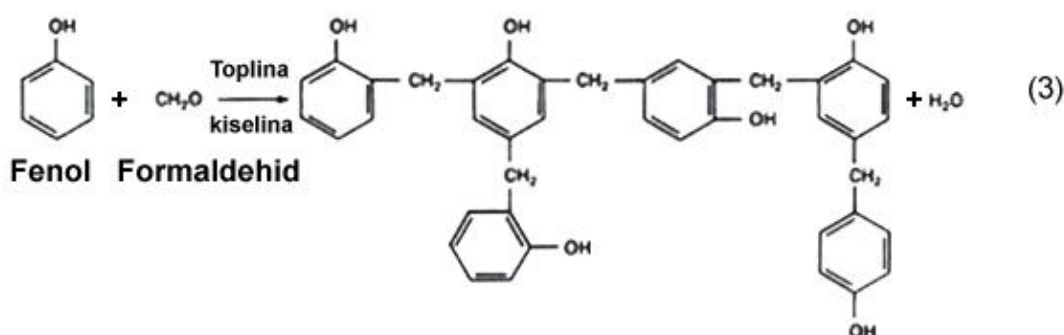
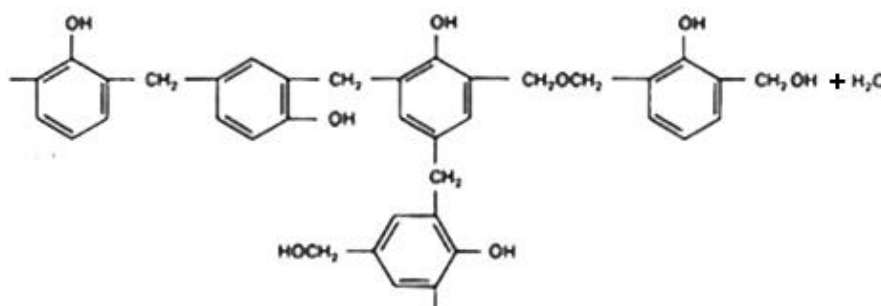
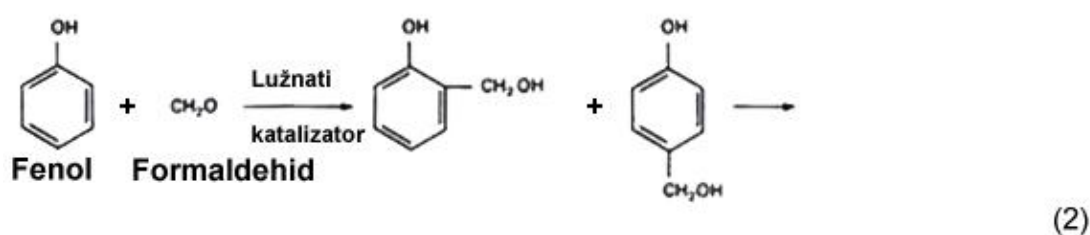
Također, postoje i sustavi koji otvrdnjavaju na sobnoj temperaturi. Modifikacija epoksidne smole sa manjim udjelom fenola omogućuje sušenje prevlake na zraku bez potrebe za pećenjem. Takve prevlake imaju izvrsna svojstva postojanosti na vlagu i kemijske utjecaje. Nadalje, potrebno je paziti da nanoseni sloj nije prevelike debljine, što može dovesti do zarobljavanja otapala, te da se osigura zahtjevana temperatura od minimalno 24 °C. Pećenjem ovakvih zrakom sušećih prevlaka, dodatno će se poboljšati svojstva, posebno kada je u pitanju rad u uronjenim uvjetima [4].

Otvrdnute prevlake imaju izvrsnu otpornost na kiseline i otapala zahvaljujući fenolu, te fleksibilnost, adheziju i čvrstoću koju osigurava epoksid. Epoksi-fenoli imaju također i dobru otpornost na lužine zahvaljujući epoksidnom konstituentu [4].

Umrežavanje nastaje između hidroksilnih grupa duž epoksidnog lanca i metilolnih grupa prisutnih u fenolnoj smoli. Moguća sekundarna reakcija je ona između krajnjih epoksidnih grupa epoksidne smole i hidroksilnih grupa fenolne smole [4].

3.4.3. Fenolne prevlake

Fenolne smole nastaju reakcijom fenola sa formaldehidom, tvoreći fenolformaldehid. Metilolna grupa može ostvariti reakciju na dvije orto pozicije, a para-položajem na benzenovu prstenu tvori fenolformaldehid sa tri mjesta koja mogu ostvariti reakciju. Zagrijavanjem, kondenzacijska reakcija se odvija između metilolnih grupa na susjednim molekulama koje umrežavanjem tvore film i oslobađaju vodu. Reakcija fenola i formaldehida kojom nastaje umreženi zaštitni sloj pomoću lužnatog katalizatora, prikazana je jednadžbom (2), dok je reakcija pomoću kiselog katalizatora prikazana jednadžbom (3).

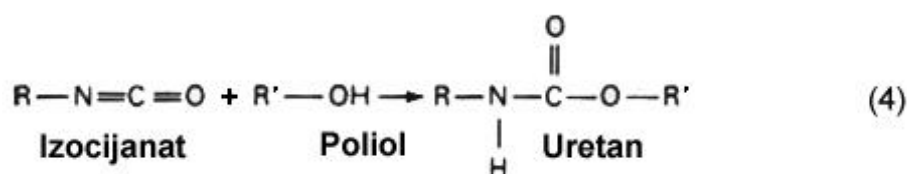


Fenolformaldehidne smole se obično otapaju u alkoholu i nanose mlaznicom, uranjanjem ili valjkom. Činjenica da se tijekom umrežavanja oslobađa voda vrlo je važna. Premaz se mora nanositi u više slojeva, pri čemu je svaki premaz debljine oko 0,025 mm, te se potom nekoliko minuta peče na temperaturi od 120 do 205 °C prije nego se nanese novi sloj. Ovim postupkom se parcijalno umrežava prevlaka, no ono što je važnije, isparava voda nastala prilikom reakcija umrežavanja [4].

3.4.4. Uretanske prevlake

Uretanske prevlake imaju svojstva otpornosti na vlagu i kemikalije slična kao i epoksidi, no moguće ih je i formulirati tako da imaju postojanost na svjetlo, te da zadržavaju sjaj i pri dugotrajnoj izloženosti. Kemijske reakcije za otvrdnjivnje uretanskih prevlaka nisu prekomjerno kompleksne i obično se u pravilu sastoje od reakcije izocijanata (koji sadrži -N=C=O skupine) sa polihidroksilnim reaktantom (sadrži -OH skupine) [4].

Jednadžbom (4) prikazana je reakcija pri kojoj nastaje uretan (R' i R su različiti aromati alifatskih grupa) [4].



Umrežavanje nastaje zbog visoke reaktivnosti i afiniteta izocijanatnih grupa prema aktivnom vodikom poliolnog hidroksila ili bilo kojem drugom atomu vodika u spoju sa atomom dušikom ili kisika. Stupanj umrežavanja ovisi o mnogo faktora, poput vrste i konfiguracije oba konstituenta (izocijanata i poliola), te o temperaturi. Formulacije su najčešće takve da do reakcije umrežavanja može doći i pri temperaturi od -18 °C, pa čak i pri nižim temperaturama [4].

Postoji više vrsta izocijanata koji se koriste za uretanske prevlake. Molekularna masa kao i izocijanatna funkcionalnost (broj izocijanatnih grupa koje mogu ostvariti reakciju) utječu na krajnja svojstva prevlake. Također, različite poliolske strukture poput akrila, epoksida, poliestera, polietera i vinila, kada ostvare reakciju sa određenim izocijanatom i počnu tvoriti umreženu prevlaku, dobivaju se različita fizička i kemijska svojstva prevlake [4].

3.4.5. Poliuretanske prevlake

Poliuretani su smole s -NH•COO- skupinama u makromolekulama koje nastaju reakcijom između organskih spojeva s izocijanatnim radikalima -N=C=O viševalentnih fenola, alkohola i drugih organskih spojeva sa skupinama -OH. Za modificiranje poliuretana se koriste sušiva ulja i alkidi, odnosno katranska smola [2].

Moguća su jednokomponentna ili češće dvokomponentna premazna sredstva na osnovi poluretana. Jednokomponentna premazna sredstva s poliuretanskim vezivom otvrdnjavaju djelovanjem vlage iz zraka, a sadrže posebna stabilizirana veziva koja otvrdnjavaju pečenjem na temperaturi iznad 85 °C, ili s vezivima modificiranim sušivim uljima i alkidima [2].

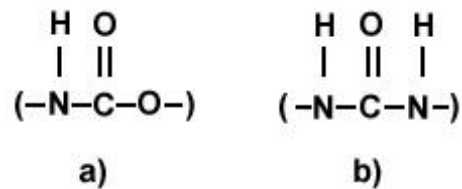
Najkvalitetnije prevlake su od dvokomponentnih sredstava, od izocijanatnog i poliesterskog (ili polieterskog) dijela koja reaktivno otvrdnjavaju u opne s lijepim izgledom, postojane su na suncu te otporne na abraziju i temperature do 170 °C [2].

Svojstva poliuretanskih prevlaka ovise o pojedinim konstituentima same prevlake, pa tako mogu biti meke i rastezljive (gumaste, elastomerne), nešto tvrđe i povratno taljive pri grijanju (plastomerne), te tvrde i netaljive nakon katalitičkog ili toplinskog otvrdnjivanja (duomerne). Prednosti poliuretanskih prevlaka su postojanost u atmosferi i vodi, u kiselim i lužnatim vodenim otopinama i u organskim otapalima. Također, u odnosu na epoksidne premaze, poliuretanski su mehanički otporniji, nešto manje postojani u lužnatim, a nešto postojaniji u kiselim sredinama prema oksidansima. Dodavanjem katranske smole smanjuje se postojanost u otapalima [2].

Do nedavno, proizvođači prevlaka nisu pravili razliku između izocijanatnih reakcija sa poliesterskim/polieterskim hidroskilnim funkcionalnim smolama i smolama baziranim na reakciji izocijanata sa polieter aminom. U oba slučaja, rezultirajuća smola se općenito zvala poliuretan. Ipak, samo smola koja nastaje reakcijom izocijanata sa hidroksilnim poliesterom ili polieterom (ili sa hidroksilnim akrilom ili epoksidom), sadrži uretanske veze između konstituenata. Kod uretanskih reakcija, umrežavanje nastaje reakcijom izocijanatnih grupa sa hidroksilom pri čemu nastaju uretanske veze, kao što je prikazano na slici 3.6 a) i samo takve smole su prave poliuretanske [4].

Izocijanatna reakcija sa polieter aminom, ili sa poliolum koji u strukturi na krajevima molekule ima amine, rezultira substitucijom ureatskih veza, te takve smole nakon formuliranja iznimno brzo otvrdnjavaju i tvore debele elastomerne prevlake. Zbog toga takve prevlake čine posebnu generičku kategoriju, tj. poliureatske prevlake [4].

Na slici 3.6 prikazana je razlika između poliuretana i poliureatskih smola.



Slika 3.6. Razlika između poliuretana i poliureatskih smola [4]

a) uretanska veza u poliuretanu, b) substituirana ureatska veza u poliurei

Poliuretanski i poliureatski sustavi zaštite imaju slična svojstva, te se oboje ističu visokom vlačnom čvrstoćom i fleksibilnošću, imaju otpornost na udarce, abraziju, te se mogu formulirati u prevlake sa svojstvima prilagođenim za određene uvjete [4].

Prednost poliureatskih prevlaka je što se mogu nanositi pri nižim temperaturama (do $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$) u usporedbi sa ekvivalentno formuliranim poliuretanom. Također, poliureati imaju veću toplinsku otpornost [4].

S druge strane, poliuretani imaju dva do tri puta bolju abrazijsku otpornost, te se mogu formulirati da tvore glatku sjajnu površinu. Zbog brze reakcije, poliureati nemaju vremena da teku, izjednače debljinu sloja te postignu glatku površinu, pa općenito poliureati imaju površinu koja izgleda kao *narančina kora* [4].

4. RAZRIJEĐIVAČI I OTAPALA ZA ORGANSKE PREMAZE

Kao razrjeđivači i otapala za boje i lakove najčešće se koriste smjese organskih kapljevina. Najčešće se radi o niskoviskoznim i lako hlapivim smjesama na osnovi alifatskih, aromatskih i kloriranih ugljikovodika, alkohola, ketona, estera itd. Vrlo često takve organske kapljevine imaju ulogu razrjeđivača, za snižavanje viskoznosti, te ulogu otapala veziva [2].

Najčešći sastojci razrjeđivača/otapala su ekstrakcijski benzin, toluen, ksilen, terpentin, trikloretan, etanol (etilni alkohol), izopropanol, aceton, metiletilketon, cikloheksanom, etilacetat i butilacetat. Dio razrjeđivača/otapala se dodaje u boje i lakove prilikom proizvodnje, a ostatak se dodaje neposredno prije nanošenja, no to nije nužno u nekim situacijama gdje je viskoznost prilagođena tehnologiji nanošenja prilikom same proizvodnje [2].

Uljna veziva se obično razrjeđuju/otapaju u smjesama terpentina i benzina, alkidna i bitumenozna veziva u smjesama benzina i ksilena, kloropen u smjesama butilacetata i ksilena, a nitroceluloza u nitrorazrjeđivaču koji sadrži toluen, etanol, aceton, butilacetat i etilacetat. Prilikom hlapljenja razrjeđivača/otapala, nanese sloj postaje tanji i porozniji, pri čemu štetni plinovi zagađuju zrak i znatno raste opasnost od trovanja, požara i eksplozije. Zbog navedenih razloga, nastoje se koristiti premazna sredstva sa što manjim udjelom hlapivih organskih tvari, i to najčešće premazi koji kao otapalo koriste vodu (vodorazrjeđivi premazi). Osim toga, moguće je dodavanje niskoviskoznih omekšivača (plastifikatora) koji se pri pećenju premaza ugrađuju u vezivo, primjena razrjeđivača koji ne hlape već sudjeluju u kemijskom procesu otvrdnjavanja premaza, te primjena dvokomponentnih ili višekomponentnih premaznih sredstava od niskoviskoznih smola koje se miješaju neposredno prije nanošenja i otvrdnjavaju međusobnom reakcijom (npr. premazna sredstva bez hlapivih tvari, tj. razrjeđivača/otapala, na osnovi epoksida, poliuretana i nezasićenih poliestera) [2].

5. PIGMENTI I PUNILA ORGANSKIH PREMAZA

Kao pigmenti i punila, za boje i lakove koriste se anorganski oksidi, hidroksidi i soli, metalni elementi, ugljik i neki organski spojevi u obliku netopljivih čestica koje se obično već u proizvodnji rasprše u premaznom sredstvu čime se postiže neprozirnost i obojenost premaza, te se redovito poboljšava njihovo zaštitno djelovanje, otpornost na svjetlo i grijanje te mehanička svojstva [2].

Punila su zapravo jeftini bijeli ili svjetlosivi pigmenti sa slabom moći pokrivanja, te daju neprozirnost premazu samo ukoliko se dodaju u velikoj količini [2].

Pigmenti u premaznom sredstvu mogu biti dekorativni, antikorozijski i dekorativno-antikorozijski. Dok je dekorativni učinak samo za pokrivne, završne premaze, antikorozijski se učinak koristi i kod temeljnih i kod pokrivnih premaza, te isto tako i za međupremaze [2].

Antikorozijski učinak se temelji na aktivnoj ulozi pigmenta u korozijskom procesu kada agresivne tvari prodru kroz premaz do metalne podloge, odnosno na postojanosti pigmenta prema agresivnim utjecajima okoliša. U prvom slučaju radi se o aktivnim zaštitnim pigmentima, koji su od značajne važnosti za temeljne premaze, dok se u drugom slučaju radi o inertnim zaštitnim pigmentima, koji su poželjni u svim slojevima zaštitnog premaznog sustava [2].

Aktivnost zaštitnih pigmenata osniva se na inhibiciji korozije, na katodnoj zaštiti metalne podloge, na neutralizaciji kiselih tvari iz okoline, odnosno na taloženju korozivnih aniona iz okoline. Inhibitorski pigmenti obično koče ionizaciju metala, tj. anodni dio korozijskog procesa, što znači da djeluju pasivirajuće. Najčešći primjeri takve vrste pigmenata su narančasti olovni minij (Pb_3O_4) i žuti kalcijev plumbat (Ca_2PbO_4), koji pasiviraju konstrukcijske čelike, ali nisu primjenjivi za premaze na aluminiju i cinku [2].

Minij i drugi pigmenti koji sadrže Pb-okside i hidrokside, štite čelične podloge i neutralizacijom kiselih tvari te taloženjem nekih korozivnih aniona u obliku olovnih soli (npr. klorida, sulfata i sulfida). U tu skupinu pigmenata spadaju olovna bijelila, tzv. bazične olovne soli, u kojima se uz $Pb(OH)_2$ nalaze i netopljivi $PbSO_4$, $PbCO_3$ ili Pb-silikat, zatim žuti PbO te miješani pigmenti s $Pb(OH)_2$ ili PbO. Važno je napomenuti kako su svi pigmenti s Pb-spojevima otrovni, te ih treba rabiti uz osobit oprez [2].

Pasivirajuća svojstva imaju i kromatni pigmenti, koji su primjenjivi za sve metalne podloge, no i njihova primjena je potencijalno opasna za zdravlje. Najvažniji pigmenti iz ove skupine su pigmenti na osnovi cinkova kromata ($ZnCrO_4$), i hidroksida, tj. cinkovi bazični kromati npr. tetrahidroksikromat ($4Zn(OH)_2 \cdot ZnCrO_4$) i njihove smjese s kalijevim kromatom (K_2CrO_4). Ovi pigmenti su žućkaste boje a osiguravaju zaštitu i neutralizacijom kiselih tvari. Također, kao pasivatorski žuti pigmenti rabe se i kromati stroncija, olova i barija [2].

Posebna vrsta pasivatorskog pigmenta je narančasti olovni silikokromat. On se sastoji od smjese Pb-kromata i silikata sa PbO, nanesene na zrnca SiO_2 . Kao aktivni zaštitni pigmenti za čelik služe također bijeli Zn-fosfat i zeleni Cr-fosfat, koji pri prodoru korozivnih tvari do podloge talože $FePO_4$, tj. fosfatiraju željezo. Katodna zaštita čelika postiže se jedino primjenom Zn-praha kao sivog pigmenta mnogih temeljnih premaza [2].

Najvažniji korozijski inertni pigmenti za premazna sredstva su TiO_2 , žutocrveni, crveni, smeđi ili crni Fe_2O_3 i Fe_3O_4 , zeleni Cr_2O_3 , crni MnO_2 , čađa i grafit, srebrnasti Al-prah, njihove međusobne smjese i smjese s aktivnim zaštitnim pigmentima, kao i s dekorativnim pigmentima [2].

Inertnost pigmenta ovisi o korozivnom mediju i fizikalnim okolnostima, jer svaki je pigment pod određenim uvjetima kemijski nepostojan. Zaštitnoj moći inertnih pigmenta znatno doprinosi listićavi oblik čestica, koji se sliježu usporedno s podlogom i time značajno povećavaju put kojim korozivne tvari difundiraju kroz zaštitni premaz. Glavni listićavi pigmenti su Al, grafit i Fe-tinjac (listićavi Fe_2O_3) [2].

Među dekorativne pigmente spadaju mnogi već nabrojani, naročito inertni pigmenti koji se koriste za pokrivne premaze. Podrazumijeva se da se i za čisto dekorativne pigmente traži kemijska postojanost. Većina takvih pigmenta su prirodni ili sintetički anorganski spojevi, ali se primjenjuju i organska bojila netopljiva u premaznom sredstvu [2].

Cink fosfat, $Zn_3(PO_4)_2$, se koristi kod antikorozijskih premaza za konstrukcijske metale te kao punilo kod vulkanizacijskih proizvoda kako bi se povisila temperaturna otpornost. Cink fosfat, koji je netopiv u vodi, može se dobiti reakcijom ZnO i fosforne kiseline u vodenom mediju [7].

Cinkov borid ($x\text{ZnO}\cdot y\text{B}_2\text{O}_3\cdot z\text{H}_2\text{O}$) je bijeli prah niske topljivosti u vodi i visoke dehidracijske temperature. Primjena mu je u polimernim kompozitima kao retardant pri gorenju i kao sredstvo za sprječavanje nastajanja dima. ZnO je katodni inhibitor te usporava koroziju iniciranjem redukcije vode u plinoviti vodik [7].

Iako je danas značajno potisnut upotrebom TiO_2 , ZnO ostaje i dalje vrlo važan bijeli anorganski pigment za razne primjene. Važno svojstvo bijelog pigmenta je mala absorpcija svjetla, te vrlo visoka disperzija zračenja vidljivog spektra (valne duljine od 400-800 nm) [7].

ZnO je također sklon bubrenju uslijed prodiranja vode u prevlaku, pa se stoga njegova primjena u temeljnim premazima ne preporuča. Prednosti ovog pigmenta su zaštita od UV zračenja i neutralizacija nastalih kiselina uslijed oksidacijskih procesa premaza. Norma ASTM D79-86 osigurava podatke o miješanju ZnO pigmenta u premaze. Važno je pri tome naglasiti kako ZnO pigment mora sadržavati manje od 0,5 % vlage. Mokri ZnO, sa većim udjelom vlage i površinskim hidroksilnim grupama, se ne preporuča koristiti za takve primjene [7].

Regulative o formuliranju premaza su se zadnjih deset godina značajno mijenjale, te ima velik broj normi o primjeni ZnO pigmenta za premaze koji više nisu važeći. Stoga je potrebno obratiti pažnju na najnovije propise o korištenju ove vrste pigmenta pri formuliranju [7].

Kao punila se rabe prirodne ili umjetne anorganske tvari poput BaSO_4 , CaCO_3 , MgCO_3 , SiO_2 , tinjac (silikatni), talk, glina i azbest. Uloga punila je da pojeftini premazno sredstvo, no često i poboljšava određena svojstva (npr. koči slijeganje pigmenta pri skladištenju). Također, bitno je istaknuti kako pigmenti i punila moraju biti kompatibilni međusobno, s vezivima premaznih sredstava, te s podlogama na koje se nanose. To znači da se moraju lako miješati s vezivima i ne smiju izazivati štetne kemijske reakcije kako prije, tako ni poslije nanošenja [2].

6. ADITIVI ZA ORGANSKE PREMAZE

Aditivi se u premazna sredstva dodaju u malenim udjelima, ispod 5% maseno, a kao najvažniji među njima su katalizatori oksidativne polimerizacije, odnosno umrežavanja, omekšivači (plastifikatori) veziva i organski inhibitori korozije [2].

Katalizatori oksidativne polimerizacije zovu se sikativima, a najčešće se radi o organskim peroksidima. Dodavanjem omekšivača povećava se žilavost premaza na osnovi celuloznih derivata, vinilnih i akrilnih smola te gume. U temeljne premaze se katkad dodaju inhibitori korozije, tj. soli organskih baza ili kiselina. Ostali aditivi koji se dodaju premaznom sredstvu su organska bojila topljiva u vezivu, fungicidi, površinski aktivne tvari, stabilizatori, antioksidansi itd. [2].

7. PRIPREMA POVRŠINE PODLOGE ZA NANOŠENJE PREVLAKA

Pri nanošenju prevlake, značajnu ulogu ima dobra priprema podloge na koju se prevlaka nanosi. Priprema podloge podrazumijeva čišćenje i kondicioniranje površine materijala, kako bi se postiglo što kvalitetnije i čvršće prijanjanje prevlake. Postupkom čišćenja s površine se uklanjaju sva labava i rahla onečišćenja poput masnih tvari, većina korozivskih produkata, oštećene prevlake, prašina, čađa, koks i pepeo. Kondicioniranjem se osigurava odgovarajuća kvaliteta površine podloge, tj. zahtjevana hrapavost, odnosno glatkoća [2].

Kako bi se postigla kvalitetna predobrada podloge, potrebno je provesti nekoliko operacija. Izbor i slijed pojedinih operacija variraju o više faktora, kao što su [2]:

- vrsta osnovnog materijala,
- prethodno stanje površine i
- stanje zahtjevane površine.

Operacije predobrade uključuju odmašćivanje, te mehaničku i kemijsku pripremu podloge. Postupkom odmašćivanja odstranjuju se mineralne i biološke masne tvari. Razloga zamašćenosti površine može biti više, a neki od njih su [2]:

- sredstvo za hlađenje i podmazivanje pri mehaničkom oblikovanju obradaka odvajanjem čestica ili plastičnom deformacijom,
- masne prevlake za privremenu zaštitu (konzerviranje) i
- rukovanje golim rukama.

Odmašćivanje metala i anorganskih nemetala moguće je provesti fizikalnim otapanjem u hlapivim organskim otapalima, koja zatim naknadno ispare s odmašćenih površina. Organski materijali (plastične mase i gume), mogu biti topivi u takvim otapalima pa je potrebno paziti pri odabiru sredstva za odmašćivanje [2].

Kao sredstva za odmašćivanje najčešće se koriste alifatski (lančani) ugljikovodici (npr. petrolej), te halogenirani alifatski ugljikovodici (npr. trikloretilen, trifluortrikloretilen) u kojima su H-atomi djelomično ili potpuno zamijenjeni atomima halogena (Cl, F ili Br). Glavni nedostatak ugljikovodika je njihova zapaljivost, te se stoga ne smiju grijati, iako bi se time znatno ubrzao proces odmašćivanja [2].

Upravo zbog navedenog nedostatka, rabljena ugljikovodična otapala se ne smiju bacati u kanalizaciju niti regenerirati, tj. odvajati od masnih tvari, te se često beskorisno spaljuju [2].

Halogenirani ugljikovodici nisu zapaljivi te se stoga mogu koristiti pri povišenim temperaturama i regenerirati običnom destilacijom. Ipak, grijanjem često postaju nepostojani, posebno u nazočnosti vode i katalitičkim djelovanjem aluminijske soli. Hidrolizom iz tih spojeva nastaju agresivne kiseline (HCl, HF ili HBr). Zbog štetnog fotokemijskog učinka ultraljubičastih zraka na pare kloriranih ugljikovodika, pri čemu nastaje zagušljivi plin fosgen (COCl_2), halogeniranim ugljikovodicima se dodaju stabilizatori (amini). Ipak, zbog štetnosti para fluorirano-kloriranih ugljikovodika, ova sredstva za odmašćivanje se zamjenjuju ekološki prihvatljivijim sredstvima [2].

Navedena otapala se slabo ili nikako ne miješaju s vodom, pa je odmašćivanje vlažnih i masnih površina otežano. Također, postoje otapala koja se miješaju s vodom, npr. etanol i aceton, no njihov nedostatak je što su te tvari zapaljive i relativno skupe. U tablici 7.1 navedene su neke neke značajke najvažnijih vrsta otapala za odmašćivanje [2].

Tablica 7.1. Značajke najvažnijih vrsta otapala za odmaščivanje [2]

Naziv	Formula ili sastav	Vrelište, [°C]	Gustoća, [g/cm ³]	Napomena
Aceton (propanon, dimetilketon)	(CH ₃) ₂ CO	56	0,79	Lako zapaljiv, miješa se s H ₂ O
Alkohol (etanol, etilni alkohol)	C ₂ H ₅ OH	79	0,79	Lako zapaljiv, miješa se s H ₂ O
Benzin za čišćenje (ekstrakcijski benzin)	Smjesa alifatskih ugljikovodika	80 - 130	0,68 – 0,71	Lako zapaljiv
Perkloretilen (per, tetrakloretilen, tetrakloreten)	CCl ₂ =CCl ₂	121	1,59	Nezapaljiv, slab narkotik, prikladan za Al, ekološki štetan
Petrolej (parafinsko ulje, kerozin)	Smjesa alifatskih ugljikovodika	150 - 250	0,8 – 0,82	Zapaljiv, sporo hlapi
Trifluortrikloretan (freon 113, F-113, freon TR, frigen 113, 1,2,2-triklor-1,1,2-trifluoretan)	CClF ₂ •CCl ₂ F	48	1,57	Nezapaljiv, neotrovan, ekološki štetan, ugrožava ozonski sloj u atmosferi
Trikloretan (1,1,1-trikloretan, metilkloroform, kloroten)	CH ₃ •CCl ₃	74	1,34	Nezapaljiv, slab narkotik, ekološki štetan
Trikloretilen (tri, trikloretan)	CHCl=CCl ₂	87	1,47	Nezapaljiv, slab narkotik, ekološki štetan

Također, kao sredstvo za odmašćivanje se mogu koristiti i rezrjeđivači organskih premaznih sredstava, tj. smjese hlapivih organskih kapljevin, najčešće različitih ugljikovodika, estera, ketona i alkohola. Pošto se radi o zapaljivim tvarima, redovito se miješaju s vodom [2].

Postupak odmašćivanja organskim otapalom je moguće provesti trljanjem natopljenom tkaninom, ili češće uranjanjem obratka u otapalo. Moguće je i odmašćivanje prskanjem, te tzv. parno (kombinira se s uranjanjem ili s prskanjem) i ultrazvučno odmašćivanje. Kod parnog postupka, hladni predmeti su izloženi pari otapala, koja se kondenzira na predmetu te pri tome otapa masne tvari i otkapluje ih u vrelo otapalo. Nadalje, upotreba ultrazvučnih valova, koje proizvodi vibrator, uzrokuje izmjeničnu ekspanziju i kompresiju šupljina (kavitaciju), čije udarno djelovanje odvaja masne tvari od površine obratka. Također, ovim postupkom se i mehanički uklanjaju čvrste čestice, kao što su prašina, abrazivi i sl. [2].

Uklanjanje masnih tvari je moguće i postupkom dispergiranja, tj. emulgiranjem ili suspendiranjem u vodenim sredinama, upotrebom lužnatih otopina i otopina sredstava za kvašenje, te upotrebom kiselih otopina jakih oksidansa [2].

Postupkom spaljivanja, uklanjaju se masne tvari pri čemu nastaju plinoviti produkti, CO₂ i vodena para. Temperatura na kojoj se provodi postupak je iznad 180 °C, i zahtijeva dovoljanu količinu zraka za potpuno izgaranje kako ne bi došlo do stvaranja čađe na tretiranoj površini [2].

Mehaničkom pripremom podloge, skidaju se korozijski produkti i druga nemasna onečišćenja. Također, postiže se određeni stupanj hrapavosti površine potreban za kvalitetno prijanjanje prevlake. Najčešći postupci mehaničke predobradbe su brušenje i poliranje abrazivima. Abrazivi mogu biti u obliku slobodnih (rasutih) zrnaca, odnosno zrnaca ugrađenih u obradna tijela ili alate, a razlikuju se po tvrdoći i veličini zrnaca. Nadalje, mehanička priprema podloge za prevlačenje se može obaviti četkanjem (grebanjem), četkama od žica ili vlakana, strojnim ili ručnim postupkom [2].

Kako bi se postigla određena hrapavost, koristi se postupak sa suhim ili mokrim mlazom čestica (zrnčenje). Ovisno o tvrdoći i veličini čestica, brzini radnog medija, te o upadnom kutu mlaza na tretiranu površinu, postiže se različit izgled površine. Nakon završenog tretiranja, površina se ispiru kako bi se uklonile čestice radnog medija, te se suši [2].

Najčešći način predobradbe čeličnih konstrukcija prije nanošenja premaza je pjeskarenje. Kod ovog postupka, tretiranu površinu udaraju sitne čestice pijeska (kvarcnog) velikom brzinom i pri tome uklanjaju korozijske produkte i ostale nečistoće s površine. Tvrdе čestice s oštrim bridovima uz mali upadni kut (ispod 30°) uglavnom skidaju strugotinu, a uz veći upadni kut i oblike bridove sve više dolazi do izražaja i utiskivanje mikroizbočina, lomljenje krhkih slojeva te površinsko otvrdnjavanje. Općenito, količina kinetičke energije koja se prenosi s čestice na podlogu, te da li će ona biti dovoljna da ukloni korozijske produkte, ostatke starog premaza i ostale nečistoće ovisi o [8,2]:

- brzini i masi abrazivnih čestica,
- načinu udara čestice,
- čvrstoći i tvrdoći podloge i
- čvrstoći i tvrdoći abrazivnih čestica.

Postoje dva postupka, suho i mokro pjeskarenje. Češće se koristi suho pjeskarenje, pri čemu se brzina abrazivnih čestica regulira pomoću tlaka komprimiranog zraka koji ispuhuje čestice. Uglavnom se radi o konstantnoj vrijednosti tlaka kod većine opreme, pa stoga utjecaj na način udara u podlogu ima masa korištenih abrazivnih čestica [8].

Kod mokrog postupka, mlaz vode zamjenjuje zrak kao radni medij. Brzina čestica u mlazu raste s porastom tlaka vode. Ovisno o tvrdoći i veličini čestica, brzini radnog medija, te o upadnom kutu mlaza na tretiranu površinu, postiže se različit izgled površine. Nakon završenog tretiranja, površina se ispire kako bi se uklonile čestice radnog medija, te se suši. Također, kod mokrog postupka postoji mogućnost korištenja samog mlaza vode, bez abrazivnih čestica. Važno je naglasiti kako se pri tome koriste vrlo visoki tlak i brzina izlaznog medija [2,8].

Kemijska priprema površine za prevlačenje obavlja se spontanom ili elektrolitičkim reakcijama. Osnovna podijela je na kemijske i elektrokemijske. Ovim postupkom se s površine uklanjaju korozijski produkti ili se kondicionira površina podloge (nemehaničko poliranje i nagrizanje) [2].

8. POLIMERNE KOMPOZITNE PREVLAKE ZA REPARATURU I ZAŠTITU

Polimerni kompoziti danas su izrazito razvijeni, te je njihova primjena u gotovo svim područjima industrije. Ono što ih ističe je njihova mogućnost primjene za radove reparature i zaštite materijala od kemijskih utjecaja. Pojedine tvrtke koje su usko specijalizirane na razvoj polimernih kompozita isključivo za te svrhe, danas imaju široku paletu proizvoda koje zadovoljavaju usko postavljene tolerancije ovisno o namjeni i području primjene.

Kada se govori o kompozitima za reparaturu oštećenih pozicija i konstrukcija, ono što polimerne kompozite ističe od ostalih rješenja je jednostavnost primjene, kratko vrijeme potrebno za obavljanje zahvata reparature i životni vijek. Vrijeme samog obavljanja sanacije oštećenja iznimno je važno kod procesnih industrija koje rade bez prestanka, a prekid rada pogona je samo zbog predviđenog remonta. U tom slučaju, ukoliko dođe do zastoja zbog oštećenja pojedinog dijela pogona, rezultat su veliki novčani gubici koji su proporcionalni trajanju zastoja. Tradicionalni način zamjene oštećenog dijela novim predstavlja dugotrajan i skup načina rješavanja problema, no kao alternativno rješenje nudi se primjena polimernih (epoksidnih) kompozitnih prevlaka čijom primjenom se troškovi zastoja smanjuju na minimum.

8.1. Polimerni kompoziti za reparaturu

Postoji više vrsta polimernih kompozita čija je opća namjena reparacija ili nadogradnja postojećih dijelova i konstrukcija. Jedan od takvih proizvoda je i *Super Metal*, proizvod tvrtke *Belzona*. Radi se dvokomponentnoj pasti čiju bazu čini legura silicijevog čelika, koja je pomiješana sa otvrdivačem, tj. reaktivnim polimernim molekulama visoke molekularne mase i oligomerima. Nakon otvrdnjivanja, kompozitna prevlaka je izdržljiva a ujedno i potpuno pogodana za strojnu obradu. Također, ova polimerna kompozitna prevlaka je cjenovno prihvatljiva i primjenjiva za razne popravke u industriji. U nastavku su navedena neka osnovna svojstva navedenog proizvoda, te područje primjene [9].

Prednosti korištenja *Super Metala* su [9]:

- pojednostavljenje postupaka u održavanju,
- smanjenje potrebe za rezervnim dijelovima,
- smanjenje vremena zastoja i
- povećanje sigurnosti (izbjegavaju se vrući postupci popravaka).

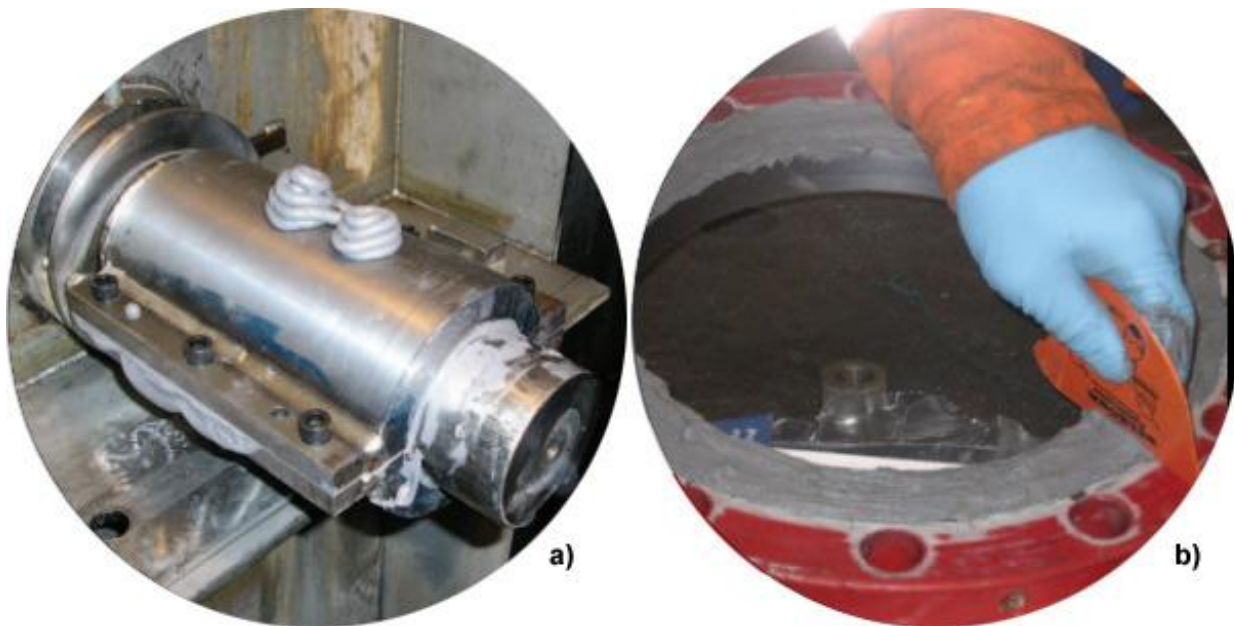
Super Metal se može primjenjivati bez potrebe za specijaliziranim alatima, a ujedno je otporan na koroziju i široku paletu kemikalija [9].

Mogućnosti primjene su sljedeće [9]:

- istrošeni ležajevi / izgledana osovina,
- istrošeni navoji,
- rasklimani klinovi na osovini,
- napukla i udubljena kućišta,
- oštećena postolja strojeva,
- deformirana kućišta / čahure ležajeva,
- deformirane prirubnice,
- probijeni spremnici,
- oštećeni hidraulički cilindri i
- napukle cijevi.

Vrijeme potrebno da postigne željeno otvrdnuće paste ovisi o temperaturi i debljini nanesenog sloja, pa stoga može varirati od nekoliko sati do nekoliko dana [9].

Na slici 8.1 je dan prikaz primjene *Super Metala* za pojedine popravke.



Slika 8.1. Primjer reparature upotrebom *Super Metala* [9]

a) popravak osovine na licu mjesta, b) popravak priрубnice

Iz navedenih primjera vidljivo je kako se upotrebom navedenog proizvoda oštećene pozicije vrlo brzo saniraju, čime su olakšani postupci održavanja i skraćeno vrijeme zastoja pogona.

8.2. Polimerni kompoziti za zaštitu materijala

Problem sa erozijom i korozijom prisutan je u gotovo svim procesnim industrijama gdje su prisutni razni mediji i fluidi. Radni mediji (tekućine i plinovi) te nepredvidivi okolišni uvjeti štetno djeluju na materijale konstrukcija i dijelova pogona, te dolazi do stvaranja oštećenja koja je potrebno na vrijeme sanirati s ciljem spriječavanja havarije cijelog pogona. Osim što se takva oštećenja mogu vrlo učinkovito sanirati upotrebom polimernih kompozitnih pasta, kako je pokazano u prethodnom primjeru, moguće je i poduzeti preventivne mjere. Naime, upotrebom polimernih kompozita u obliku zaštitnih premaza, ostvaruje se odlična zaštita materijala od erozije i korozije, a ujedno se može poboljšati i učinkovitost pojedinog stroja (pumpe). Polimerni kompozit *Supermetalgilde* tvrke *Belzona*, predstavlja iznimno kvalitetno rješenje za sanaciju i zaštitu dijelova pumpe koji su izloženi velikim opterećenjima i agresivnim medijima.

Supermetalglide je dvokomponentna smjesa koja se može nanijeti kistom ili mlaznicom. Naneseni zaštitni sloj osigurava zaštitu od erozijskih i korozijskih oštećenja, pri čemu ujedno i povećava učinkovitost rada pumpe [10].

Prednosti upotrebe ovakvih zaštitnih premaza su [10]:

- bolja učinkovitost protoka fluida,
- smanjena potreba za rezervnim dijelovima,
- osigurana zaštita od korozije i erozije, i
- duži radni vijek opreme.

Područja primjene polimernih kompozita za zaštitu materijala su sljedeća [10]:

- pumpe,
- izmjenjivači topline,
- spremnici vode,
- ventili,
- cijevi,
- pogonske sisaljke,
- filteri i cjediljke, te
- lopatice turbina.

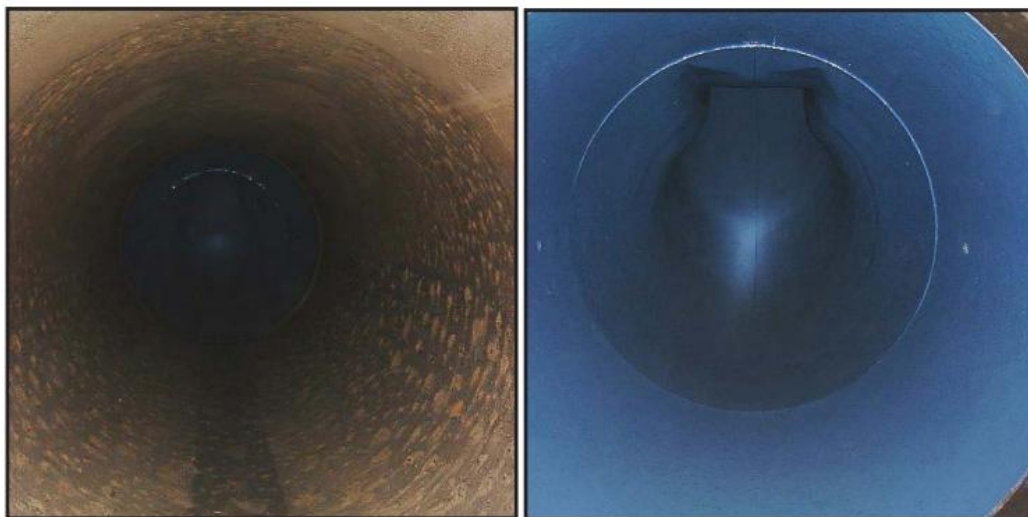
Supermetalglide se primjenjuje pri niskim temperaturama pa nema opasnosti od zapaljenja, ne sadrži otapala a ujedno je i ekološki prihvatljiv. Zbog odlične adhezije, postojan je pri pojavi kavitacije i otporan na abrazijska oštećenja [10].

Na sljedećim slikama prikazan je primjer upotrebe ovakve vrste zaštite na unutarnjim površinama pumpe i dobavnih cijevi rashladne industrijske vode.



Slika 8.2. Sustav dobave rashladne industrijske vode [11]

- a) cijevi za dobavu rashladne industrijske vode, b) usisna strana pumpe zaštićena premazom *Supermetalgilde*



Slika 8.3. Zaštita dobavnih cijevi industrijske rashladne vode [11]

- a) stupanj oštećenja unutrašnjosti dobavnih cijevi, b) unutrašnjost cijevi nakon nanesenog reparaturnog zaštitnog premaza

Na slici 8.3. vidi se kako su korozijska oštećenja sanirana upotrebom reparaturne zaštitne kompozitne polimerne prevlake. Također, ukoliko postoje veća oštećenja na unutrašnjoj stijenci dobavnih cijevi, prvo se izvodi reparatura upotrebom *Super Metala*, a zatim se nanosi zaštitni sloj *Supermetalgilde* premaza.

8.3. Mehanizam trošenja epoksidnih prevlaka uslijed kavitacije

Mnoge hidrauličke komponente su izložene teškim uvjetima tijekom rada, kao što su npr. velike brzine strujanja medija koji sadrži čestice i kavitacijska erozija, pri čemu mehanička svojstva materijala i hidrodinamički profil komponenti imaju presudan značaj. Utjecaj takvih agresivnih radnih uvjeta odražava se na skupo održavanje i troškove zastoja, te smanjuje učinkovitost. Kako bi se spriječilo nastajanje oštećenja izloženih dijelova, a ujedno i produžio njihov životni vijek, moguće je koristiti zaštitne kompozitne prevlake [10].

Istraživanja upotrebe keramičkih, kompozitnih i polimernih prevlaka s ciljem zaštite turbina od trošenja, pokazala su dobre rezultate što se tiče zaštite od erozije česticama [12].

Ipak, uslijed kavitacijskih uvjeta mnoge prevlake nisu pokazale zadovoljavajuće rezultate, što je uglavnom bilo posljedica problema sa prianjanjem podloge prevlake, te mikrostrukturnih oštećenja prevlake koja iniciraju kavitacijska udubljenja. Usprkos navedenim problemima, razvoj i istraživanje novih polimernih prevlaka prikladnih za zaštitu turbina i ostlih hidrauličkih postrojenja od kavitacije je opravdan nizom tehnoloških prednosti, uključujući jednostavnu primjenu, nanošenje pri okolišnoj temperaturi i mogućnost upotrebe na udaljenim područjima pri relativno niskim troškovima [12].

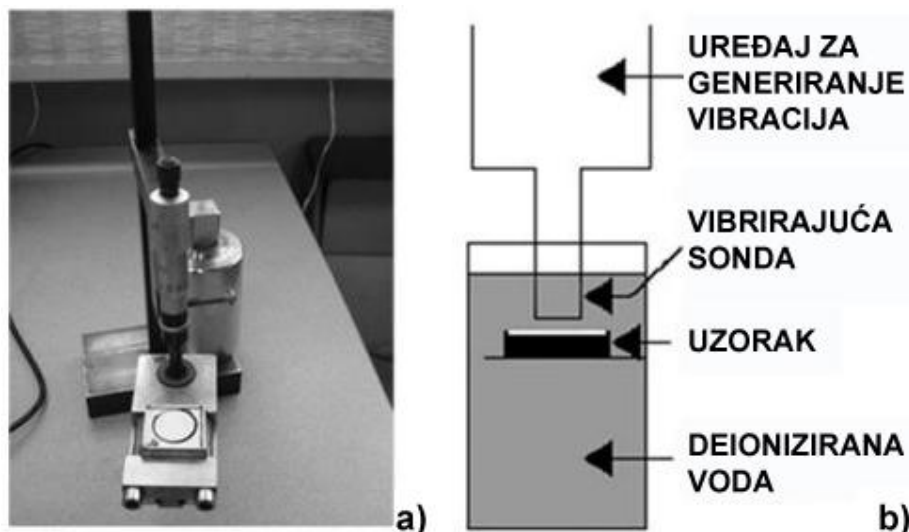
Rezultata istraživanja na području polimernih prevlaka su pokazali nekoliko značajnih činjenica [12]:

- premazi koji se sastoje od više različitih smola i punila su učinkoviti u zaštiti hidrauličkih turbina od erozije kada radni medij sadrži veliku koncentraciju tvrdih suspendiranih čestica,
- epoksidne smole sa TiO_2 i SiO_2 česticama pokazuju bolja mehanička svojstva, a ujedno smanjuju trošenje uslijed klizanja i koeficijent trenja.

Kavitacija predstavlja najveći problem u zaštiti materijala. Kako bi se ispitao mehanizam razaranja materijala uslijed kavitacije, jedno od istraživanja je provedeno na pločicama od ugljičnog i nehrđajućeg čelika, na koje je nanesena prevlaka na bazi epoksidne smole sa ojačavajućim česticama [12].

Korišten je premaz na bazi epoksidne smole sa česticama titan dioksida (TiO_2) i magnezijevog silikata ($56\% \text{SiO}_2 + 26\% \text{MgO} + 8\% \text{Fe}_2\text{O}_3 + 4\% \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO}$ preostali udio). Tri sloja premaza su nanešena na ravne pločice od ugljičnog ili nehrđajućeg čelika, i tri sloja temeljnog premaza na bazi epoksi fenola su korišteni kako bi se poboljšalo prijanjanje između podloge i premaza. Premazi su na pločice nanešeni ručno, osim jednog uzorka na koji je premaz nanešen uranjanjem [12].

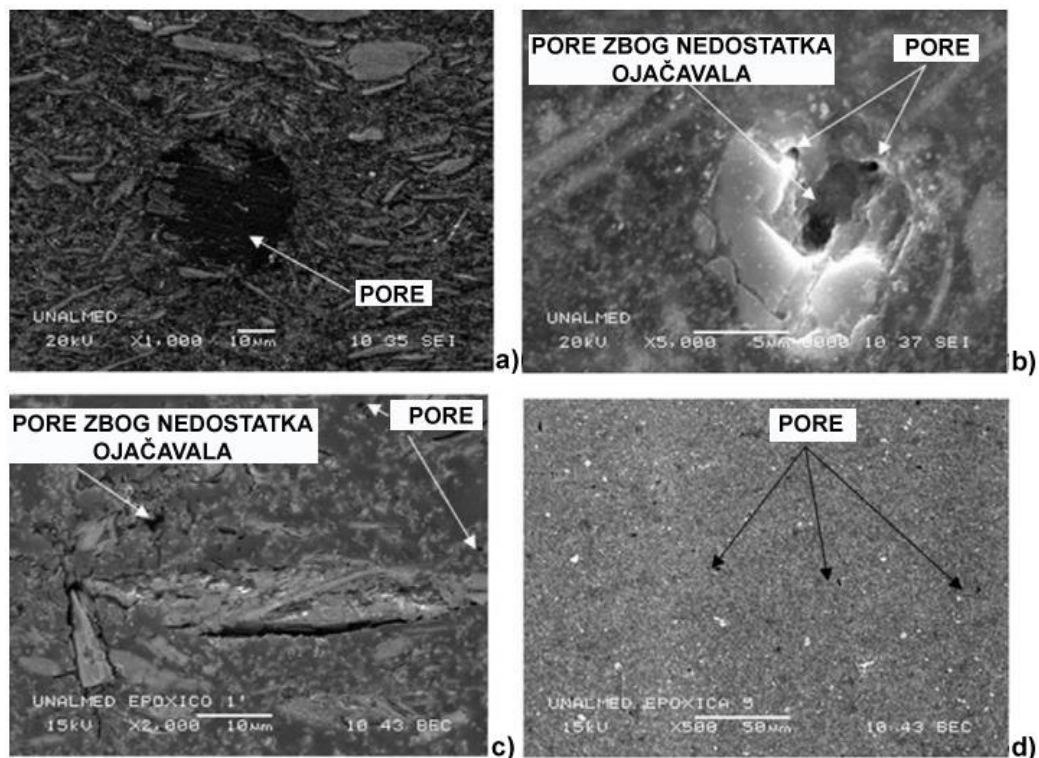
Utjecaj kavitacijske erozije ispitan je sukladno ASTM G32-03 normi na uređaju prikazanom na slici 8.4.



Slika 8.4. Uređaj za ispitivanje utjecaja kavitacijske erozije [12]

- a) držač ispitivanog uzorka, b) shematski prikaz pozicioniranja uzorka ispred vibrirajućeg uređaja

Na slici 8.5 je prikazana uobičajena veličina pora u premazu na pojedinom ispitnom uzorku.



Slika 8.5. Poroznost pojedinog uzorka s premazom [12]

a) uzorak 1, b) uzorak 2, c) uzorak 3, d) uzorak 4

Prosječna vrijednost poroznosti prikazana je u tablici 8.1.

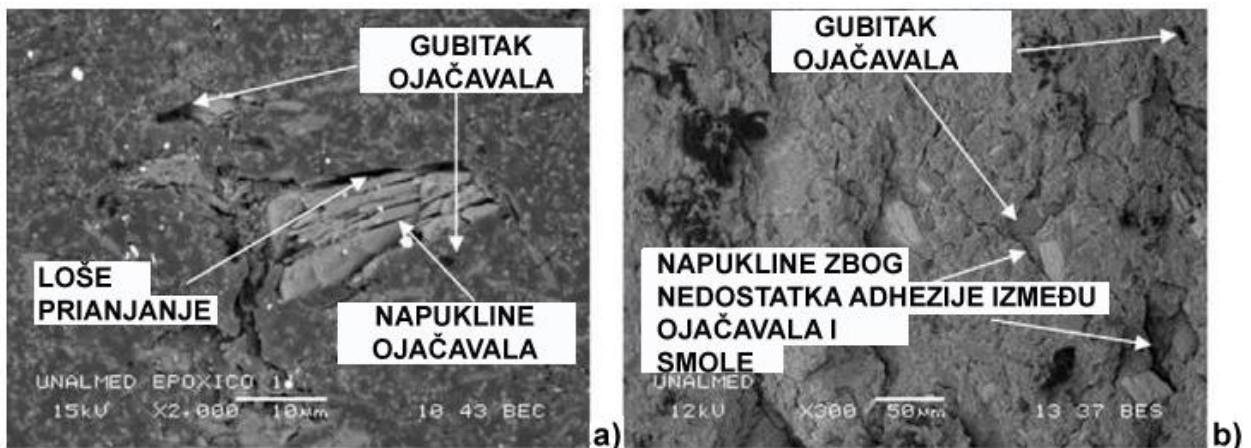
Tablica 8.1. Prosječne vrijednosti poroznosti [12]

Uzorak	Podloga	Način primjene	Punilo	Poroznost (%)
1	13-4 nehrđajući čelik ^a	Uranjanjem	TiO ₂ ^c + Magnezijev silikat ^d	10,51
2	ugljični čelik	Kistom	TiO ₂ ^c + Magnezijev silikat ^d	1,11
3	13-1 nehrđajući čelik ^b	Kistom	TiO ₂ ^c + Magnezijev silikat ^d	2,18
4	13-1 nehrđajući čelik	Kistom	TiO ₂ ^c + Magnezijev silikat ^d	2,22
5	13-1 nehrđajući čelik	Kistom	Bez punila	2,09
PUR-HS	13-4 nehrđajući čelik	Kistom	TiO ₂ ^c + Magnezijev silikat ^d	7,65
PUAD/127	13-4 nehrđajući čelik	Kistom	TiO ₂ ^c + Magnezijev silikat ^d	1,80
a-ASTM A743 ocijena CA6NM nehrđajući čelik				
b-ASTM A743 ocijena CA15M nehrđajući čelik				
c-Prosječna veličina TiO ₂ punila je 0,32 μm				
d-Magnezijev silikat je pokazao bimodalnu distribuciju čestica, sa srednjim vrijednostima od 10 μm i 38 μm				

Govoreći općenito, poroznost je smanjena za oko 2% na uzorcima gdje je premaz nanesen ručno. Uzorak s premazom koji je nanešen uranjanjem, imao je poroznost puno veću od prosječne, što je posljedica prisutnosti mjehurića zraka zarobljenih u smoli prije otvrdnuća. Također, u svim uzorcima nedostatak ojačavajuće faze je utjecao na povećanje poroznosti [12].

S obzirom na prijanjanje premaza na podlogu od nehrđajućeg čelika, može se zaključiti kako je kut kvašenja pri korištenju epoksidne fenolne smole kao temeljnog premaza za prevlačenje iznimno loš. Razlog tome je niska površinska energija nehrđajućeg čelika, koja je povezana sa svojstvenom pasivnošću metala u vlažnom okruženju, te se onemogućava vezivanje između temeljnog premaza i aktivne površine [12].

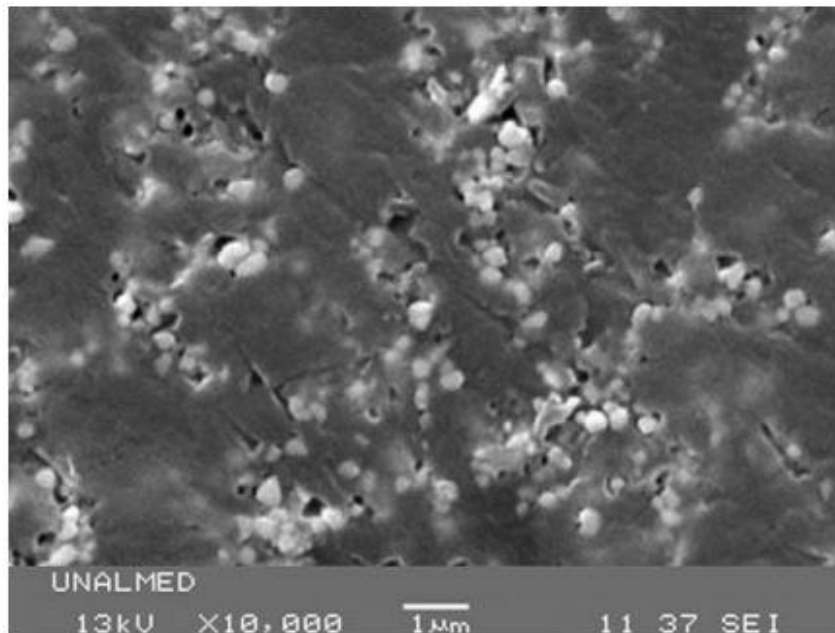
Osim nedostatka prijanjanja između podloge i temeljnog premaza, problem s kutom kvašenja također postoji između ojačavala i smole. Kao rezultat toga dolazi do laganog odvajanja ojačavala iz prevlake prilikom kavitacijskog ispitivanja. Na slici 8.6 a) je prikazana indikacija diskontinuiranosti između ojačavala i smole, dok se na slici 8.6 b) vidi odvojenost ojačavala nakon testa kavitacijom [12].



Slika 8.6. Izgled površine premaza nakon ispitivanja utjecaja kavitacije [12]

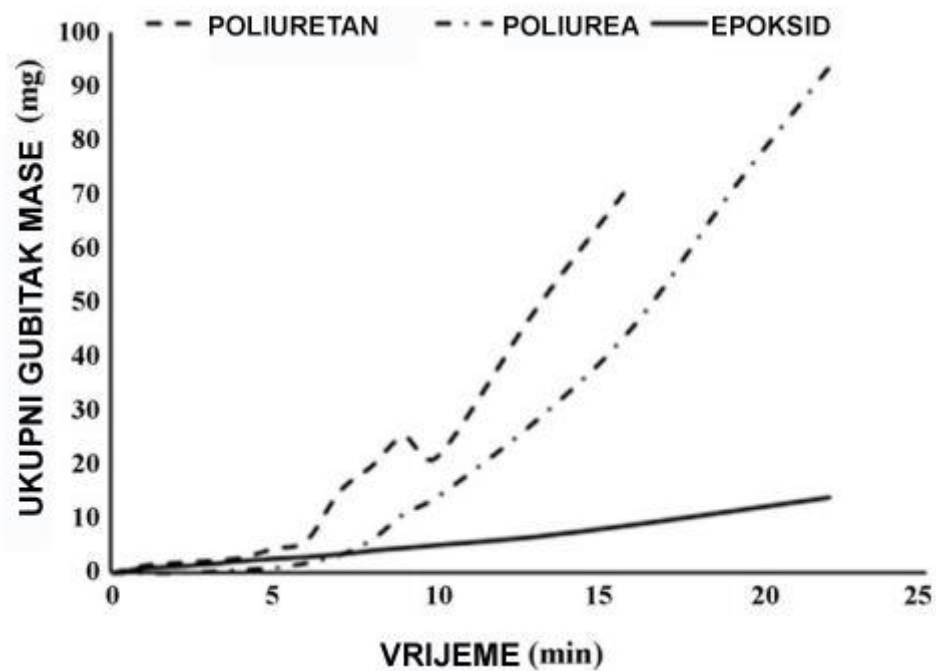
- a) indikacija diskontinuiranosti između ojačavala i smole,
- b) odvajanje ojačavala nakon testa kavitacijom

Slika 8.7 pokazuje mikrostrukturalna oštećenja nastala odvajanjem TiO_2 čestica, koje je povećalo poroznost prevlake [12].



Slika 8.7. Mikrostrukturalna oštećenja nastala odvajanjem TiO_2 čestica [12]

Na slici 8.8 prikazan je sveobuhvatni rezultat utjecaja kavitacije na poliuretane, poliureu i reprezentativnu epoksidnu smolu, pri čemu je jasno vidljivo superiorno svojstvo epoksidne smole [12].



Slika 8.8. Gubitak mase pojedinih prevlaka uslijed testa kavitacijom [12]

Na temelju dobivenih rezultata ispitivanja, pokazano je kako najbolju otpornost trošenju s obzirom na vrijeme inkubacije, ima uzorak bez ojačavala, te zatim slijede uzorci koji su sadržavali samo TiO_2 čestice. Kod uzoraka koji su sadržavali magnezijeve silikatne čestice prisutan je značajan gubitak mase bez inkubacijskog vremena. Također, kod uzorka s izraženom poroznošću, trošenje je bilo najveće zbog pora koje su djelovale kao pukotine koje iniciraju trošenje [12].

Nakon perioda inkubacije, prevlake koje su sadržavale samo TiO_2 čestice imale su manja oštećenja uslijed erozije od prevlaka bez ojačavala, dok su uzorci s česticama magnezijeva silikata najmanje otporni na eroziju [12].

Na temelju dobivenih rezultata, zaključak je kako su epoksidne prevlake bez čestica najotpornije na kavitacijske utjecaje, dok prevlake sa TiO_2 česticama imaju najbolju postojanost prema erozijskom trošenju. Također, značajnu ulogu na mehanizam trošenja ima poroznost same prevlake [12].

8.4. Abrazijsko-erozijsko trošenje materijala

Pojam trošenje podrazumijeva oštećenje površine ili odstranjenje materijala s jedne ili obje strane dviju čvrstih površina koje su u dodiru tijekom gibanja. Trošenje nije svojstvo materijala, već predstavlja odgovor danog tribosustava. Elementi koji utječu na tribološka svojstva sustava su hrapavost površine, mehanizam adhezije, trenje, trošenje, te fizikalna i kemijska interakcija između međudjelujućih površina. Uglavnom do trošenja dolazi preko površinskih interakcija na neravninama [13].

Posljedice trošenja materijala su potpuno uklanjanje materijala s površine ili samo premještanje materijala prema dodirnim površinama. U slučaju prijenosa materijala s jedne na drugu površinu, konačni volumen ili gubitak mase na međupovršini je nula, dok kod oštećenja materijala uslijed trošenja dolazi do gubitka volumena, tj. mase materijala [13].

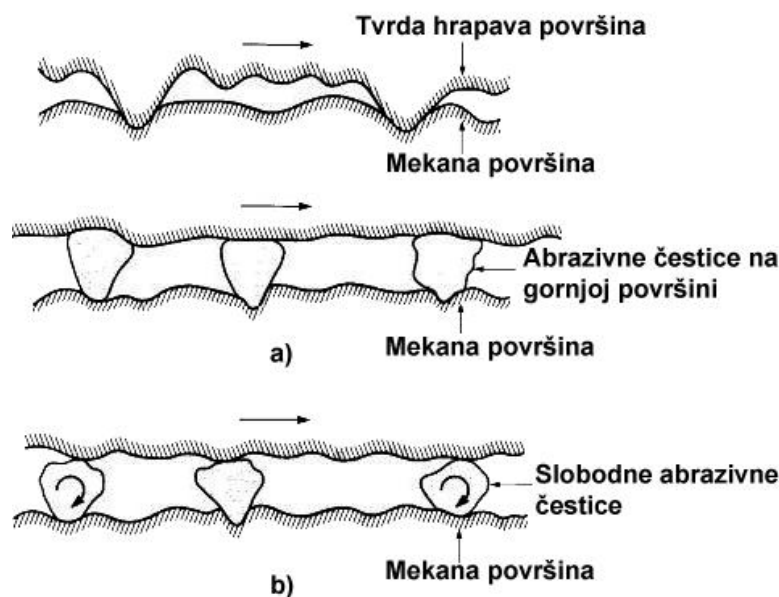
Do trošenja dolazi na mehanički i/ili kemijski način i općenito se taj proces ubrzava uslijed zagrijavanja trenjem.

Osnovni mehanizmi trošenja su [13]:

- adhezijski,
- abrazijski,
- zamor,
- efekt erozije i sudara,
- kemijski (ili korozijski) i
- inducirani električnim lukom.

Mehanizmi trošenja ne javljaju se kao pojedinačni, te se obično radi o kombinaciji adhezijskih, korozijskih ili abrazijskih načina trošenja. Trošenje se inicira jednim mehanizmom, a zatim nastavlja nekim drugim mehanizmom [13].

Abrazijsko trošenje nastaje kada neravnine hrapave tvrde površine ili tvrde čestice klize po mekšoj površini i oštećuju površinu pomoću plastične deformacije ili loma. Mehanizam trošenja ove vrste uključuje istiskivanje materijala uzrokovano tvrdim česticama ili izbočinama (slika 8.9) [13].

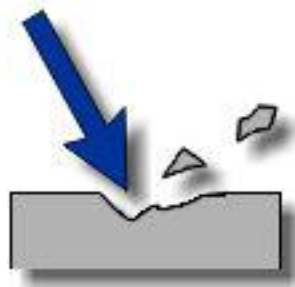


Slika 8.9. Shematski prikaz abrazijskog trošenja [13]

a) hrapava tvrda površina s abrazivskim česticama klizi po mekšoj površini (operacije brušenja, rezanja), b) slobodne abrazivne čestice između površina (operacije poliranja)

Značajnu ulogu na volumen trošenja uslijed abrazije ima hrapavost površina. U uvjetima elastičnog kontakta površina, abrazijsko trošenje opada s porastom hrapavosti površine, dok u uvjetima plastičnog kontakta, brzina abrazijskog trošenja raste s hrapavošću površine [13].

Erozijsko trošenje nastaje uslijed djelovanja djelića fluida (sa ili bez krutih čestica nošenih fluidom) koji velikim brzinama udaraju o površinu tijela (slika 8.10) [14].



Slika 8.10. Shematski prikaz erozijskog trošenja [14]

Jačina erozije najvećim dijelom ovisi o brzini i kutu udara čestica, te njihovoj tvrdoći. Postoje dva osnovna oblika erozije [14]:

- erozija tupoga kuta - gdje se većina energije troši na deformaciju površine. Zaštita od ove vrste trošenja zahtijeva elastični zaštitni sloj, najčešće elastomer.
- erozija oštrog kuta - proces koji je sličan abraziji i rezanju. Kako bi se smanjila stopa trošenja, potrebna je velika tvrdoća same površine.

Neki od načina smanjenja erozijskog trošenja su [14]:

- eliminacija krutih čestica iz fluida,
- promjena kuta udara fluida o površinu,
- smanjenje relativne brzine fluida,
- izbor pogodnog materijala, te
- dodatne izmjene površine materijala u cilju poboljšanja njegovih karakteristika.

9. EKSPERIMENTALNI DIO

9.1. Uvod

U eksperimentalnom dijelu rada, ispitivana su fizikalna i kemijska svojstva dvije vrste polimernih kompozitnih prevlaka. Radi se o proizvodima *Super Metal* i *Super E-Metal*, tvrtke *Belzona*. Ispitivanja su provedena na Fakultetu strojarstva i brodogranje u Zagrebu, u Laboratoriju za zaštitu materijala i Laboratoriju za tribologiju.

Ispitivanje kemijskih svojstava prevlaka provedeno je na tri različita načina. Po jedan uzorak od svakog proizvoda ispitan je na korozijsku postojanost u 5% otopini NaCl u slanoj komori, otpornost na 40% otopinu natrij-hidroksida (NaOH), te otpornost na 10% otopinu kloridne kiseline (HCl).

Ispitivanje fizikalnih svojstava dvije vrste prevlaka provedeno je na dva načina. Prvi, gdje su ispitana abrazijska i erozijska svojstva otpornosti prevlaka nakon nanošenja i otvrdnuća, te drugi, gdje su otvrdnute prevlake prije ispitivanja abrazijske i erozijske otpornosti 24 sata bile uronjene u 10% otopinu HCl.

Za ispitivanje navedenih svojstava prevlaka, izrađene su tri vrste ispitivanih uzoraka. Ispitivanje abrazijskih i erozijskih svojstava prevlaka provedeno je na tri uzorka za svaki proizvod, dok je ispitivanje postojanosti prevlaka na koroziju, te kiselu i lužnatu otopinu, ispitano na jednom uzorku za svaku vrstu proizvoda.

Pri tome, za ispitivanje abrazijskih svojstava prije i nakon uranjanja u 10% otopinu HCl, korišteni su isti uzorci (ali je ispitivanje izvršeno na dvije različite površine prevlake). Također, prvo je obavljeno ispitivanje otpornosti na abrazijsko trošenje prije, a zatim nakon uronjenosti 24 sata u 10% otopinu HCl.

Za ispitivanje otpornosti prevlaka na erozijsko trošenje nakon uronjenosti 24 sata u 10% otopinu HCl, napravljeni su novi ispitni uzorci (tri uzorka), jer je prilikom ispitivanja čitava površina prevlake u kontaktu sa erozivnim česticama, te se ispitivanje nije moglo obaviti na uzorcima korištenim u prvom ispitivanju.

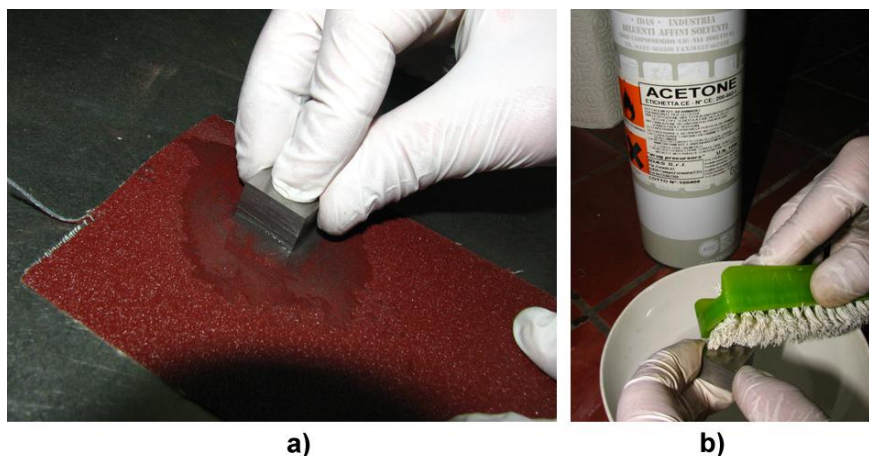
9.2. Priprema uzoraka

Uzorci na kojima su provedena ispitivanja su od niskougličnog konstrukcijskog čelika, oznake S185, sukladno EN normi. Postupak nanošenja prevlaka zahtijeva nekoliko potrebnih predoperacija, a to su:

- čišćenje površine uzoraka na koju će se nanositi prevlaka,
- pranje očišćenih uzoraka u acetonu, kako bi se uklonile masne tvari i preostale nečistoće, te
- hrapavljenje površine kako bi se osiguralo kvalitetno prijanjanje prevlake na podlogu.

Čišćenje površine uzoraka provedeno je korištenjem brusnog papira (oznake P120) i destilirane vode, pri čemu su mehaničkim putem uklonjeni korozijski produkti i ostale nečistoće sa površine uzorka, slika 9.1 a).

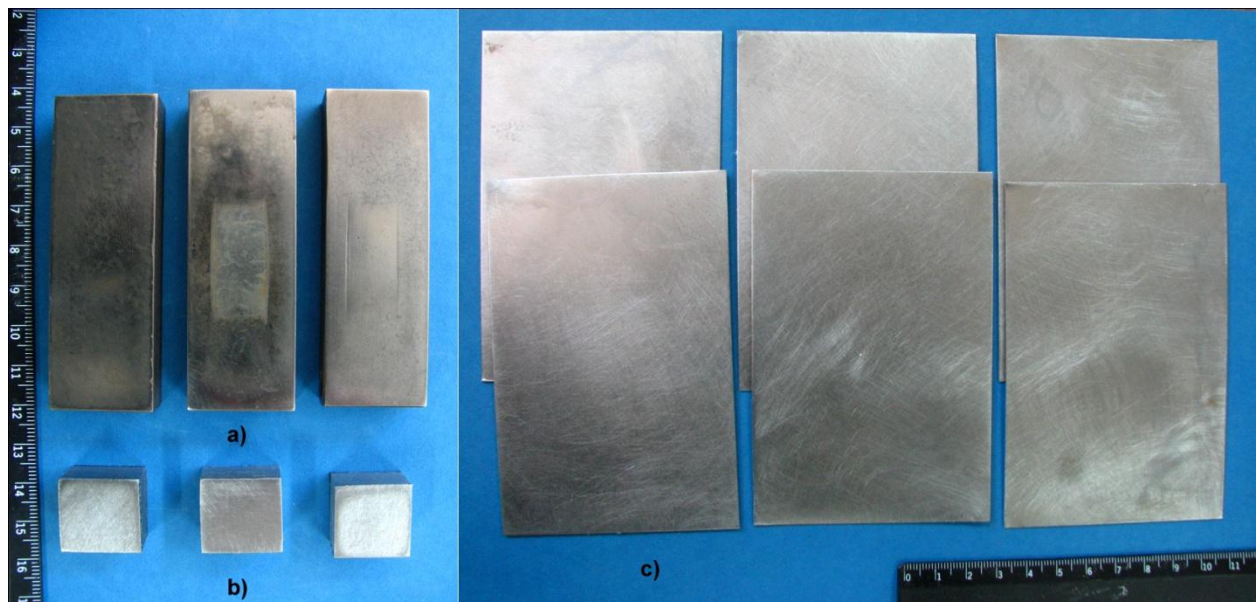
Nakon mehaničkog čišćenja brusnim papirom, uzorci su očišćeni u acetonu, koristeći pamučnu krpicu i četkicu, slika 9.1 b).



Slika 9.1. Čišćenje površine uzoraka prije nanošenja prevlake [15]

a) mehaničko čišćenje površine brusnim papirom, b) uklanjanje masnoće i preostalih nečistoća u acetonu

Izgled uzoraka nakon provedenih postupaka prikazan je na slici 9.2.

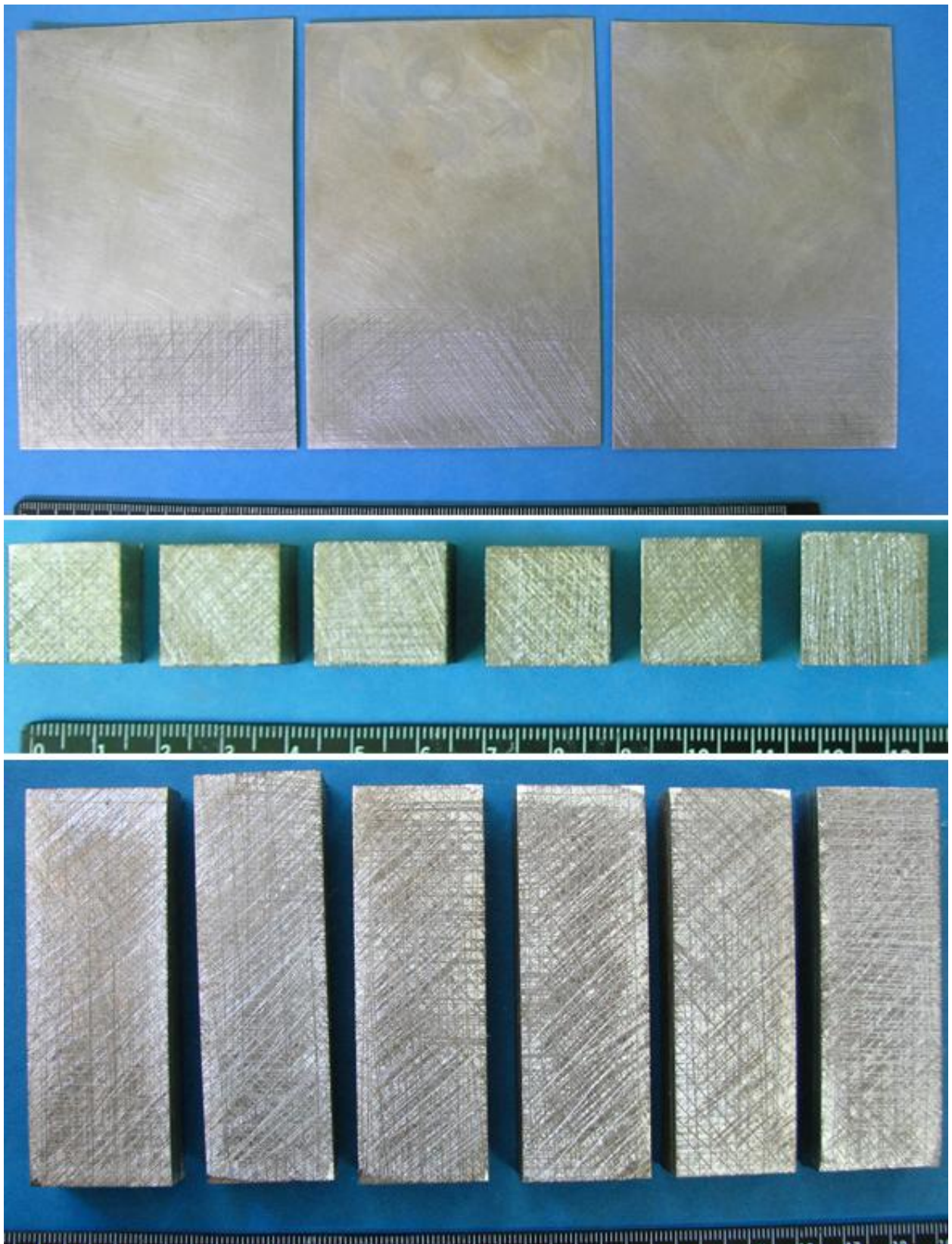


Slika 9.2. Uzorci nakon čišćenja površine na koju će se nanijeti prevlaka [15]

- a) uzorci za ispitivanje abrazijske otpornosti, b) uzorci za ispitivanje erozijske otpornosti, c) uzorci za ispitivanje kemijske postojanosti

Nakon što je površina očišćena, potrebno je osigurati dovoljnu hrapavost površine, tj. povećati površinu koja sudjeluje u adhezijskom vezivanju prevlake na podlogu. U uputama proizvođača ispitivanih proizvoda, preporučeno je pjeskariti površinu na koju se aplicira proizvod, čime se postiže najkvalitetnije prijanjanje za podlogu.

S obzirom na relativno male površine uzoraka na kojima će se vršiti ispitivanje, hrapavljenje je izvršeno ručno upotrebom turpije i skalpela, u četiri smjera. Također, nakon postupka hrapavljenja površine, uzorci su opet oprani u acetonu kako bi se uklonile masnoće i čestice nastale prilikom postupka hrapavljenja. Na slici 9.3 prikazani su uzorci spremni za nanošenje prevlaka.



Slika 9.3. Uzorci s nahrapavljenom površinom spremni za nanošenje prevlaka [15]

9.3. Nanošenje polimernih kompozitni prevlaka na uzorke

Prevlake koje će se nanositi na uzorke su dvokomponentne paste (baza + otvrdivač), koje se koriste za reparaturu oštećenih metalnih pozicija, a ujedno pružaju zaštitu od korozije i kemijskih utjecaja. Radi se proizvodima *Super Metal* i *Super E-Metal*, tvrtke *Belzona*.

Super Metal je reparaturni polimerni (epoksidni) materijal, ojačan s keramičkom ispunom. Proizvod je primjenjiv za razne popravke u industriji, pojednostavljuje postupke održavanja, smanjuje vrijeme zastoja, a jedna od važnijih značajki je sigurnost pri apliciranju, jer se izbjegavaju vrući postupci [9].

Najvažnije prednosti ovog proizvoda su [9]:

- velika čvrstoća,
- iznimna otpornost na toplinu,
- otpornost na koroziju i
- izvrsna otpornost na kemikalije.

Super E-Metal, brzostežuća je pasta za hitne popravke, koja se sastoji od polimernog veziva (epoksidnog) ojačanog dodacima keramičkog i metalnog tipa. Proizvod je strojno obradiv te se može koristiti za trajno spajanje, nadogradnju i popravke metalnih komponenti. Također, pruža zaštitu od korozije i otporan je na široku paletu kemikalija [16].

Najvažnije prednosti ovog proizvoda su [16]:

- velika čvrstoća u kratkom vremenu,
- izvrsna adhezivna svojstva,
- brzo vraćanje opreme u rad,
- otpornost na koroziju i
- dobra otpornost na kemikalije.

Na slici 9.4 prikazani su proizvodi čija će se fizikalna i kemijska svojstva ispitivati.



Slika 9.4. Dvokomponentni polimerni kompoziti, *Super Metal* i *Super E-Metal* [15]

Kako se radi o dvokomponentnim pastama, prije samog miješanja potrebno je odrediti točnu količinu pojedine komponente proizvoda. Moguća su dva načina određivanja odgovarajuće količine, volumno i maseno.

U tablici 9.1 navedeni su osnovni podaci iz dokumentacije proizvođača o načinu miješanja, te radna vremena u zavisnosti od okolišne temperature (detaljniji podaci u Prilogu 1 i Prilogu 2).

Tablica 9.1. Upute za miješanje i apliciranje proizvoda

VRSTA PROIZVODA	OMJER MIJEŠANJA, baza : otvrđivač		Radno vrijeme (vrijeme raspoloživo za apliciranje nakon miješanja komponenti)	
	VOLUMNO [cm ³]	MASENO [g]	Temperatura, [°C]	Vrijeme, [min]
Super Metal	3 : 1	5 : 1	5	35
			15	25
			25	15
Super E-Metal	1 : 1	2 : 1	5	5
			15	4
			25	3

Za ispitivanja u ovom radu, odabrano je miješanje komponenata na temelju masenih udijela. Kako bi se odredila potrebna količina pojedine komponente, korištena je digitalna vaga *Kern-EMB 2200-0* rezolucije 1 g (slika 9.5), Laboratorija za zaštitu materijala, FSB u Zagreb.



Slika 9.5. Digitalna vaga *Kern-EMB 2200-0* [15]

Na slici 9.6 prikazani su nož i špahtla za nanošenje paste na pripremljenu podlogu.



Slika 9.6. Pribor za miješanje i nanošenje proizvoda [15]

Nož se koristi za miješanje većih količina proizvoda, te njihovo nanošenje na relativno pristupačne površine, dok špahtla služi za nanošenje manjih količina na površinama koje su zaobljene, udubljene ili površine u kutevima i sl., kao što je slikovno prikazano na samoj špahtli.

Kako su površine ispitivanih uzoraka relativno male, za miješanje i nanošenje pasta korištena je metalna lopatica (slika 9.7) i dvije plastične špahtle, pri čemu je jedna špahtla korištena kao podloga za miješanje sastavnih komponenti, a druga je korištena za skidanje viška nanosene paste sa uzoraka.



Slika 9.7. Pribor korišten za miješanje i nanošenje prevlaka na uzorke [15]

Kako bi se spriječilo prijanjanje izmješanih komponenti na plastičnu špahtlu, na kojoj je provedeno miješanje, korištena je otopina prikazana na slici 9.8.



Slika 9.8. Otopina za premazivanje površina na koje izmješana pasta ne smije prijanjati [15]

Otopina sprječava da se izmješana pasta poveže za podlogu alata korištenog pri nanošenju, te ujedno olakšava kasnije čišćenje korištenog pribora. Nakon što su površine za koje se izmješana pasta ne smije primiti premazane otopinom, potrebno ih je ostaviti da se dobro osuše. Također, osim špahtle na kojoj je provedeno miješanje komponenti, premazana je i površina druge špahtle pomoću koje se uklonio višak nanese paste sa uzoraka.

Postupak određivanja količine pojedine komponente proizvoda sastojao se od sljedećih koraka:

- određivanje mase plastične špahtle na kojoj će se vršiti miješanje komponenti pomoću digitalne vage ($m_{\text{špahtle}}=13 \text{ g}$),
- stavljanje bazne komponente proizvoda u proizvoljnoj količini na špahtlu, te određivanje sveukupne mase vaganjem,
- izračunavanje mase bazne komponente, tako da se od ukupne mase oduzela masa špahtle ($m_{\text{baze}}=m_{\text{špahtla+baza}}-m_{\text{špahtla}}$),
- na temelju poznate mase komponente baze, sukladno propisanom omjeru za maseno miješanje za pojedini proizvod (tablica 9.1), određena je potrebna količina druge komponente, tj. otvrđivača.

Na slici 9.9 prikazano je određivanje potrebne količine pojedine komponente proizvoda *Super Metal*, te njegovo miješanje prije nanošenja na ispitne uzorke.

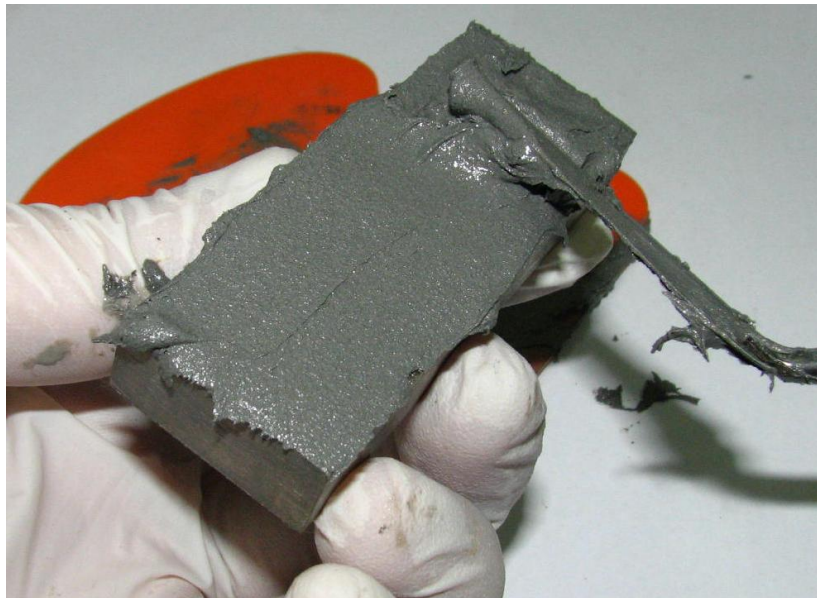


Slika 9.9. Priprema paste *Super Metal* prije nanošenja [15]

- a) određivanje količine baze, b) vaganje i određivanje potrebne količine otvrdivača,
c) miješanje obje komponente

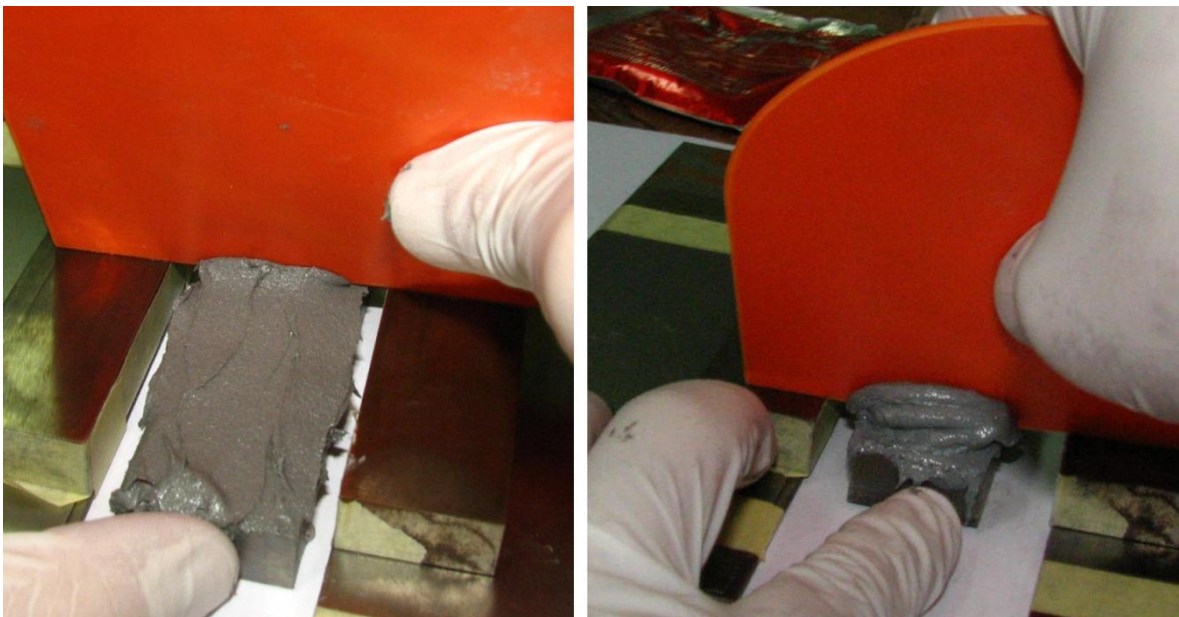
Temperatura pri kojoj se obavljalo miješanje i nanošenje prevlaka, iznosila je (25 ± 2) °C, te su vremena za apliciranje pojedinog proizvoda bila u skladu s podacima navedenim u tablici 9.1.

Nakon što su dvije komponente dobro izmješane, te je postignuta jednolika sivkasta boja, pasta je spremna za nanošenje. Na slici 9.10 prikazano je nanošenje prevlake na uzorke za ispitivanje otpornosti na abrazijsko trošenje u Laboratoriju za zaštitu materijala, FSB u Zagrebu.



Slika 9.10. Nanošenje *Super Metala* na ispitni uzorak [15]

Prilikom apliciranja proizvoda na uzorke, korištena je metalna lopatica. Naneseni sloj paste jednoliko je raspodijeljen po čitavoj površini, u nešto debljem sloju (~3 mm). Nakon toga, uzorak je stavljen u improvizirani kalup prikazan na slici 9.11 gdje se pomoću plastične špahtle uklonio višak paste.

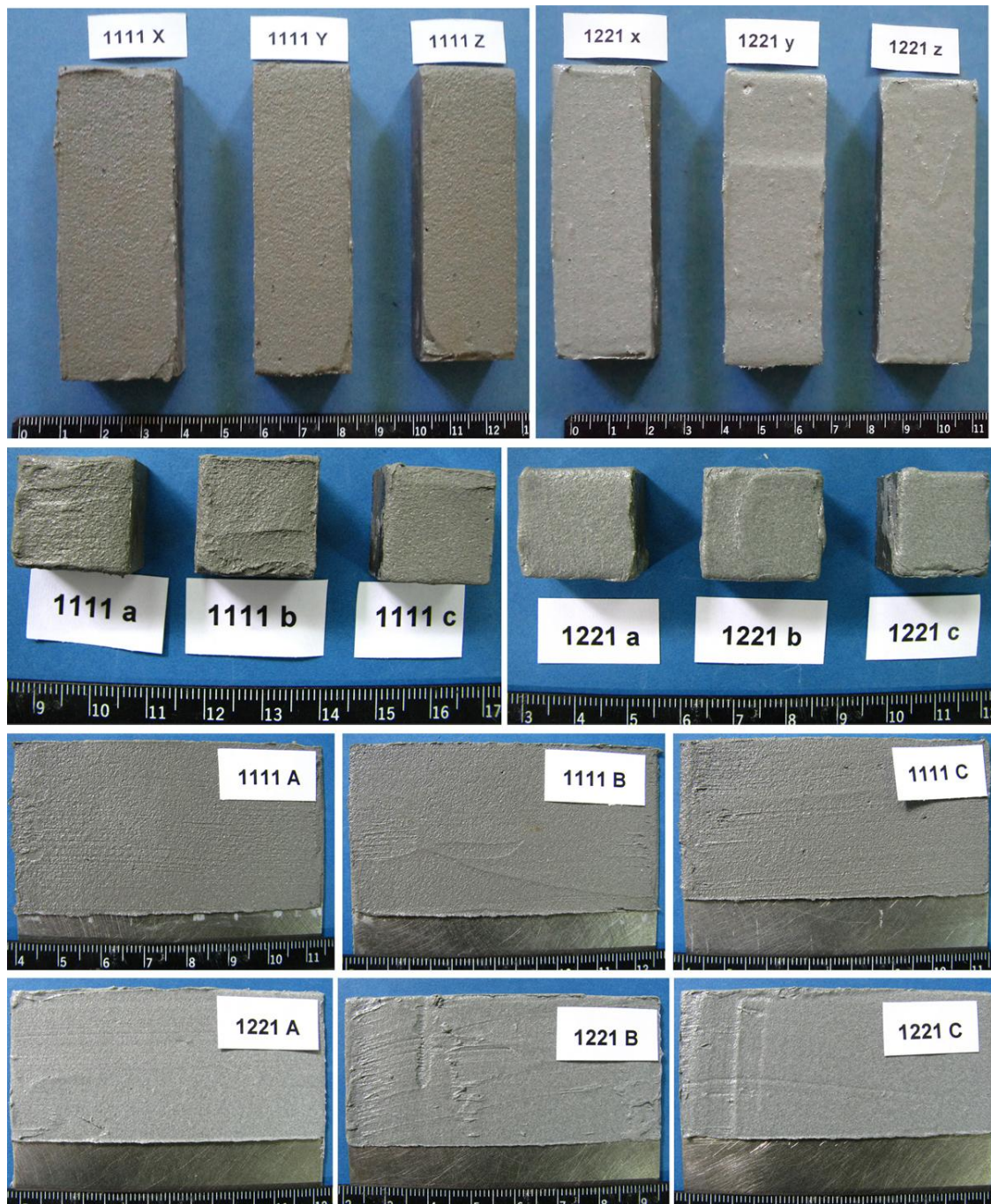


Slika 9.11. Uklanjanje viška paste u improviziranom kalupu [15]

Pri tome je visina kalupa, tj. vodilica po kojima će se vući plastična špahtla, unaprijed prilagođena kako bi se prilikom uklanjanja viška paste ujedno dobila i relativno jednolika debljina prevlake na ispitnom uzorku.

Postupak nanošenja prevlaka na ostale uzorke obavljen je na isti način za obje vrste proizvoda, pri čemu je ovisno o vrsti uzorka na koji se nanosila prevlaka, modificirala visina kalupa kako bi se dobila određena debljina prevlake.

Izgled uzoraka nakon nanošenja i otvrdnuća obje vrste prevlaka prikazan je na slici 9.12, pri čemu uzorci sa oznakama 1111 imaju prevlaku od *Super Metala*, dok oni sa oznakom 1221 imaju prevlaku od *Super E-Metala*.



Slika 9.12. Uzorci sa nanesenim prevlakama [15]

Nakon otvrdnuća prevlaka, uočljiva je razlika u izgledu površine kod pojedinog proizvoda, pa tako prevlake od *Super Metala* imaju veću hrapavost od prevlaka *Super E-Metala*.

9.4. Ispitivanje debljine prevlaka na uzorcima

Nakon što su nanesene prevlake otvrdnule, izmjerena je debljina na svakom uzorku. Postupak određivanja debljine prevlaka proveden je uz pomoć uređaja *QuaNix 1500*, sukladno normi ISO 2808, u Laboratoriju za zaštitu materijala, FSB u Zagrebu (slika 9.13).



Slika 9.13. Mjerenje debljine prevlake uređajem *QuaNix 1500* [15]

Uređaj ima dvije mjerne sonde, od kojih se jednom mjeri debljina na principu vrtložnih struja (za podloge od nemagnetičnih materijala), dok se drugom sondom mjeri debljina prevlaka na temelju magnetske indukcije (za magnetske materijale podloge). Uređaj ima mogućnost spremanja svih mjerenja u tzv. *blokove*. Nakon što su sva mjerenja obavljena, uređaj se spaja na računalo, te se svi dobiveni rezultati iščitavaju.

Kako su korišteni uzorci od niskougličnog čelika, za mjerenje debljine prevlake koristila se mjerna sonda na principu magnetske indukcije.

Također, na uzorcima za ispitivanje otpornosti na abrazijsko trošenje i kemijskih svojstava, izvršeno je deset ponavljanja na različitim mjestima pojedinog uzorka. Kako su uzorci za ispitivanje otpornosti na erozijsko trošenje malih dimenzija, kod njih je izvršeno pet mjerenja za svaki uzorak, na različitim mjestima površine prevlake.

U tablici 9.2 prikazani su podaci dobiveni nakon iščitavanja rezultata mjerenja na računalu.

Tablica 9.2. Debljine prevlaka na pojedinim uzorcima

UZORAK	Min. debljina prevlake, [μm]	Maks. debljina prevlake, [μm]	Prosječna debljina, [μm]	Standardna devijacija, [μm]
1111 A	388	519	434	46,9
1111 B	242	522	382	82
1111 C	268	437	360	53
1111 a	839	871	859	13
1111 b	850	1040	928	84,4
1111 c	879	937	906	22,7
1111 X	577	656	614	20
1111 Y	464	507	487	14,7
1111 Z	535	580	560	13,4
1111 D	577	656	614	20
1111 E	464	507	487	14,7
1111 F	535	580	560	13,4
1111 d	508	542	520	13,8
1111 e	434	471	458	14,7
1111 f	565	629	600	29,4

Tablica 9.2. Debljine prevlaka na pojedinim uzorcima (nastavak)

UZORAK	Min. debljina prevlake, [μm]	Maks. debljina prevlake, [μm]	Prosječna debljina, [μm]	Standardna devijacija, [μm]
1221 A	144	227	182	29,8
1221 B	152	263	216	39,5
1221 C	354	579	427	75,4
1221 a	550	702	631	60,4
1221 b	669	714	688	19,2
1221 c	428	469	450	16,8
1221 x	571	731	657	49,4
1221 y	414	658	560	75,3
1221 z	367	665	551	93,4
1221 D	571	731	657	49,4
1221 E	414	658	560	75,3
1221 F	367	665	551	93,4
1221 d	967	1090	1010	48,8
1221 e	405	1060	660	244
1221 f	1030	1830	1210	346

Odstupanja u debljini prevlaka na pojedinim uzorcima iz iste skupine (npr. uzorci za ispitivanje otpornosti na abrazijsko trošenje), rezultat su nanošenja ručnim postupkom, te ujedno malih odstupanja u visini pojedinog uzorka. Stoga je prilikom uklanjanja viška nanosene paste sa površine u improviziranom kalupu, negdje dobivena tanja, odnosno deblja prevlaka.

9.5. Ispitivanje kemijskih svojstava prevlaka

Premazi i prevlake za zaštitu materijala biraju se na temelju uvjeta u radnoj okolini. Tako je prilikom nanošenja premaza/prevlake bitno znati da li je tokom rada pozicija izložena atmosferskim utjecajima, agresivnim kemikalijama (kiseline i lužine) ili kombinaciji navedenih.

Primarna zadaća svih zaštitnih premaza je spriječiti koroziju i trošenje podloge. Kako postoji više oblika korozije, od kojih svaki nastaje u određenim uvjetima, često se od premaza zahtjeva široko područje zaštite. Pri ispitivanju otpornosti na koroziju proizvoda *Super Metal* i *Super E-Metal*, korištena je slana komora.

Također, ispitano je kako se prevlake navedenih proizvoda ponašaju kada su uronjene u kiselu (10% HCl) i lužnatu (40% NaOH) otopinu, tj. da li se razgrađuju i gube zaštitna svojstva.

9.5.1. Ispitivanje korozijske postojanosti prevlaka u slanoj komori

Ispitivanjem u slanoj komori, simulira se izlaganje ispitivanog uzorka morskoj atmosferi. Na slici 9.14 prikazana je slana komora Laboratorija za zaštitu materijala, FSB u Zagrebu, korištena za provedbu ispitivanja otpornosti prevlaka na koroziju u 5% otopini NaCl.



Slika 9.14. Slana komora *Ascott-S450* [15]

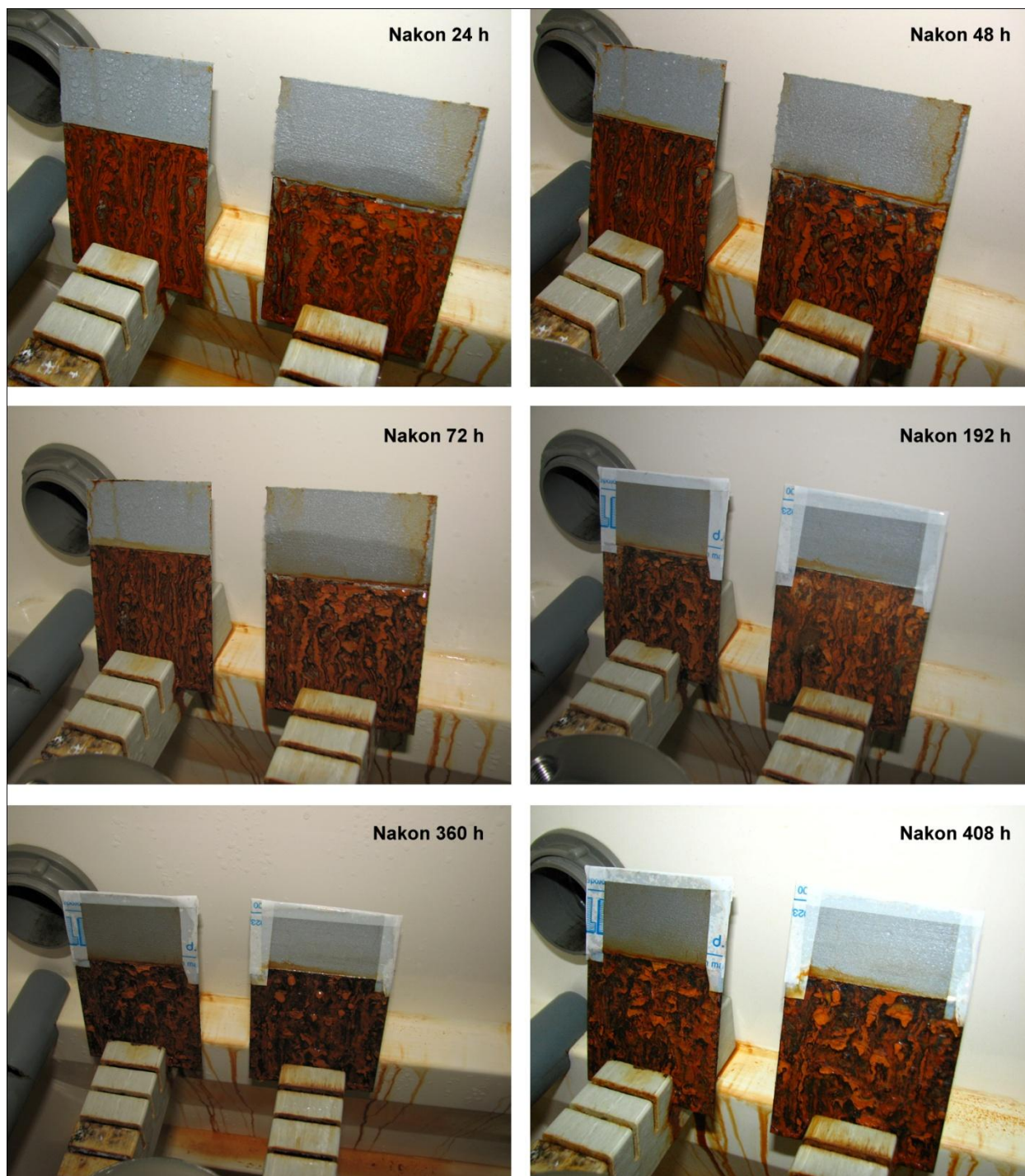
Ispitivanje je provedeno sukladno normi HRN ISO 9227. Vrijeme trajanja ispitivanja je dvadeset dana, odnosno 480 sati, pri čemu je u međuvremenu vršena kontrola ispitivanih uzoraka.

Svi značajni parametri unutar slane komore prilikom ispitivanja dani su u tablici 9.3.

Tablica 9.3. Parametri unutar slane komore tijekom ispitivanja

Parametar ispitivanja	Vrijednosti/uvjeti ispitivanja
Trajanje ispitivanja, [h]	480
Temperatura ispitnog prostora, [°C]	35±0,1
Volumen ispitnog prostora, [l]	450
Temperatura ovlaživača komprimiranog zraka, [°C]	47
Tlak komprimiranog zraka, [bar]	0,7-1,4
Korištena otopina	NaCl
Koncentracija korištene otopine [%]	5
Količina sakupljenog kondenzata, [ml / 80cm ² /h]	1,5±0,5
pH vrijednost kondenzata pri 25±2 °C	6,5-7,2
Provodljivost destilirane vode, [μS/cm] pri 25±2 °C	≤10

Na slici 9.15 prikazan je izgled ispitivanih uzoraka tijekom provedenih kontrola. Kako je nakon određenog vremena došlo do korodiranja nezaštićenih rubova na uzorcima, curenje kondenzata po prevlaci ostavilo je tragove. Kako bi se spriječilo daljnje prljanje prevlake prilikom cijeđenja kondenzata, rubovi ispitivanih uzoraka su zaštićeni ljepljivom trakom.



Slika 9.15. Izgled ispitivanih uzoraka u slanoj komori [15]

Nakon dvadeset dana, uzorci su izvađeni iz slane komore i oprani u destiliranoj vodi, te zatim osušeni na zraku. Izgled prevlaka nakon što su oprane i osušene prikazan je na slici 9.16.



Slika 9.16. Ispitivani uzorci nakon 20 dana u slanoj komori [15]

Na slikama 9.17 i 9.18 prikazan je detaljniji pogled na površinu prevlake svakog uzorka.



Slika 9.17. Detaljan prikaz površine prevlake od *Super Metala* nakon 20 dana u slanoj komori [15]



Slika 9.18. Detaljan prikaz površine prevlake od *Super E-Metala* nakon 20 dana u slanoj komori [15]

Kod oba ispitivana uzorka nisu primjećena korozijska oštećenja na dijelu gdje je nanesa prevlaka. Na nezaštićenom dijelu površine uzoraka vidljiva je jaka opća korozija.

9.5.2. Ispitivanje postojanosti prevlaka u 10% otopini HCl

Za ispitivanje postojanosti prevlaka u kiselim otopinama, korištena je 10% otopina HCl. Fizikalno kemijska svojstva korištene otopine, ispitana su na pH-metru/konduktometru (*Mettler Toledo*), prikazanom na slici 9.19.



Slika 9.19. pH-metar/konduktometar (*Mettler Toledo*) [15]

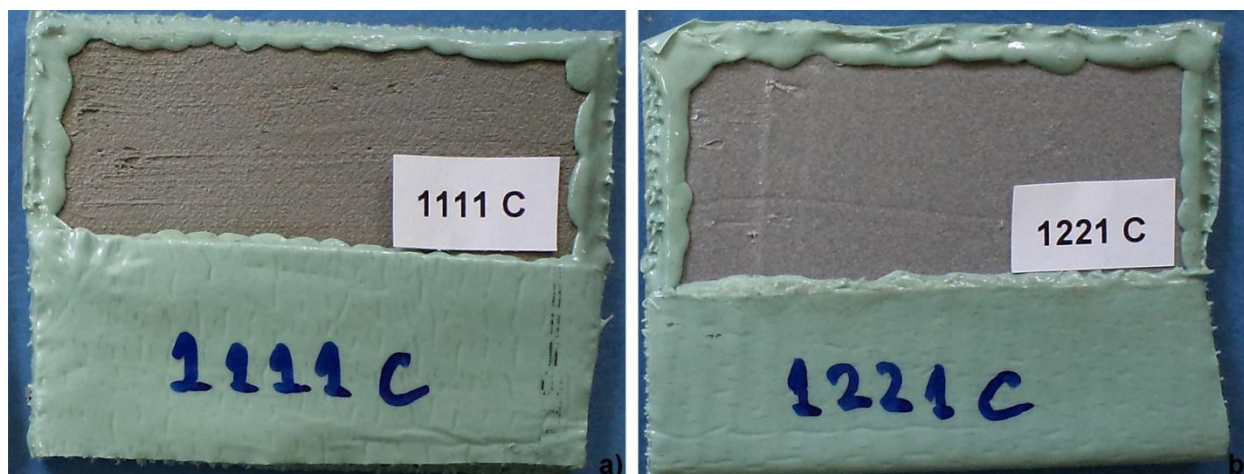
Uređaj ima dvije mjerne sonde kojima se ispituju pojedina svojstva otopine (pH, vodljivost, otpor elektrolita itd.).

Podaci dobiveni ispitivanjem otopine prikazani su u tablici 9.4.

Tablica 9.4. Svojstva 10% otopine HCl

PARAMETRI	
Vodljivost (eng. Conductivity), [mS/cm]	43,8
Ukupne otopljene čvrste tvari (TDS), [g/L]	22,1
Salinitet (SAL), [ppt]	27,21
Otpor elektrolita Res, [Ω .cm]	2,53 E+0,1
pH	~0,5
Apsolutni potencijal elektrolita, [mV]	434,4
Relativni potencijal elektrolita, [mV]	2,5

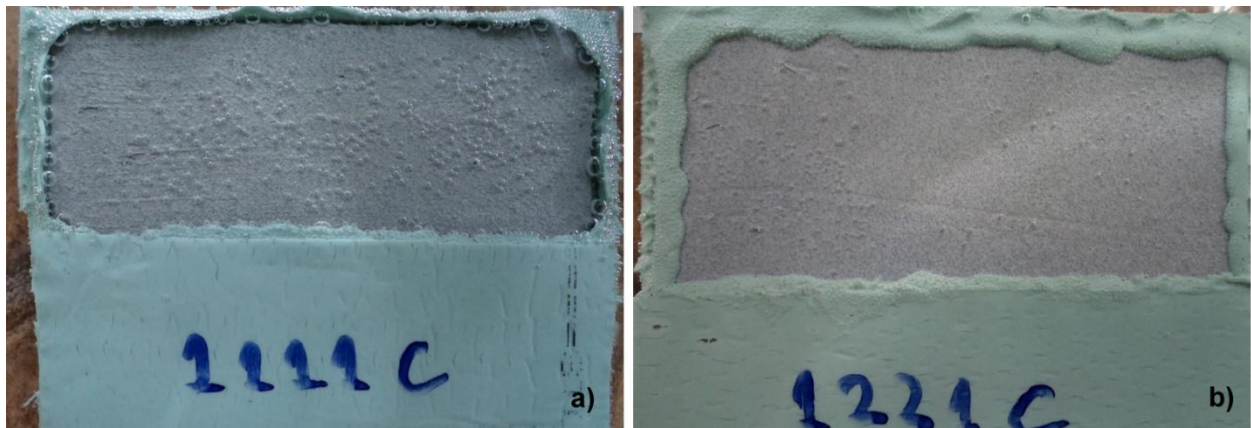
Kako bi se spriječilo nagrizanje ostalih površina ispitivanih uzoraka na kojima nije nanescna prevlaka, korištena je zaštitna traka *Stopaq*. Izgled pripremljenih uzoraka za ispitivanje otpornosti prevlaka na kiselu otopinu prikazan je na slici 9.20.



Slika 9.20. Uzorci pripremljeni za ispitivanje u 10% otopini HCl [15]

a) *Super Metal* prevlaka, b) *Super E-Metal* prevlaka

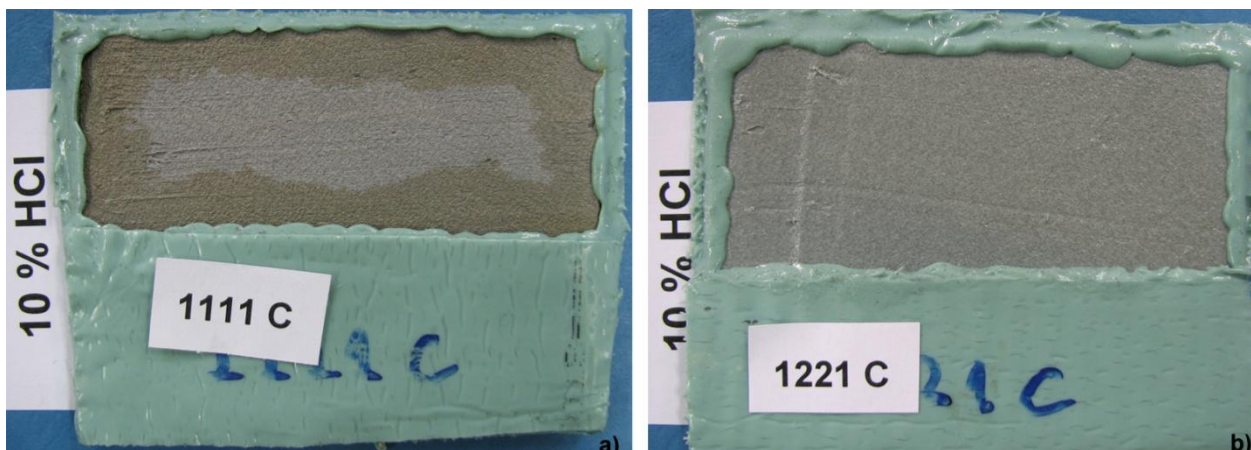
Ispitivanje je provedeno na način da su uzorci potpuno uronjeni u posudu sa kiselim otopinom, te su nakon 24 sata izvađeni. Na slici 9.21 prikazani su uzorci uronjeni u kiselu otopinu tijekom ispitivanja.



Slika 9.21. Uzorci u kiseljoj otopini tijekom ispitivanja [15]

a) *Super Metal* prevlaka, b) *Super E-Metal* prevlaka

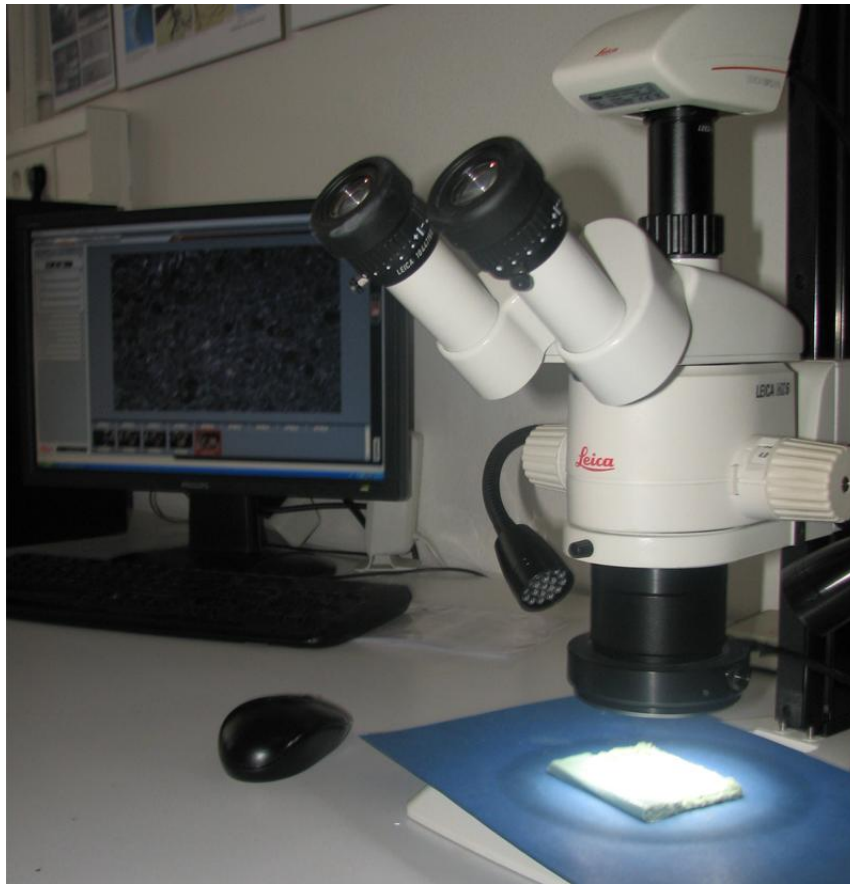
Nakon što su uzorci izvađeni iz otopine, oprani su u destiliranoj vodi, te ostavljeni da se osuše na zraku. Na slici 9.22 prikazan je izgled površine pojedine prevlake nakon pranja i sušenja.



Slika 9.22. Oprani i osušeni uzorci nakon ispitivanja u kiseljoj otopini [15]

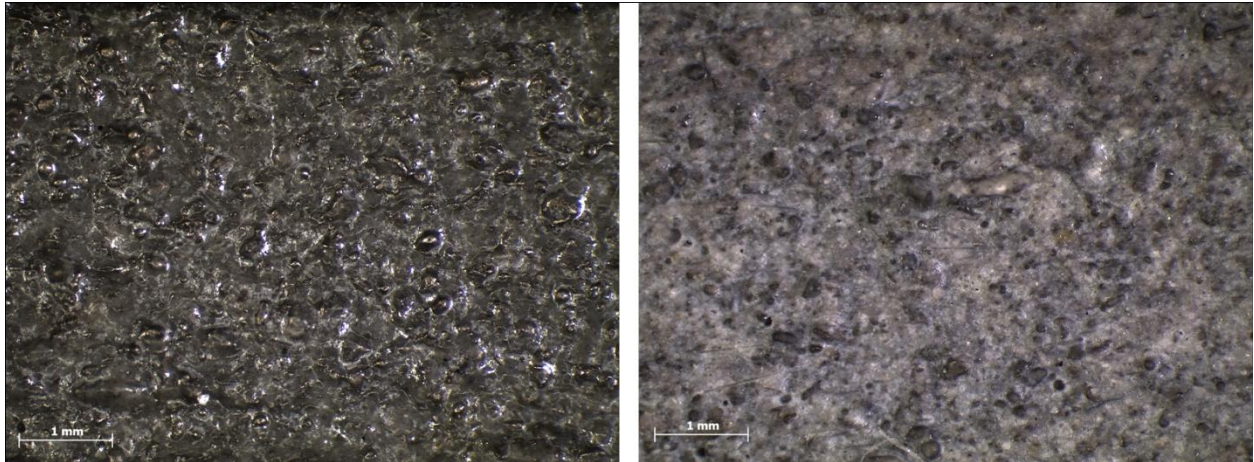
a) *Super Metal* prevlaka, b) *Super E-Metal* prevlaka

Kako se na površini prevlake nisu dogodile značajne promjene, obavljena je analiza površine pomoću modularnog stereomikroskopa *Leica MZ6* prikazanog na slici 9.23, uz primjenu *Leica Application suite V3* software-a.

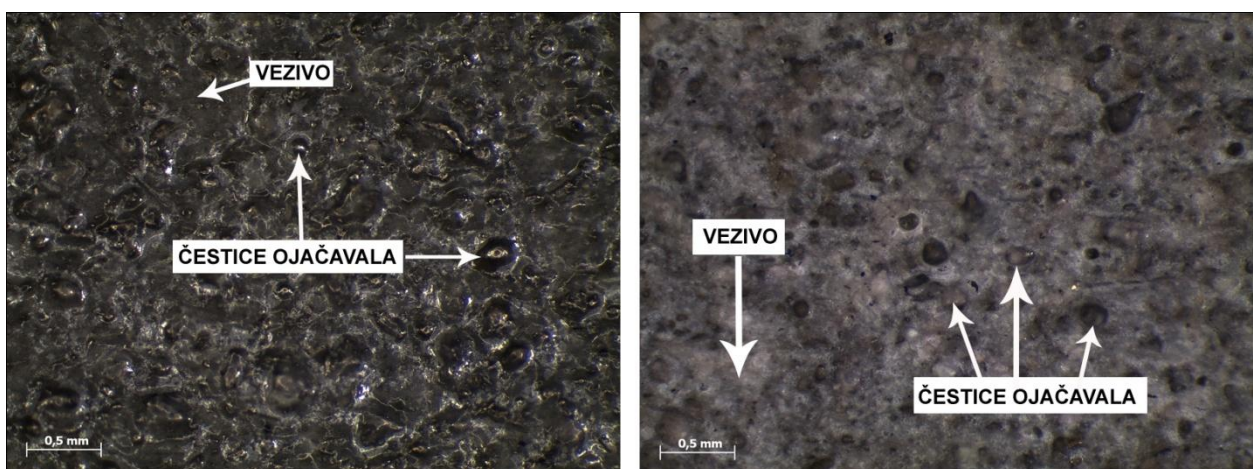


Slika 9.23. Modularni stereomikroskop *Leica MZ6* [15]

Na sljedećim slikama prikazan je izgled pojedine prevlake prije i nakon ispitivanja u kiseloj otopini.

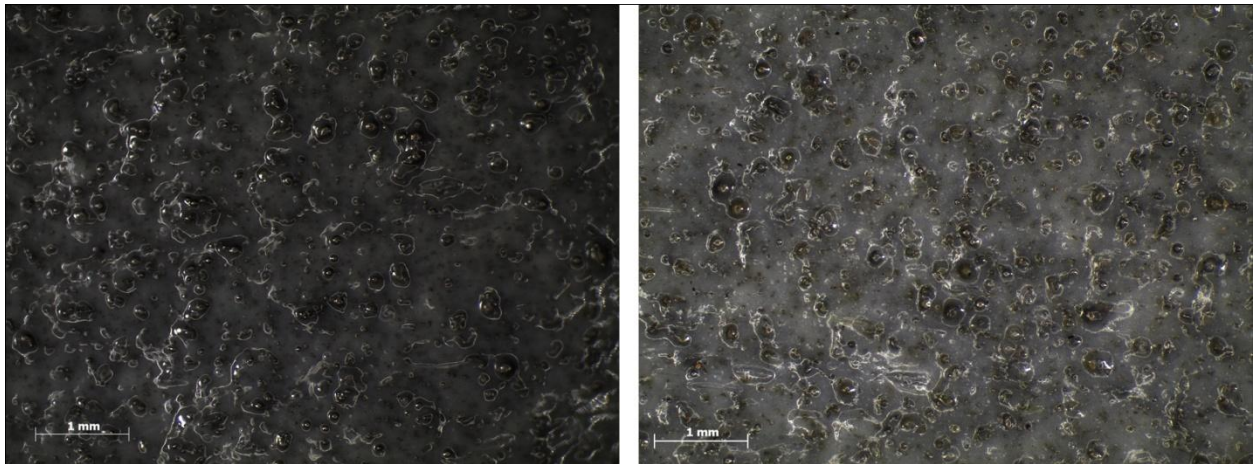
Prije ispitivanja**Nakon ispitivanja**

Slika 9.24. Prevlaka od *Super Metala* prije i nakon ispitivanja u 10% otopini HCl (povećanje 25 puta) [15]

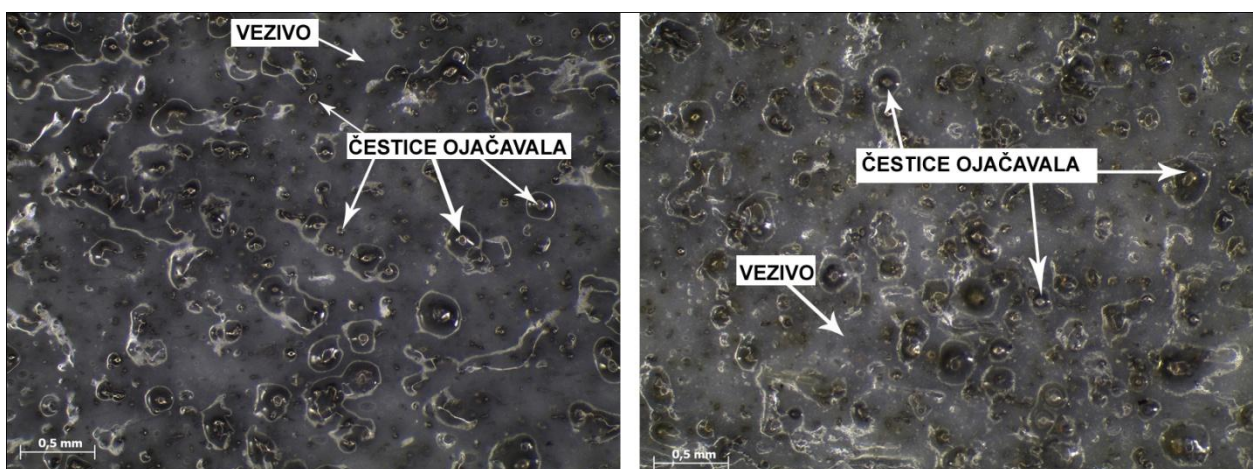
Prije ispitivanja**Nakon ispitivanja**

Slika 9.25. Prevlaka od *Super Metala* prije i nakon ispitivanja u 10% otopini HCl (povećanje 40 puta) [15]

Nakon ispitivanja u kiseloj otopini, primjećeno je površinsko oštećenje veziva, što se može objasniti vizualno uočljivijim česticama ojačavala, no ipak nije došlo do njihovog odvajanja iz prevlake.

Prije ispitivanja**Nakon ispitivanja**

Slika 9.26. Prevlaka od *Super E-Metala* prije i nakon ispitivanja u 10% otopini HCl (povećanje 25 puta) [15]

Prije ispitivanja**Nakon ispitivanja**

Slika 9.27. Prevlaka od *Super E-Metala* prije i nakon ispitivanja u 10% otopini HCl (povećanje 40 puta) [15]

Kao i kod prevlaka od *Super Metala*, uočljiva su manja oštećenja površinskog sloja veziva, no u manjoj mjeri. Također, vidljivo oštećenje veziva nije uzrokovalo odvajanje čestica ojačavala iz prevlake.

9.5.3. Ispitivanje postojanosti prevlaka u 40% otopini NaOH

Za ispitivanje postojanosti prevlaka u lužnatoj otopini, korištena je 40% otopina natrij-hidroksida (NaOH). Podaci o fizikalno kemijskim svojstvima otopine dobiveni korištenjem pH-metra/konduktometra, navedeni su u tablici 9.5.

Tablica 9.5. Svojstva 40% otopine NaOH

PARAMETAR	
Vodljivost (eng. Conductivity), [mS/cm]	130,3
Ukupne otopljene čvrste tvari (TDS), [g/L]	65,5
Salinitet (SAL), [ppt]	-
Otpor elektrolita Res, [Ω .cm]	7,67 E+0
pH	13,131
Apsolutni potencijal elektrolita, [mV]	-346
Relativni potencijal elektrolita, [mV]	-5,1

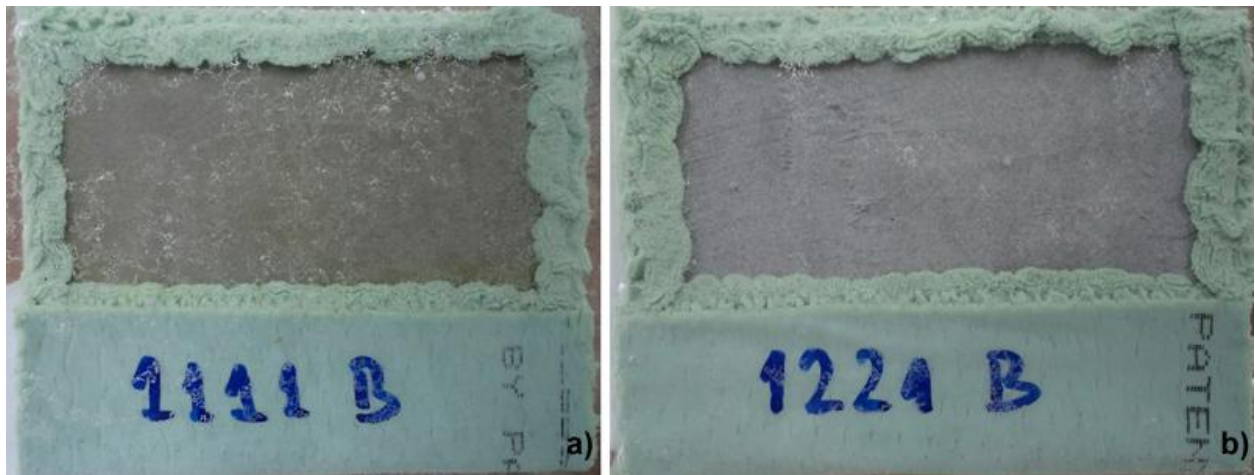
Kao i kod ispitivanja postojanosti prevlaka u kiseloj otopini, na ispitivanim uzorcima su *Stopaq* trakom zaštićene površine na kojima nije nanesena prevlaka. Izgled pripremljenih uzoraka prije uranjanja u lužinu prikazan je na slici 9.28.



Slika 9.28. Uzorci pripremljeni za ispitivanje u 40% otopini NaOH [15]

a) *Super Metal* prevlaka, b) *Super E-Metal* prevlaka

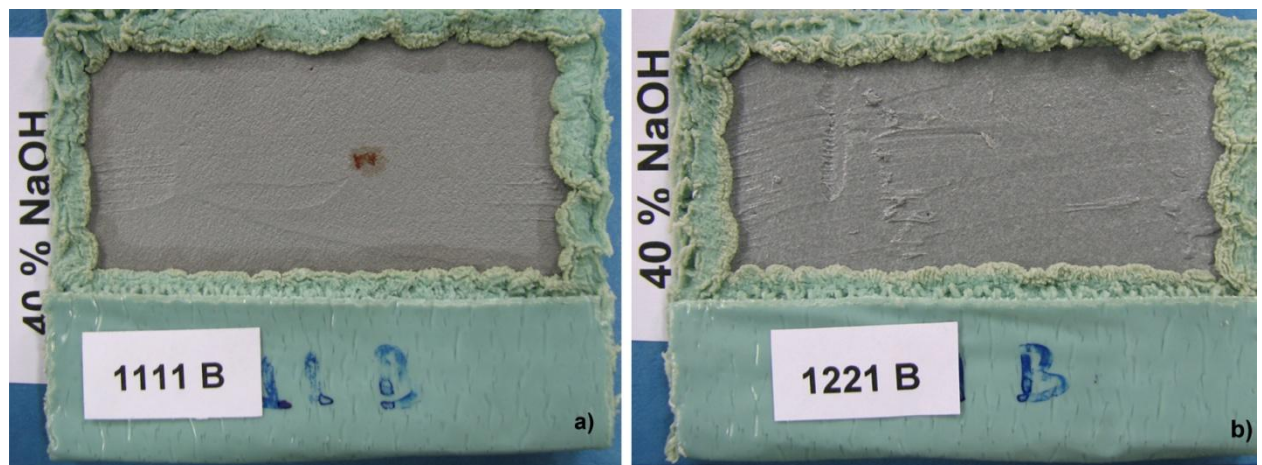
Postupak ispitivanja isti je kao i za kiselu otopinu. Uzorci su potpuno uronjeni u otopinu, te nakon 24 sata izvađeni. Izgled uzoraka tijekom ispitivanja prikazan je na slici 9.29.



Slika 9.29. Uzorci u lužnatoj otopini tijekom ispitivanja [15]

a) *Super Metal* prevlaka, b) *Super E-Metal* prevlaka

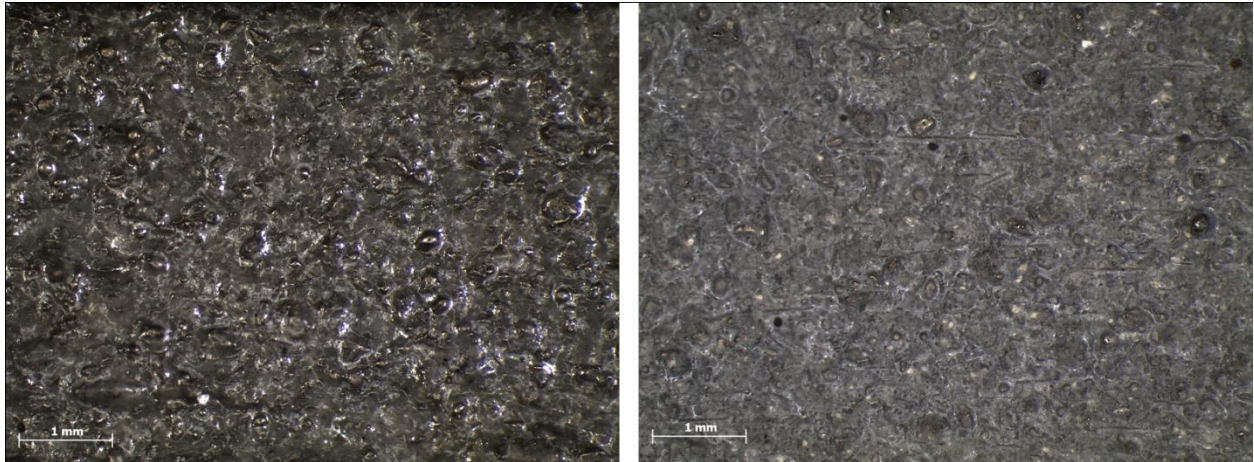
Nakon završetka ispitivanja, uzorci su izvađeni i oprani u destiliranoj vodi, te ostavljeni da se osuše na zraku. Izgled površine prevlaka nakon sušenja prikazan je na slici 9.30.



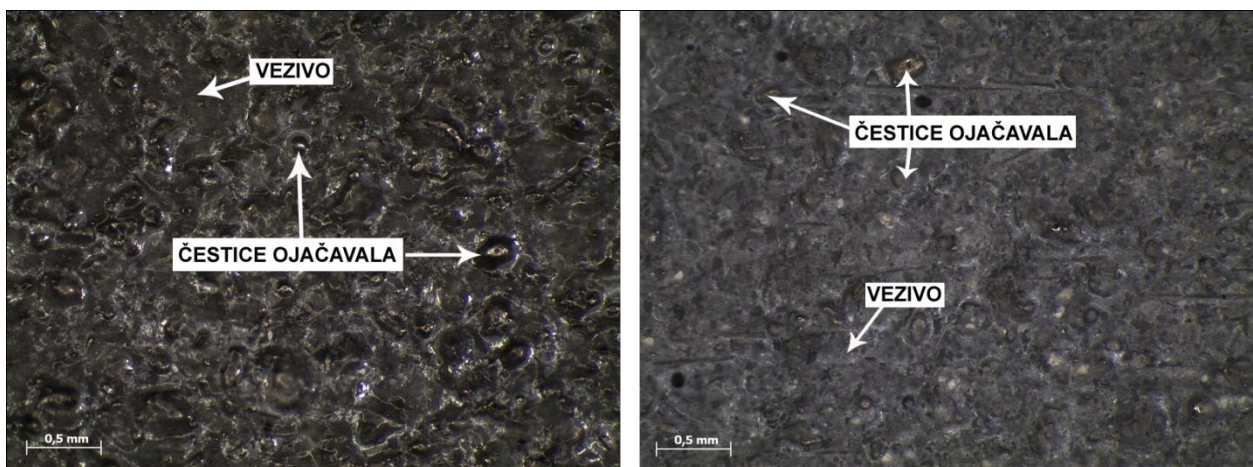
Slika 9.30. Oprani i osušeni uzorci nakon ispitivanja u lužnatoj otopini [15]

a) *Super Metal* prevlaka, b) *Super E-Metal* prevlaka

Analiza površine prevlaka napravljena je uz pomoć modularnog stereomikroskopa *Leica MZ6*. Prikaz površine prevlaka prije i nakon ispitivanja dan je na sljedećim slikama.

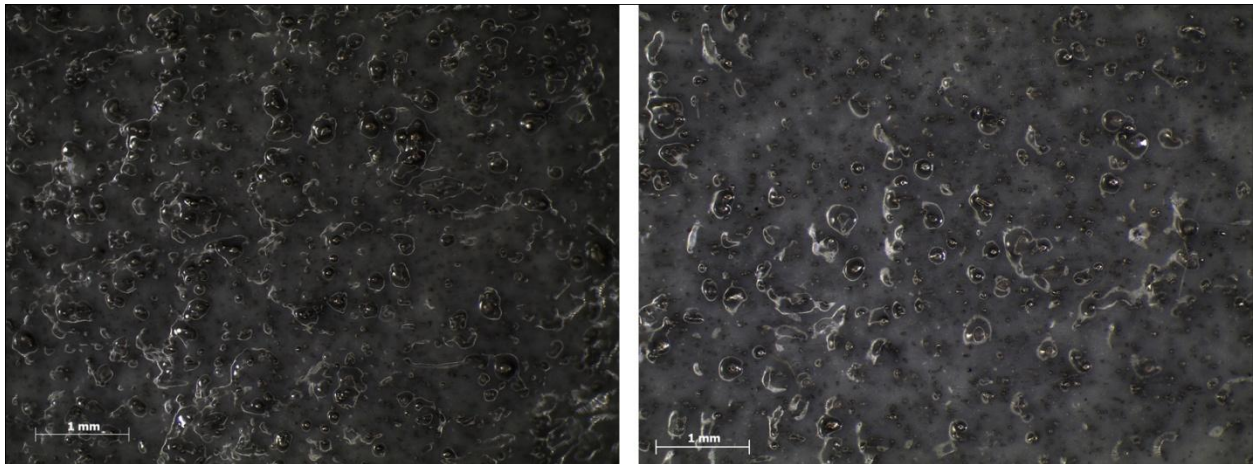
Prije ispitivanja**Nakon ispitivanja**

Slika 9.31. Prevlaka od *Super Metala* prije i nakon ispitivanja u 40% otopini NaOH (povećanje 25 puta) [15]

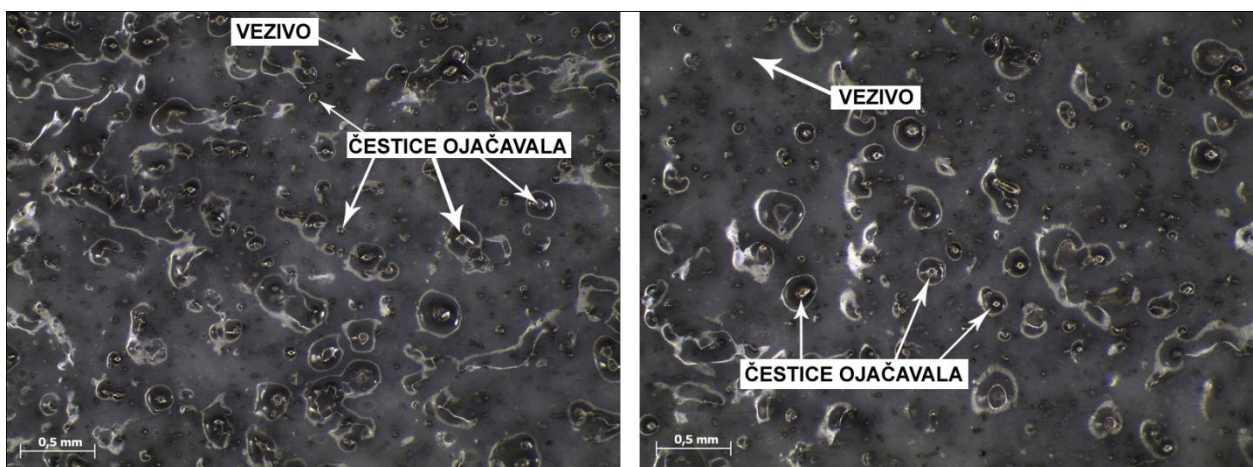
Prije ispitivanja**Nakon ispitivanja**

Slika 9.32. Prevlaka od *Super Metala* prije i nakon ispitivanja u 40% otopini NaOH (povećanje 40 puta) [15]

Na uzorku je uočeno oštećenje površine prevlake, tj. površinskog sloja veziva kao i kod uzoraka koji su bili uronjeni u kiselu otopinu. Ipak, oštećenje uzrokovano lužnatom otopinom je znatno manje nego ono nastalo djelovanjem kisele otopine.

Prije ispitivanja**Nakon ispitivanja**

Slika 9.33. Prevlaka od *Super E-Metala* prije i nakon ispitivanja u 40% otopini NaOH (povećanje 25 puta) [15]

Prije ispitivanja**Nakon ispitivanja**

Slika 9.34. Prevlaka od *Super E-Metala* prije i nakon ispitivanja u 40% otopini NaOH (povećanje 40 puta) [15]

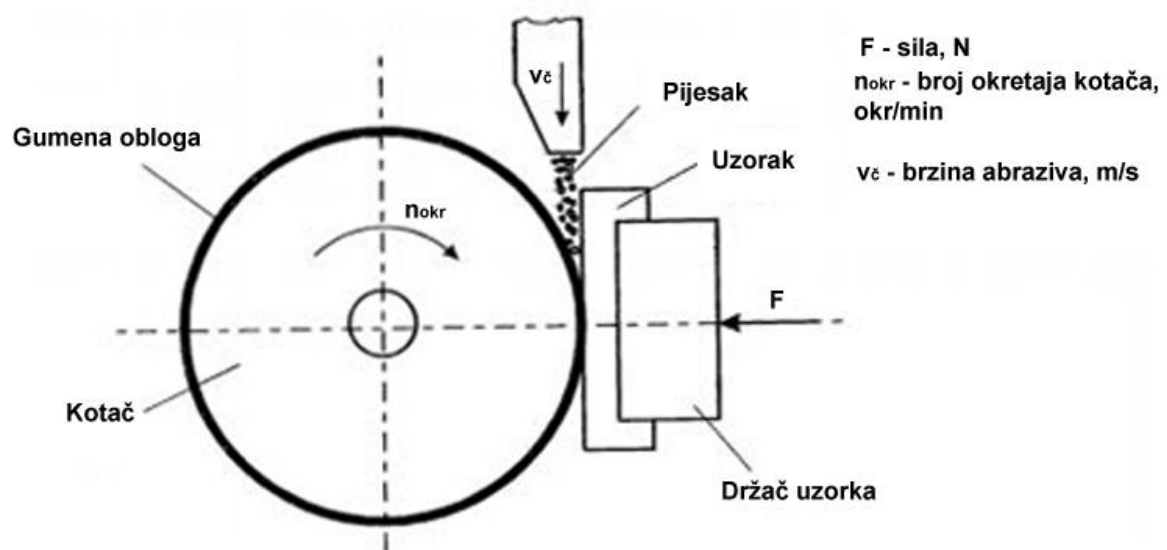
Nakon završenog ispitivanja, nisu uočene nikakve promjene na površini prevlake. Prevlaka od *Super E-Metala* pokazala je izvrsnu postojanost kada je uronjena u 40% otopinu NaOH.

9.6. Ispitivanje fizikalnih svojstava prevlaka

Osim zaštite od korozije i kemijskih utjecaja, uloga premaza, tj. prevlaka je spriječiti trošenje materijala. Najčešći oblici trošenja materijala su abrazija i erozija. U ovom radu ispitana je otpornost pojedine prevlake na abrazijsko, odnosno erozijsko trošenje.

9.6.1. Ispitivanje otpornosti prevlaka na abrazijsko trošenje

Ispitivanje abrazijske otpornosti materijala moguće je na više načina, prema različitim normama. Za ispitivanje proizvoda *Super Metal* i *Super E-Metal*, korištena je metoda *suhi pijesak/gumeni kotač*, prema normi ASTM G65-94. Ispitivanje je provedeno u Laboratoriju za tribologiju, FSB u Zagrebu. Shematski prikaz uređaja na kojem se odvija ispitivanje ovom metodom prikazan je na slici 9.35.

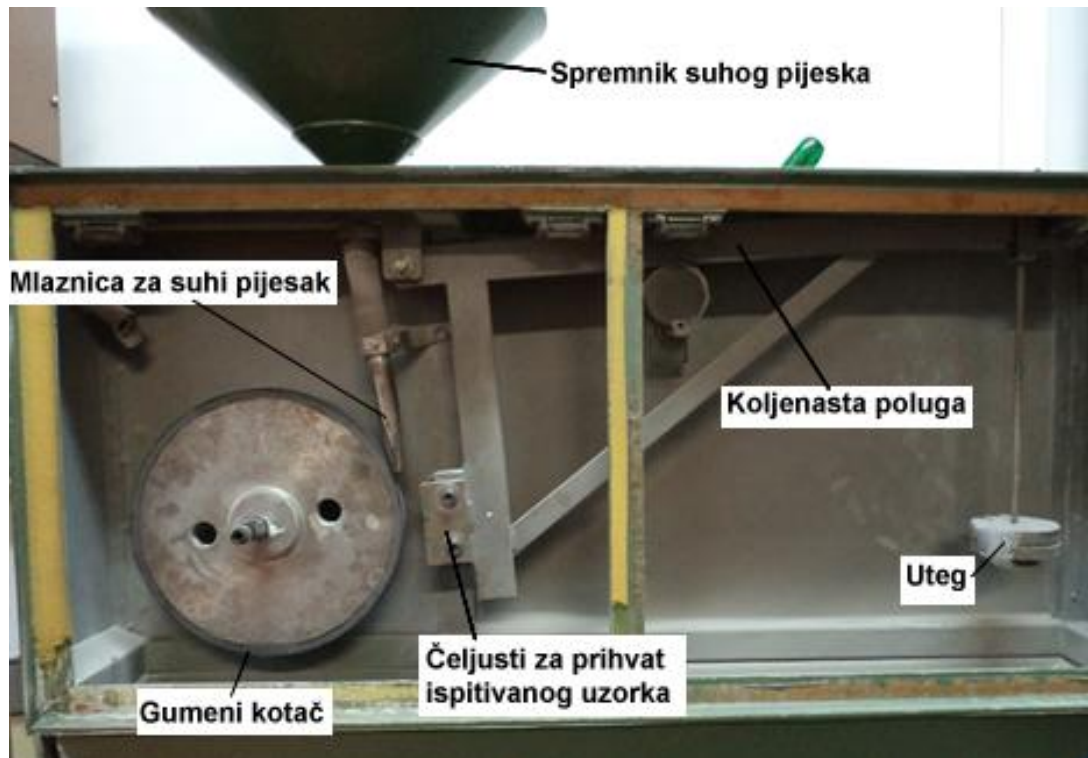


Slika 9.35. Shematski prikaz ispitivanja abrazijske otpornosti metodom *suhi pijesak/gumeni kotač* prema ASTM G65-94 normi [13]

Ispitivanje ovom metodom odvija se na način da prilikom uključenja uređaja, suhi pijesak iz mlaznice istječe između dodirne površine ispitivanog uzorka i gumenog kotača koji rotira u smjeru istjecanja pijeska. Preko koljenaste poluge, uzorak je opterećen silom koju definira masa korištenog utega, te dolazi do kontakta površine gumenog kotača i ispitivanog uzorka.

Pri tome dolazi do abrazijskog međudjelovanja, tj. trošenja prevlake. Abraziv korišten za provedeno ispitivanje je kvarcni pijesak *OTAWA AFS 50/70*, čije su čestice veličine oko 300 μm i tvrdoće oko 1200 HV0.03.

Na slici 9.36 prikazani su dijelovi uređaja za ispitivanje otpornosti na abrazijsko trošenje.



Slika 9.36. Uređaj za ispitivanje otpornosti na abrazijsko trošenje [15]

Postoje propisani parametri za ispitivanje abrazijske otpornosti pojedinih vrsta materijala, no kako se u ovom slučaju radi o relativno tankim prevlakama polimernog kompozita, korišteni su modificirani parametri navedeni u tablici 9.6.

Tablica 9.6. Parametri ispitivanja otpornosti na abrazijsko trošenje prevlaka

Sila na ispitivani uzorak, [N]	Broj okretaja gumenog kotača, [min^{-1}]	Vrsta suhog pijeska
45	100	<i>OTAWA AFS 50/70</i>

Postupak ispitivanja sastojao se od sljedećih koraka:

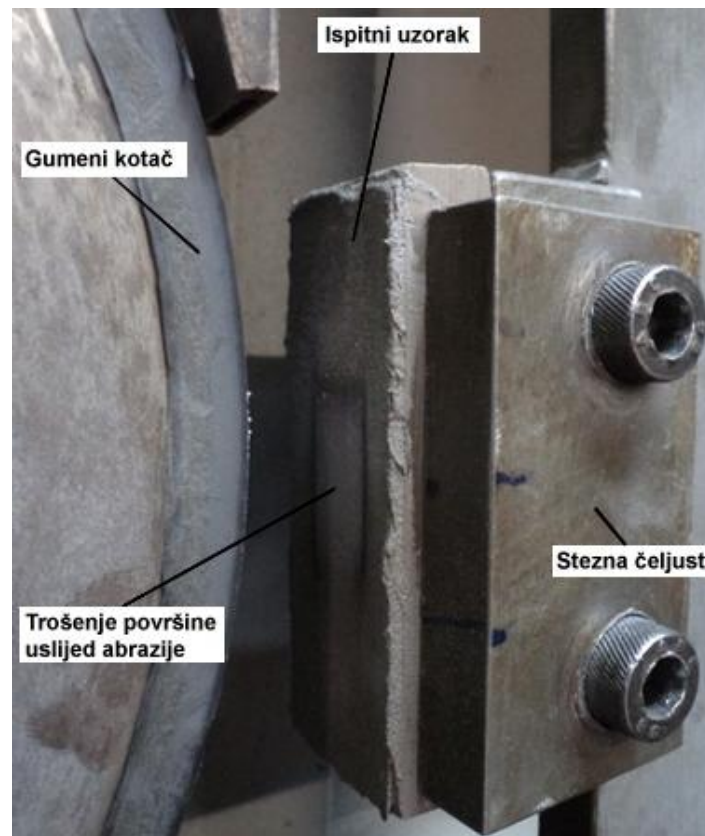
- mjerenje mase ispitivanih uzoraka prije ispitivanja,
- mjerenje mase ispitivanih uzoraka nakon 100 okretaja gumenog kotača, u pet ciklusa

Mjerenje mase uzoraka izvršeno je pomoću vage *METLLER B5C 1000*, rezolucije 0,0001 g (slika 9.37).



Slika 9.37. Vaga METLLER B5C 1000 [15]

Na slici 9.38 prikazan je ispitni uzorak u steznim čeljustima, nakon završetka ciklusa od 100 okretaja gumenog kotača. Također, uočljivo je trošenje prevlake na mjestu gdje je kotač dodirivao prevlaku prilikom ispitivanja.



Slika 9.38. Ispitni uzorak u steznim čeljustima uređaja za ispitivanje otpornosti na abrazijsko trošenje [15]

Gubitak volumena prevlake mjera je otpornosti na abrazijsko trošenje, pri čemu je gubitak volumena izračunat preko mase i gustoće prema formuli (5):

$$V = \frac{m}{\rho} \quad [cm^3] \quad (5)$$

Gustoća prevlake koja se koristila za izračun gubitka volumena, uzeta je iz tehničke dokumentacije proizvođača, te su stoga za pojedini proizvod korištene sljedeće vrijednosti:

- $\rho_{\text{Super Metal}} = 2,5 \text{ g/cm}^3$
- $\rho_{\text{Super E-Metal}} = 1,8 \text{ g/cm}^3$

Rezultati dobiveni ispitivanjem uzoraka koji su imali prevlaku od *Super Metala* (brojčana oznaka 1111) i *Super E-Metala* (brojčana oznaka 1221), navedeni su u sljedećim tablicama (tablica 9.7 i tablica 9.8).

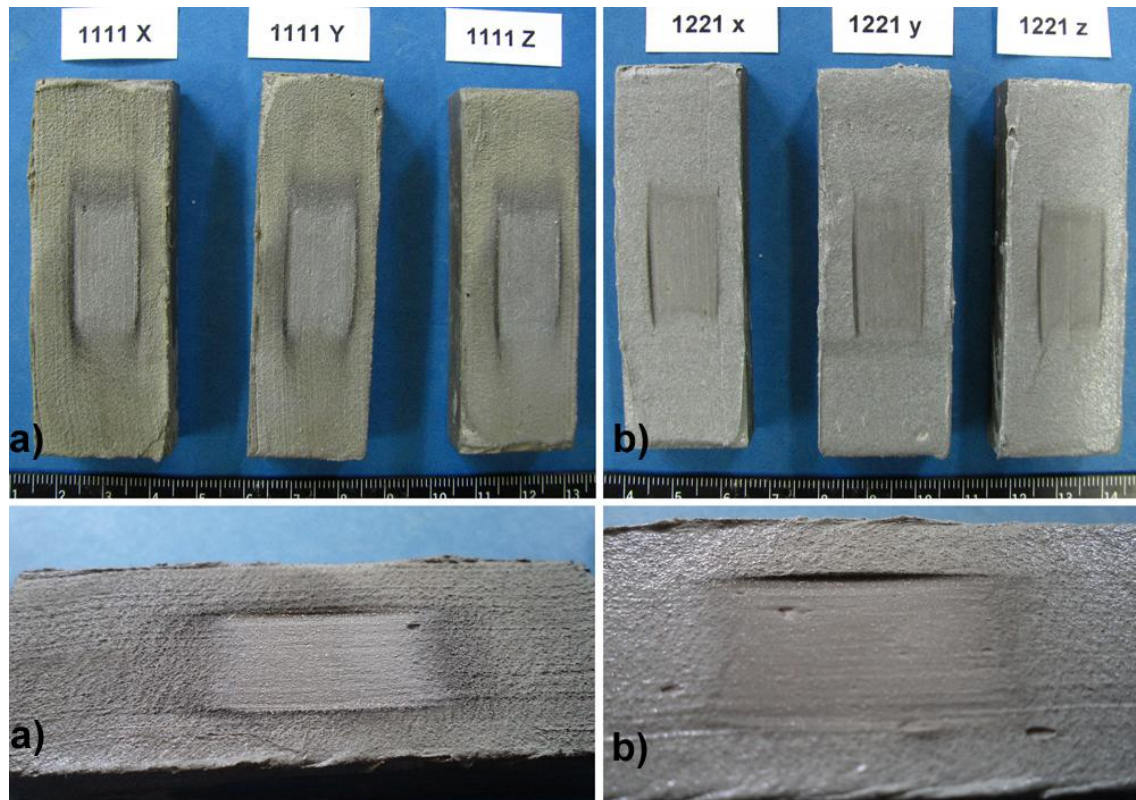
Tablica 9.7. Rezultati ispitivanja otpornosti na abrazijsko trošenje prevlake od *Super Metala*

Uzorak	Br.okretaja kotača n , [okr]	Masa uzorka m , [g]	Gubitak mase prevlake Δm , [g]	Prosječan gubitak mase prevlake $\Delta m'$, [g]	Prosječan gubitak volumena prevlake $\Delta V'=\Delta m'/\rho$, [cm ³]
1111 X	0	167,7525		0,02588	0,010352
			0,0255		
	100	167,7270			
			0,0255		
	200	167,7015			
			0,0307		
	300	167,6708			
			0,0246		
	400	167,6462			
			0,0231		
500	167,6231				
1111 Y	0	168,7128		0,0275	0,011
			0,0263		
	100	168,6865			
			0,0282		
	200	168,6583			
			0,0273		
	300	168,6310			
			0,0285		
	400	168,6025			
			0,0272		
500	168,5753				
1111 Z	0	190,4605		0,02544	0,010176
			0,0304		
	100	190,4301			
			0,0216		
	200	190,4085			
			0,0275		
	300	190,3810			
			0,0225		
	400	190,3585			
		0,0252			
500	190,3333				

Tablica 9.8. Rezultati ispitivanja otpornosti na abrazijsko trošenje prevlake od *Super E-Metala*

Uzorak	Br.okretaja kotača n , [okr]	Masa uzorka m , [g]	Gubitak mase prevlake Δm , [g]	Prosječni gubitak mase prevlake $\Delta m'$, [g]	Prosječni gubitak volumena prevlake $\Delta V'=\Delta m'/\rho$, [cm ³]
1221 x	0	164,3868		0,0169	0,009388889
			0,0176		
	100	164,3692			
			0,0187		
	200	164,3505			
			0,0145		
	300	164,336			
			0,0169		
	400	164,3191			
			0,0168		
1221 y	0	173,8025		0,0176	0,009777778
			0,0174		
	100	173,7851			
			0,0171		
	200	173,768			
			0,0189		
	300	173,7491			
			0,0191		
	400	173,73			
			0,0155		
1221 z	0	168,1125		0,01916	0,010644444
			0,0273		
	100	168,0852			
			0,0182		
	200	168,067			
			0,0187		
	300	168,0483			
			0,0142		
	400	168,0341			
			0,0174		
	500	168,0167			

Na slici 9.39 prikazani su uzorci nakon završenog ispitivanja otpornosti na abrazijsko trošenje, te su također vidljivi tragovi trošenja prevlake.



Slika 9.39. Uzorci nakon ispitivanja otpornosti na abrazijsko trošenje prevlake [15]

a) *Super Metal* prevlaka, b) *Super E-Metal* prevlaka

Na ispitivanim uzorcima su uočljivi izraženi tragovi abrazijskog trošenja za obje vrste prevlaka. Epoksidno vezivo se uslijed trenja zagrijava i gubi fizikalna svojstva, te dolazi do izraženog trošenja prevlake. Ipak, na temelju rezultata u tablicama 9.7 i 9.8, vidljivo je kako prevlake od *Super E-Metala* imaju veću otpornost na abrazijsko trošenje.

U sljedećim tablicama (tablica 9.9 i tablica 9.10) navedeni su rezultati ispitivanja otpornosti prevlaka na abrazijsko trošenje koje su 24 sata bile uronjene u 10% otopini HCl. Pri tome je važno napomenuti kako su nakon vađenja iz otopine, uzorci prvo temeljito oprani u destiliranoj vodi i ostavljeni 24 sata na zraku kako bi se prevlaka u potpunosti osušila prije ispitivanja otpornosti na abrazijsko trošenje.

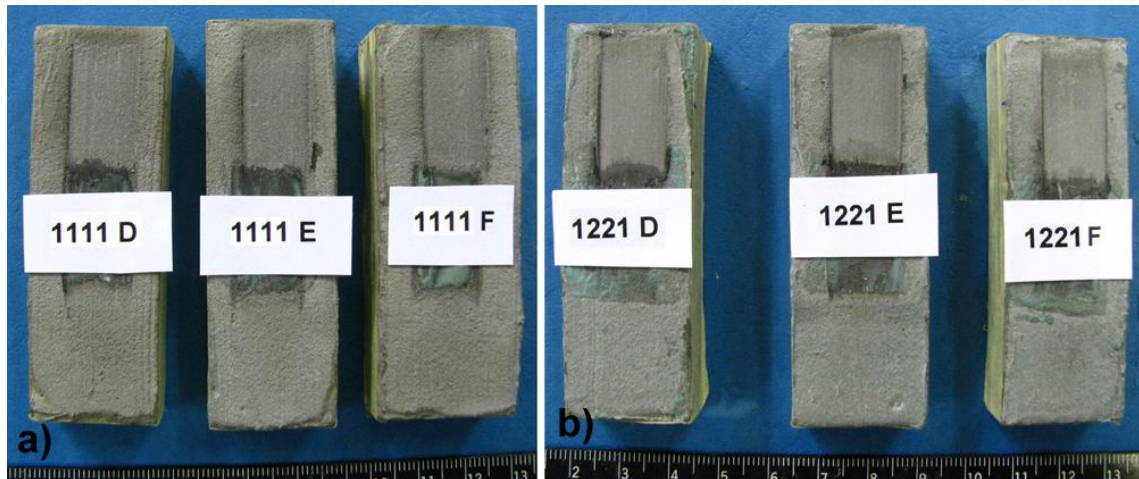
Tablica 9.9. Podaci o abrazijskom trošenju prevlake od *Super Metala* nakon 24 sata uronjenosti u 10% otopini HCl

Uzorak	Br.okretaja kotača n , [okr]	Masa uzorka m , [g]	Gubitak mase prevlake Δm , [g]	Prosječni gubitak mase prevlake $\Delta m'$, [g]	Prosječni gubitak volumena prevlake $\Delta V'=\Delta m'/\rho$, [cm ³]
1111 D	0	168,1511		0,0211	0,00844
			0,0191		
	100	168,132			
			0,0251		
	200	168,1069			
			0,0229		
	300	168,084			
			0,0155		
	400	168,0685			
			0,0229		
1111 E	0	169,1817		0,0242	0,00968
			0,0215		
	100	169,1602			
			0,0262		
	200	169,134			
			0,028		
	300	169,106			
			0,0235		
	400	169,0825			
			0,0218		
1111 F	0	190,654		0,0215	0,0086
			0,0226		
	100	190,6314			
			0,0205		
	200	190,6109			
			0,0284		
	300	190,5825			
			0,0198		
	400	190,5627			
		0,0162			
	500	190,5465			

Tablica 9.10. Podaci o abrazijskom trošenju prevlake od *Super E-Metala* nakon 24 sata uronjenosti u 10% otopini HCl

Uzorak	Br.okretaja kotača n , [okr]	Masa uzorka m , [g]	Gubitak mase prevlake Δm , [g]	Prosječni gubitak mase prevlake $\Delta m'$, [g]	Prosječni gubitak volumena prevlake $\Delta V'=\Delta m'/\rho$, [cm ³]
1221 D	0	164,9315		0,01548	0,0086
			0,0185		
	100	164,913			
			0,019		
	200	164,894			
			0,0165		
	300	164,8775			
			0,0115		
	400	164,866			
			0,0119		
1221 E	0	174,4424		0,00984	0,005466667
			0,0104		
	100	174,432			
			0,0084		
	200	174,4236			
			0,0106		
	300	174,413			
			0,0046		
	400	174,4084			
			0,0152		
1221 F	0	168,6237		0,01322	0,007344444
			0,0042		
	100	168,6195			
			0,017		
	200	168,6025			
			0,018		
	300	168,5845			
			0,0136		
	400	168,5709			
			0,0133		
	500	168,5576			

Na slici 9.40 prikazani su uzorci koji su 24 sata proveli uronjeni u 10%-tnu HCl otopinu, nakon završenog ispitivanja otpornosti prevlaka na abrazijsko trošenje.

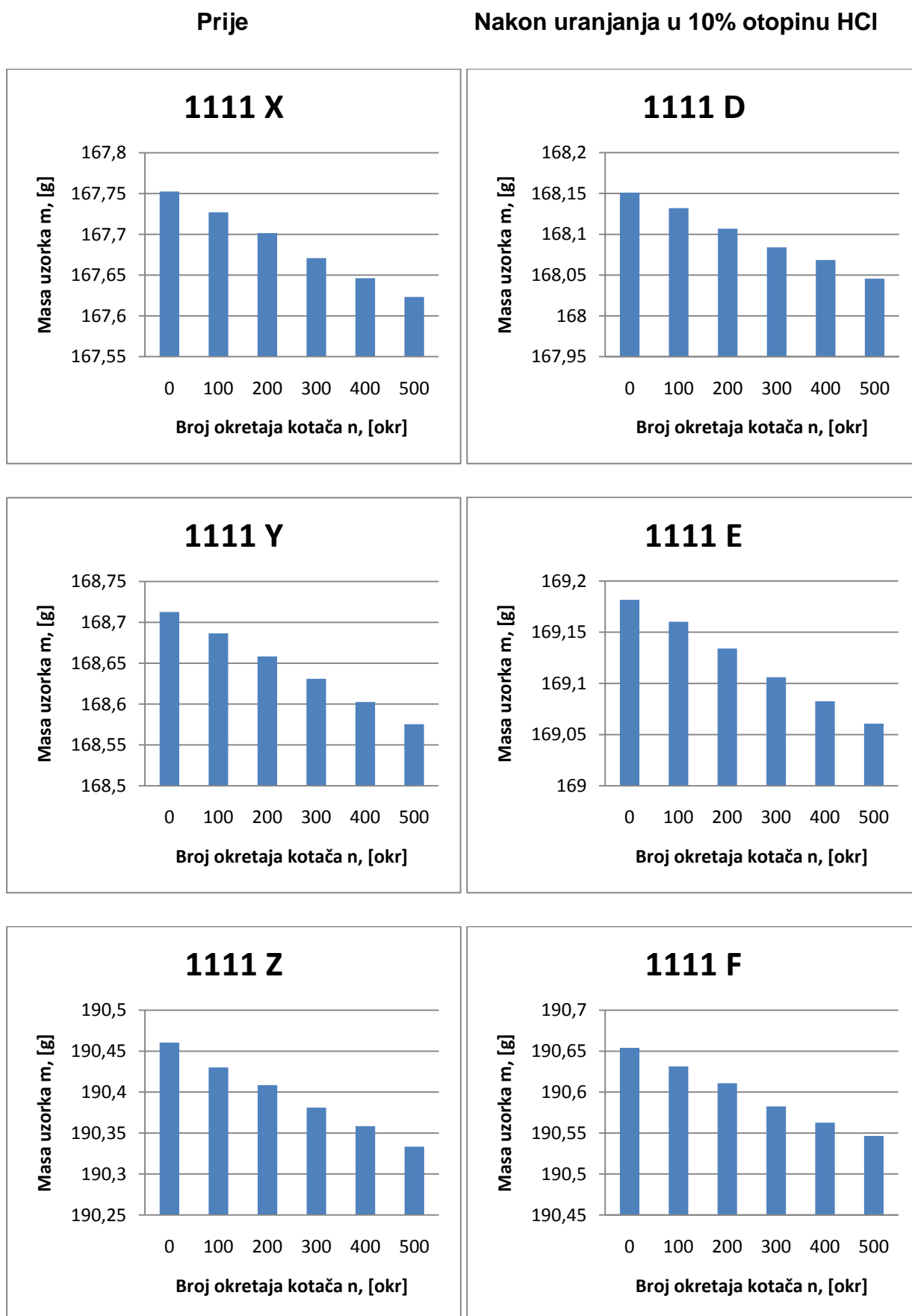


Slika 9.40. Uzorci koji su 24 sata bili uronjeni u 10% otopinu HCl, nakon ispitivanja otpornosti na abrazijsko trošenje [15]

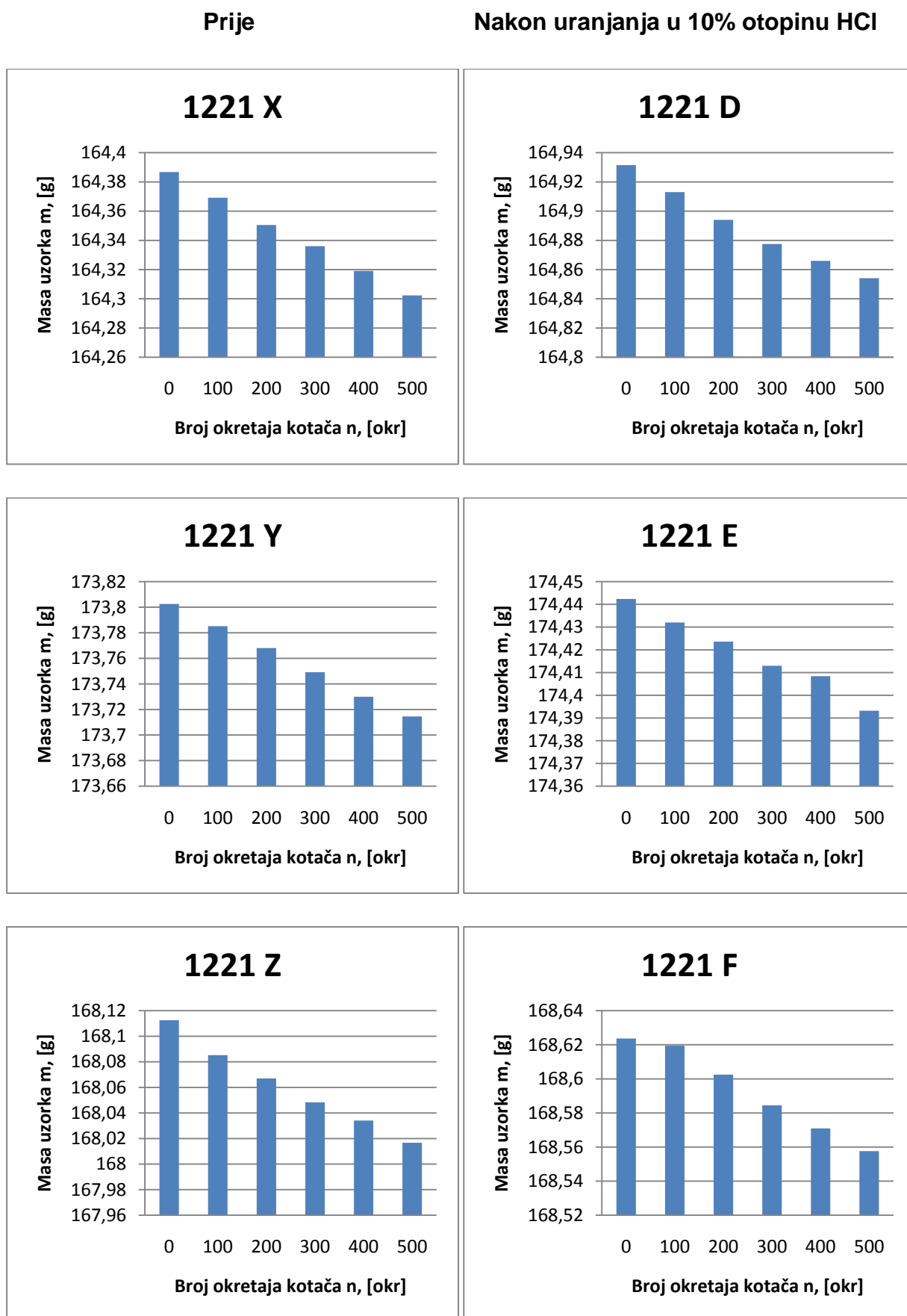
a) *Super Metal* prevlaka, b) *Super E-Metal* prevlaka

Tragovi abrazijskog trošenja vidljivi su na obje vrste prevlaka. Iz dobivenih rezultata je vidljivo kako prevlake od *Super E-Metala* imaju veću otpornost na trošenje od *Super Metal* prevlaka. Također, obje vrste prevlaka su nakon izlaganja 10% otopini HCl pokazale veću otpornost na trošenje. To se može objasniti većim udjelom čestica ojačavala u površinskom sloju prevlake, što je rezultat nagrizanja veziva kiselom otopinom.

Na slikama 9.41 i 9.42 dan je grafički prikaz dobivenih rezultata prilikom ispitivanja otpornosti na abrazijsko trošenje za obje vrste prevlaka, prije i nakon uranjanja u 10%-tnu HCl otopinu.



Slika 9.41. Grafički prikaz rezultata abrazije za *Super Metal* prevlake

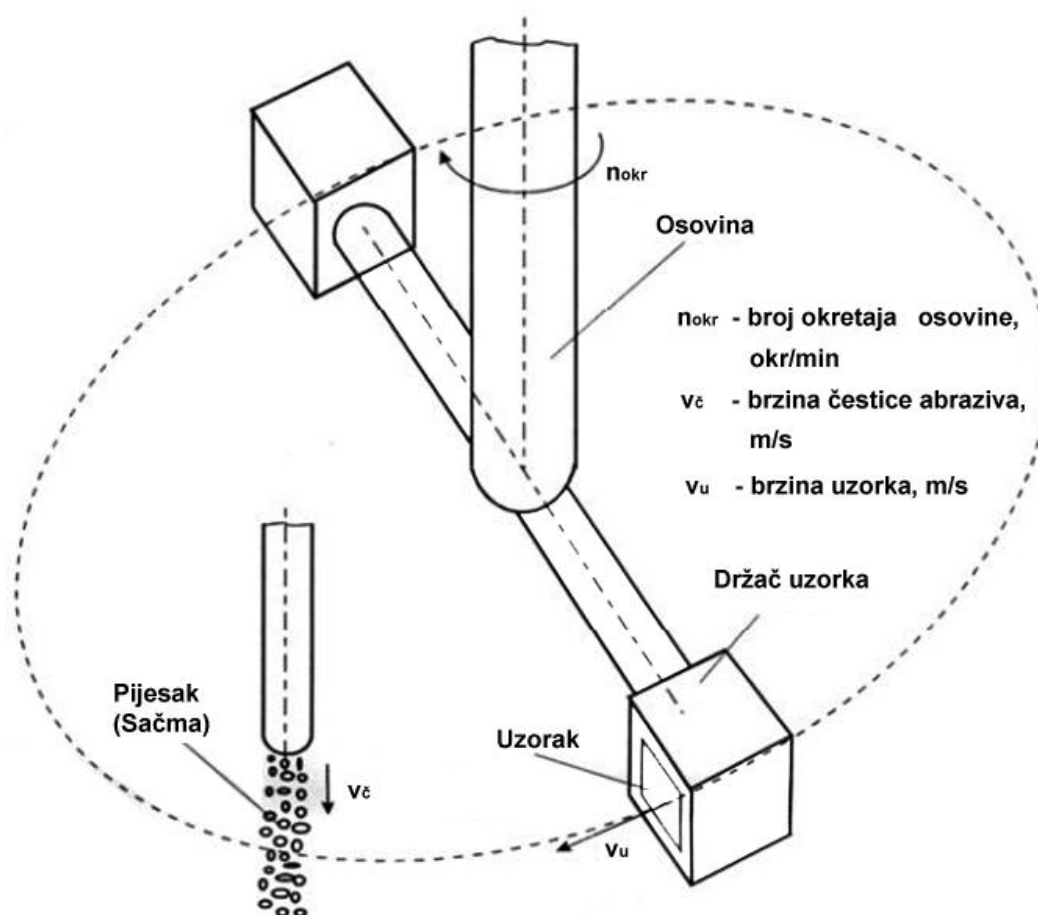


Slika 9.42. Grafički prikaz rezultata abrazije za *Super E-Metal* prevlake

9.6.2. Ispitivanje otpornosti prevlaka na erozijsko trošenje

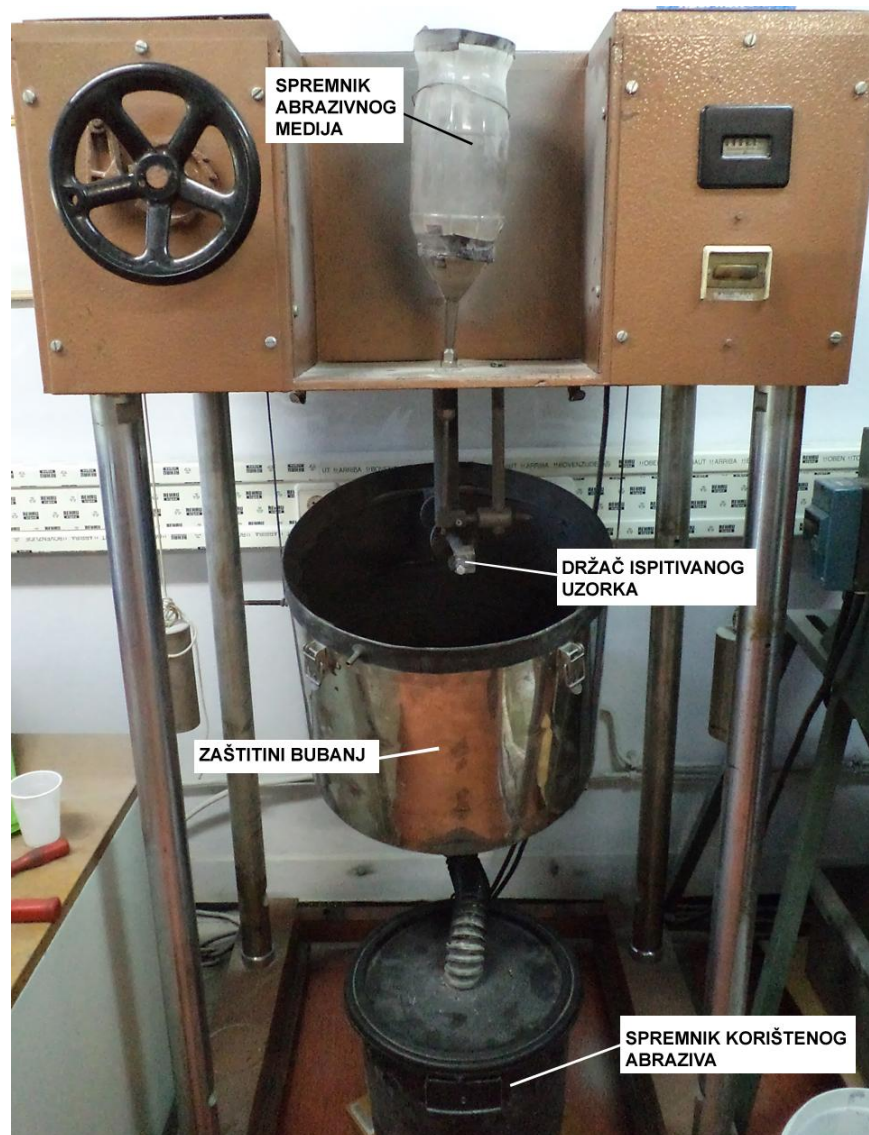
Ispitivanje otpornosti na erozijsko trošenje provodi se tako da uzorci rotiraju velikom brzinom, i pri tome udaraju o čestice abraziva (suhog pijeska) koje slobodnim padom izlaze iz spremnika kroz sapnicu. Pri tome dolazi do erozijskog trošenja na površini u koju udaraju čestice. Ovisno o vrsti ispitivanja, moguće je regulirati kut upada čestica, čime se simuliraju jako izraženi ili manje izraženi uvjeti erozijskog trošenja, te vrstu abraziva koji može biti suhi pijesak ili sačma.

Princip rada uređaja na kojem se vrši ispitivanje otpornosti na erozijsko trošenje prikazan je na slici 9.43.



Slika 9.43. Shematski prikaz rada uređaja za ispitivanje otpornosti na erozijsko trošenje [13]

Pri ispitivanju otpornosti prevlaka na erozijsko trošenje korišten je uređaj Laboratorija za tribologiju, FSB u Zagrebu, prikazan na slici 9.44.



Slika 9.44. Uređaj za ispitivanje otpornosti na erozijsko trošenje [15]

Brzina kojom ispitivani uzorak udara u čestice abraziva, prema formuli (6) iznosi:

$$v_u = \frac{Dn_{okr}}{60} = 24,265 \text{ m/s} \quad (6)$$

Gdje je:

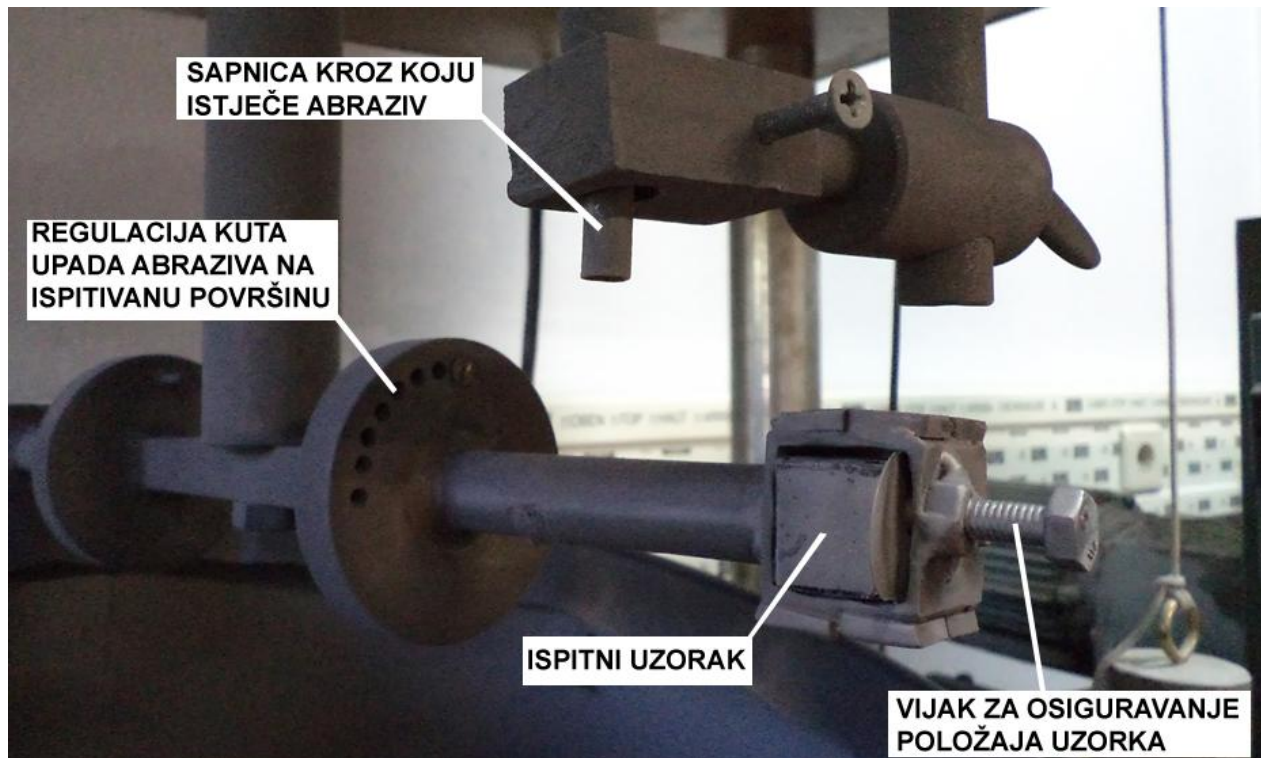
D – promjer držača u kojem stoje uzorci prilikom vrtnje (D=322 mm)

n_{okr} – broj okretaja osovine držača, ($n_{okr}=1440$ [okr/min])

v_u – brzina vrtnje uzorka, [m/s]

Abraziv korišten za provedeno ispitivanje je kvarcni pijesak *OTAWA AFS 50/70*, čije su čestice veličine oko 300 μm i tvrdoće oko 1200 HV0.03. Kut upada čestica je 90° , čime je prevlaka izložena najvećem stupnju erozije.

Na slici 9.45 prikazan je ispitni uzorak u držaču prije početka ispitivanja.



Slika 9.45. Ispitni uzorak u držaču prije početka ispitivanja otpornosti prevlake na erozijsko trošenje [15]

Ispitivanje je provedeno na način da je ispitivanim uzorcima izmjerena masa prije ispitivanja, te nakon završetka ispitivanja koje je trajalo 15 minuta. Za mjerenje gubitka mase ispitivanog uzorka korištena je vaga *METLLER B5C 1000*.

Nakon dobivenih rezultata o gubitku mase pojedinog uzorka, izračunat je gubitak volumena prema formuli (5).

Vrijednosti gustoće pojedine prevlake korištene pri računanju izgubljenog volumena uzete su iz dokumentacije proizvođača, te iznose:

- $\rho_{\text{Super Metal}}=2,5 \text{ g/cm}^3$
- $\rho_{\text{Super E-Metal}}=1,8 \text{ g/cm}^3$

Rezultati dobiveni ispitivanjem uzoraka koji su imali prevlaku od *Super Metala* (brojčana oznaka 1111) i *Super E-Metala* (brojčana oznaka 1221), navedeni su u tablicama 9.11 i 9.12.

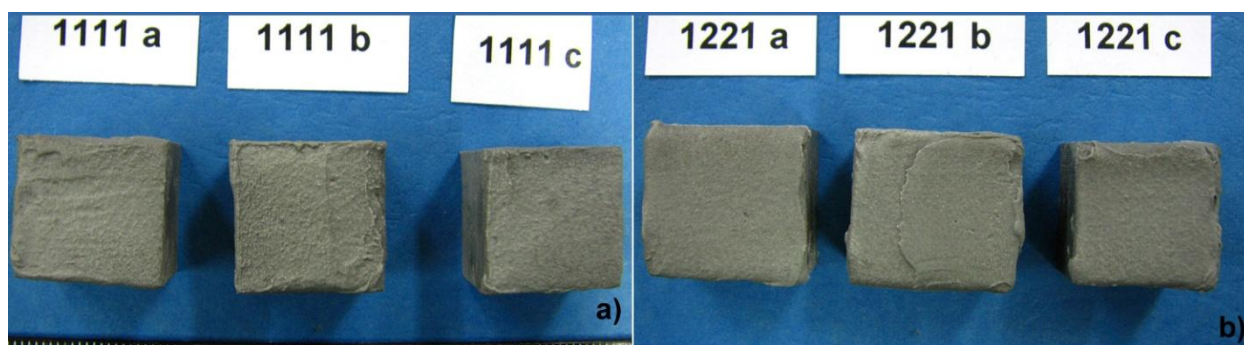
Tablica 9.11. Rezultati ispitivanja otpornosti na erozijsko trošenje prevlake od *Super Metala*

UZORAK	Masa uzorka, m [g]		Gubitak mase, Δm [g]	Gubitak volumena, $\Delta V=m/\rho$, [cm ³]
	Prije ispitivanja	Nakon ispitivanja		
1111 a	29,2781	29,2606	0,0175	0,007
1111 b	29,125	29,1048	0,0202	0,00808
1111 c	27,6283	27,6103	0,018	0,0072

Tablica 9.12. Rezultati ispitivanja otpornosti na abrazijsko trošenje prevlake od *Super E-Metala*

UZORAK	Masa uzorka, m [g]		Gubitak mase, Δm [g]	Gubitak volumena, $\Delta V=m/\rho$, [cm ³]
	Prije ispitivanja	Poslije ispitivanja		
1221 a	32,4631	32,4535	0,0096	0,005333333
1221 b	32,3583	32,3499	0,0084	0,004666667
1221 c	28,432	28,4293	0,0027	0,0015

Na slici 9.46 prikazani su uzorci nakon završenog ispitivanja otpornosti prevlaka na erozijsko trošenje.



Slika 9.46. Uzorci nakon ispitivanja otpornosti na erozijsko trošenje prevlaka [15]

a) *Super Metal* prevlaka, b) *Super E-Metal* prevlaka

Na uzorcima je nakon završenog ispitivanja uočljiva promjena u izgledu površine kod obje vrste prevlaka. Erozijsko trošenje promijenilo je površinsku hrapavost prevlaka, te pod svjetlom nemaju sjaj kao prije provedenog ispitivanja. Iz rezultata ispitivanja, vidljivo je kako prevlake od *Super E-Metala* imaju veću otpornost na erozijsko trošenje od *Super Metal* prevlaka.

Isti postupak ispitivanja ponovljen je i na uzorcima koji su 24 sata bili uronjeni u 10% otopini HCl. Uzorci su nakon vađenja iz otopine temeljito oprani u destiliranoj vodi i ostavljeni da se potpuno osuše na zraku prije samog ispitivanja.

U tablicama 9.13 i 9.14 su prikazani dobiveni rezultati nakon ispitivanja otpornosti prevlaka na erozijsko trošenje, koje su 24 sata bile uronjene u 10% otopini HCl.

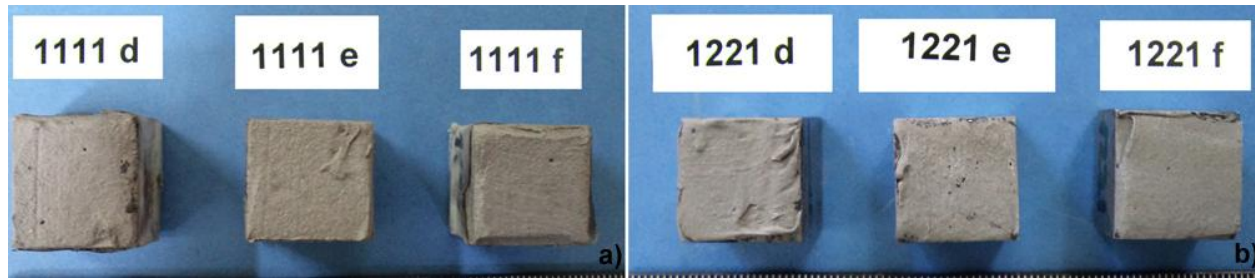
Tablica 9.13. Podaci o erozijskom trošenju prevlake od *Super Metala* nakon 24 sata uronjenosti u 10% otopini HCl

UZORAK	Masa uzorka, m [g]		Gubitak mase, Δm [g]	Gubitak volumena, $\Delta V=m/\rho$, [cm ³]
	Prije ispitivanja	Poslije ispitivanja		
1111 d	32,8925	32,8728	0,0197	0,00788
1111 e	30,0056	29,9918	0,0138	0,00552
1111 f	28,5404	28,5235	0,0169	0,00676

Tablica 9.14. Podaci o erozijskom trošenju prevlake od *Super E-Metala* nakon 24 sata uronjenosti u 10% otopini HCl

UZORAK	Masa uzorka, m [g]		Gubitak mase, Δm [g]	Gubitak volumena, $\Delta V=m/\rho$, [cm ³]
	Prije ispitivanja	Poslije ispitivanja		
1221 d	27,9428	27,9395	0,0033	0,001833333
1221 e	27,8015	27,796	0,0055	0,003055556
1221 f	29,1907	29,1875	0,0032	0,001777778

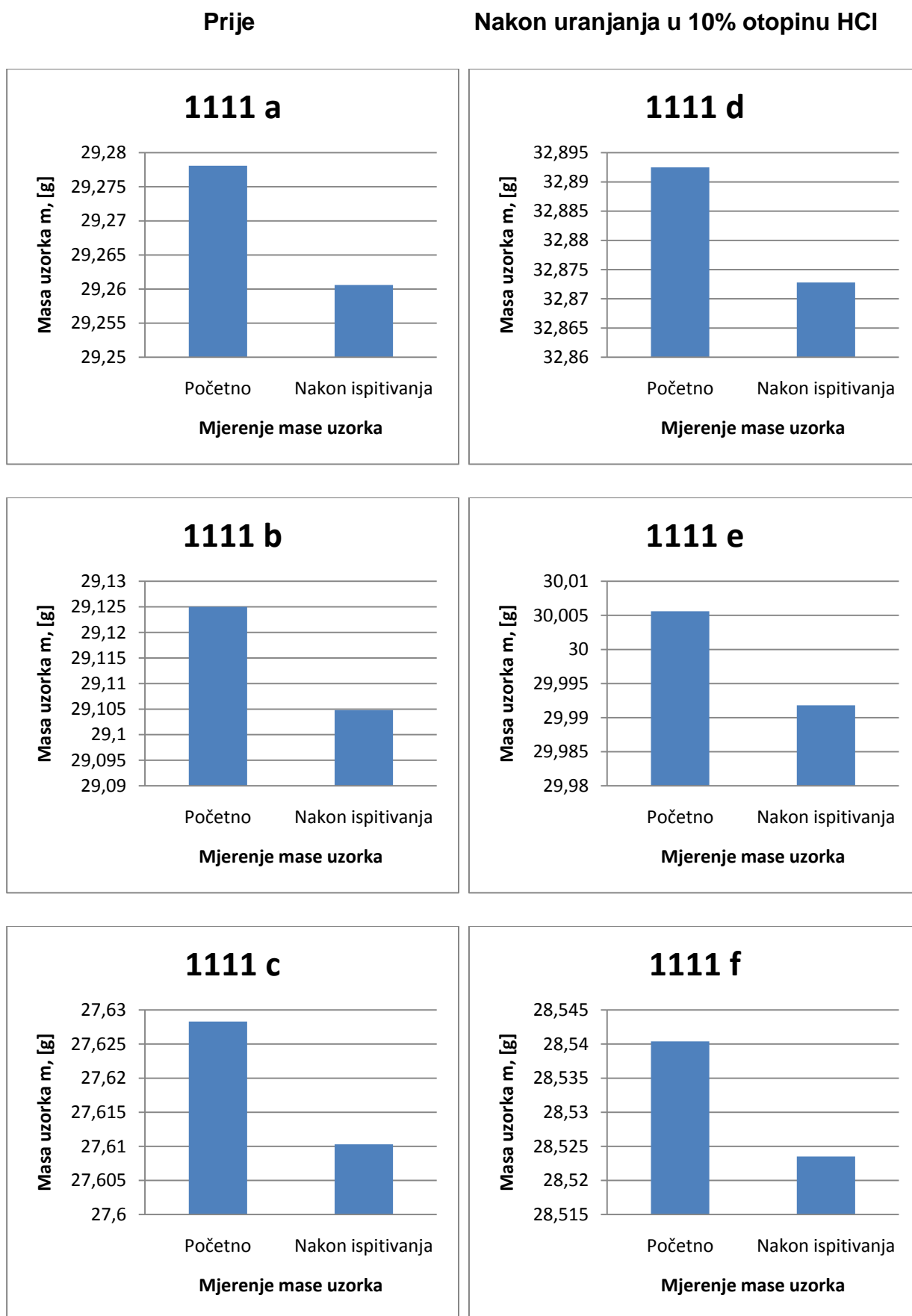
Na slici 9.47 prikazani su uzorci koji su bili izloženi 10% otopini HCl, nakon provedenog ispitivanja otpornosti prevlaka na erozijsko trošenje.

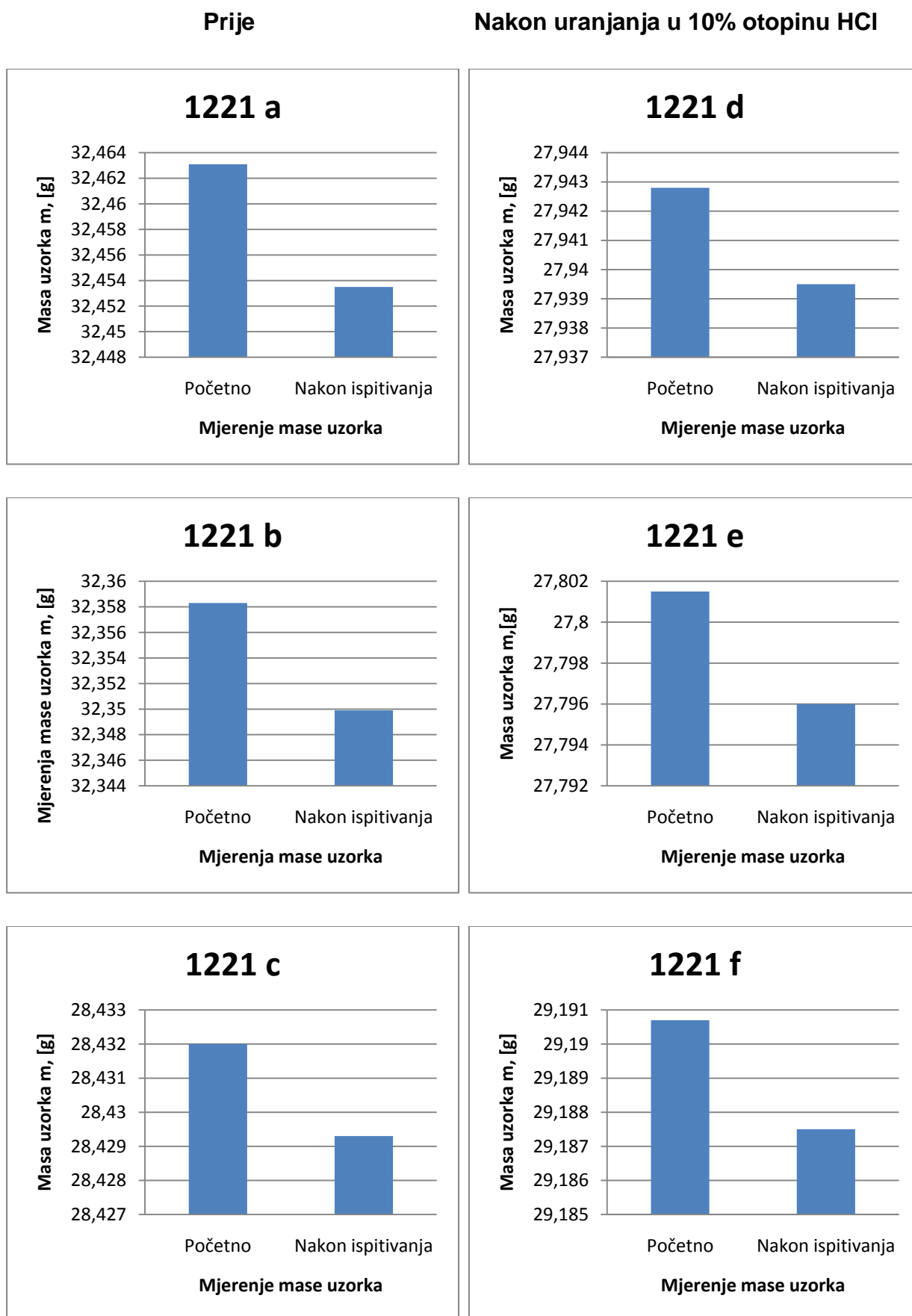


Slika 9.47. Uzorci koji su 24 sata bili uronjeni u 10% otopinu HCl, nakon ispitivanja otpornosti na erozijsko trošenje [15]

Kao i kod prvog ispitivanja, na uzorcima je uočljiva promjena u izgledu površine prevlake. Nadalje, iz dobivenih rezultata je vidljivo kako su prevlake nakon izlaganja 10% otopini HCl pokazale veću otpornost na erozijsko trošenje, što se može pripisati većem udjelu čestica ojačavala u površinskom sloju prevlake nakon nagrizanja veziva kiselom otopinom.

Na slikama 9.48 i 9.49 dan je grafički prikaz dobivenih rezultata prilikom ispitivanja otpornosti na erozijsko trošenje za obje vrste prevlaka, prije i nakon uranjanja u 10%-tnu HCl otopinu.

Slika 9.48. Grafički prikaz rezultata erozije za *Super Metal* prevlake

Slika 9.49. Grafički prikaz rezultata erozije za *Super E-Metal* prevlake

9.7. Analiza rezultata

Organski premazi predstavljaju najčešće korišten način zaštite čeličnih konstrukcija od korozije. Kvaliteta sustava zaštite usko je povezana sa vrstom korištenog premaza, tj. vrsti veziva, pigmenta, aditiva i sl. Iako postoji veliki broj veziva za organske premaze, epoksidne smole najčešće se koriste zbog svojih superiornih svojstava.

Epoksidni premazi ojačani česticama (keramičkim, čeličnim, TiO_2 i sl.) također se mogu koristiti i za reparaturu oštećenja nastalih koruzijskim, te ostalim procesima koji razaraju materijal. Primjenom takve vrste premaza osigurava se značajna ušteda novca u pogledu održavanja, skraćuje se vrijeme zastoja, a ujedno i postiže kvalitetna razina zaštite od korozije i abrazijsko-erozijskog trošenja.

Ispitivanje u slanoj komori – Nakon provedenog ispitivanja u slanoj komori (5% otopina NaCl), koje je trajalo 480 sati, na ispitivanim uzorcima nije došlo do pojave korozije. Iako su nanesene u relativno tankom sloju, obje vrste prevlaka osiguravaju izvrsnu zaštitu od korozije u morskoj atmosferi. Također, na površini obje vrste prevlake nije došlo do nikakvih vizualnih promjena. Rezultati ispitivanja u skladu su sa literaturnim podacima (Prilog 3 i Prilog 4), gdje je definirano kako oba proizvoda ne pokazuju znakove korozije nakon 5000 sati u slanoj komori, prema normi ASTM B117-73.

Ispitivanje u 10% otopini HCl – Nakon što su ispitivani uzorci izloženi 24 sata u kiselj otopini, nisu primjećena nikakva vizualna oštećenja na oba uzorka. Nadalje, kada su prevlake detaljnije analizirane upotrebom stereomikroskopa, na površini obje prevlake primjećena su neznatna oštećenja, pri čemu je kod uzorka sa prevlakom od *Super Metala* oštećenje znatnije izraženo. Kisela otopina je oštetila površinski sloj prevlaka, tj. epoksidno vezivo, no nije došlo do odvajanja čestica ojačavala i daljnje degradacije prevlaka. Sukladno literaturnim podacima (Prilog 3 i Prilog 4), obje prevlake su pokazale vrlo dobru postojanost pri uvjetima potpunog uranjanja u 10% otopinu HCl.

Ispitivanje u 40% otopini NaOH – Nakon 24 satnog izlaganja u lužnatoj otopini, vizualnim pregledom također nije primjećeno oštećenje prevlake. Detaljnijom analizom pomoću stereomikroskopa, na uzorku sa *Super Metal* prevlakom je primjećeno neznatno oštećenje površinskog sloja veziva, dok prevlaka od *Super E-Metala* nije pokazala nikakvo oštećenje površinskog sloja veziva.

Nadalje, neznatno oštećenje površinskog sloja *Super Metal* prevlake nije uzrokovalo odvajanje čestica i degradaciju ostalog veziva, te stoga zaključujemo kako su obje vrste prevlaka postojane u uvjetima potpunog uranjanja u lužnatu otopinu, sukladno literaturnim podacima (Prilog 3 i Prilog 4), te da su prevlake od *Super E-Metala* pokazale bolju otpornost na degradaciju površinskog sloja veziva.

Ispitivanje otpornosti na abrazijsko trošenje – Rezultati ispitivanja otpornosti na abrazijsko trošenje pokazali su kako se obje vrste prevlaka, i *Super Metal* i *Super E-Metal* relativno brzo troše, uz napomenu kako *Super E-Metal* prevlake imaju znatno veću otpornost na abrazijsko trošenje od *Super Metal* prevlaka.

Iako se radi o prevlakama visoke tvrdoće, uslijed opterećenja i intenzivnog zagrijavanja uslijed trenja, abrazivno sredstvo mehanički troši prevlaku. Pošto se radi o polimernom kompozitu, zaključujemo kako je razlog tome samo vezivo prevlake, koje uslijed takvih uvjeta gubi svoja fizikalna svojstva, te dolazi do odvajanja čestica ojačavala i samog veziva.

Pri ponovljenom ispitivanju, nakon što su uzorci bili 24 sata uronjeni u 10% otopinu HCl, rezultati su pokazali veću otpornost na abrazijsko trošenje. S obzirom da su rezultati ispitivanja uzoraka uronjenih u 10% otopinu HCl pokazali kako ne dolazi do promjena u strukturi i izgledu prevlaka, kao razlog nesukladnosti rezultata između ponovljenih ispitivanja može biti dodatno otvdnjavanje prevlaka, čime su poboljšana fizikalna svojstva.

Ispitivanje otpornosti na erozijsko trošenje – Ispitivanjem otpornosti na erozijsko trošenje, dobiveni su rezultati koji ukazuju kako se obje vrste prevlaka također relativno brzo troše kada su izložene najvećem stupnju erozijskog trošenja (kada je kut udara čestice abraziva 90°). Kao i kod abrazijskog trošenja, prevlake od *Super E-Metala* pokazale su veću otpornost na trošenje.

10. ZAKLJUČAK

U ovom radu ispitana su kemijska i abrazijsko-erozijska svojstva dvije vrste polimernih kompozitnih prevlaka na niskougličnom čeliku. Rezultati ispitivanja kemijskih svojstava ukazuju kako su obje vrste prevlaka postojane, te zadržavaju svoja fizikalna svojstva uslijed izlaganja morskim uvjetima (slana komora), te prilikom 24 satnog uranjanja u kiselu i lužnatu otopinu.

Ispitivanjem fizikalnih svojstava otpornosti prevlaka na abrazijsko i erozijsko trošenje, prevlake od *Super E-Metala* pokazale su bolja fizikalna svojstva, tj. veću otpornost na trošenje nego prevlake od *Super Metala*, što se može pripisati korištenju kombinacije različitih čestica ojačavala (keramičke i čelične čestice različitih veličina).

Na temelju provedenih ispitivanja, može se zaključiti kako prevlake od *Super Metala* i *Super E-Metala* osim što se koriste kao paste za reparaturu, pružaju visoku zaštitu od korozije, te da su također postojane u otopinama 10% HCl i 40% NaOH. Nadalje, ispitivane prevlake se mogu koristiti i kao zaštita od mehaničkog oštećenja (erozijsko i abrazijsko trošenje), ali samo u uvjetima gdje radni medij (fluid) koji je u dodiru sa prevlakom ne sadrži veliki udio tvrdih suspendiranih čestica koje mogu oštetiti prevlaku i narušiti kvalitetu zaštitnog sustava.

11. LITERATURA

- [1] N.N.: *Zaštita od korozije organskim premazima-podloge za vježbe*, FKIT, Zagreb, www.fkit.unizg.hr/download/repository/kmzv5.pdf, 14.04.2012.
- [2] Esih, I.: *Osnove površinske zaštite*, FSB, Zagreb, 2003.
- [3] International standard ISO 12944-2:2007, *Paint and varnishes-Corrosion protection of steel structures by protective paint systems*, <http://www.scribd.com/doc/56997496/ISO-12944-5-2007>, 30.05.2012.
- [4] Cramer, S.D., Covino, B.S.Jr.: *ASM Handbook Vol.13A: Corrosion-Fundamentals, testing and protection*, ASM International, Ohio, SAD, 2003.
- [5] Singh-Beemat, J., Iroh, J.O.: *Characterization of corrosion resistant clay/epoxy ester composite coatings and thin films*, *Progress in Organic Coatings*, 74 (2012) 173-180, http://ac.els-cdn.com/S0300944011003985/1-s2.0-S0300944011003985-main.pdf?tid=8c9fbac628ad688852a094ab1b72f938&acdnat=1332753169_0249874599e4d6d8a104e706703566fd, 26.03.2012.
- [6] N.N.: *Bisfenol A*, http://hr.wikipedia.org/wiki/Bisfenol_A, 30.05.2012.
- [7] Moezzi, A., McDonagh, A.M., Cortie, M.B.: *Zinc oxide particles-Synthesis, properties and applications*, *Chemical Engineering Journal*, 185-186 (2012) 1-22, http://ac.els-cdn.com/S138589471200099X/1-s2.0-S138589471200099X-main.pdf?tid=8330ceefb2cb014dcf39efd9539b5d70&acdnat=1334650486_66f4d85b62cf19665df86e2e854fc0ac, 31.05.2012.
- [8] Schweitzer, P.A.: *Corrosion control through organic coatings*, [http://avaxhome.ws/ebooks/Corrosion Control Through Organic Coatings AForsgren.html](http://avaxhome.ws/ebooks/Corrosion%20Control%20Through%20Organic%20Coatings%20AForsgren.html), 31.05.2012.
- [9] *Super Metal*: <http://belzona.hr/pdf/1111Flyer.pdf>, 10.02.2012.
- [10] *Supermetalgilde*: <http://belzona.hr/pdf/1341Flyer.pdf>, 10.02.2012.
- [11] *Supermetalgilde-primjer*: <http://belzona.hr/aplikacije/pumpe/>, 05.03.2012.
- [12] Correa, C.E., Garcia, G.L., Garcia, A.N., Bejarano, W., Guzman, A.A., Toro, A.: *Wear mechanisms of epoxy-based composite coatings submitted to cavitation*,

Wear 271 (2011) 2274-2279, http://ac.els-cdn.com/S0043164811003413/1-s2.0-S0043164811003413-main.pdf?tid=f4c08a4b0b40fb778acceb1e91c3b4f0&acdnat=1332753101_6a5fd8eddc8b8ac5cde3a26a4aab41da, 26.03.2012.

[13] Kovačević, V., Vrsaljko, D.: *Inženjerstvo površina*-podloge za predavanja, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Zagreb, 2011.,
www.fkit.unizg.hr/download/repository/Nastavni_materijali_za_kolegij_Inzenjerstvo_povrsina_poglavlje_TRIBOLOGIJA%5B1%5D.pdf, 09.05.2012.

[14] N.N.: *Erozijsko trošenje*,
http://www.vorax.hr/dokumenti/hr/vrst_tros_hr.html, 09.05.2012.

[15] Vlastita arhiva fotografija

[16] *Super E-Metal*, <http://belzona.hr/pdf/1221Flyer.pdf>. 10.02.2012.

PRILOG 1

Belzona® 1111
(SUPER METAL)



UPUTE ZA RAD

1. ZA OSIGURANU EFEKTIVNU MOLEKULARNU VEZU

NANJETI JEDINO NA ČISTE, ČVRSTE, SUHE I DOBRO NAHRAPAVLJENE POVRŠINE

- Odstranite sva otpadajuća onečišćenja i odmastite s krpom umočenom u **Belzona® 9111** (Čistač/odmašćivač) ili neki drugi efektivni odmašćivač koji ne ostavlja trag npr. metil etil keton, trikloretilen, perkloretilen. Upotrijebite plamen za odstranjenje ulja u duboko impregniranim površinama.
- Ohrapavite površinu pjeskarenjem, grebanjem ili brušenjem.
- Stabilizirajte pukotine bušenjem ekstremiteta. Dugačke pukotine treba bušiti, oblijepiti trakama i spojiti vijkom svakih 77-103 mm.
- Izdubite sve pukotine pomoću bušilice sa željeznom četkom.
- Na kraju ponovo odmastite. Upotrijebite čiste krpe da bi izbjegli širenje kontaminacije.

MJESTA GDJE SE BELZONA® 1111 NESMIJE PRIMITI
Nanesite tanki sloj **Belzona® 9411** (Odvajač) i dopustite da se suši 15-20 min prije koraka 2 u ovim uputama.

2. SPAJANJE DVAJU KOMPONENETI

Prenesite sav sadržaj Baze i Soldifera na **Belzona® radnu površinu**. Izmiješajte ih temeljito zajedno, da dobijete istovrsni materijal (jednaka siva boja cijelog smiješanog materijala).

1. MJEŠANJE PRI NISKIM TEMPERATURAMA

Za lakše miješanje kada je temperatura materijala ispod

5 °C, zagrijavajte kantice Baze i Soldifera dok sadržaj ne postigne temperaturu 20-25 °C.

2. VRIJEME RADA

Od početka miješanja **Belzone® 1111** mora biti upotrijebljena u vremenskim periodima kako slijedi.

Temperatura	5 °C	15 °C	25 °C
Upotrijebi sav materijal u	35 min	25 min	15 min

3. MIJEŠANJE MALIH KOLIČINA

Za miješanje malih količina **Belzone® 1111** upotrijebite:
3 dijela Baze na 1 dio Soldifera po volumenu
5 dijelova Baze na 1 dio Soldifera po težini

4. VOLUMSKI KAPACITET IZMJEŠANE BELZONA® 1111

398 cm³ po kg.

3. APLIKACIJA BELZONA® 1111

ZA ODLIČNE REZULTATE

Ne nanašajte kada:

- je temperatura ispod 5 °C ili je relativna vlažnost iznad 90 %.
- je prisutna kiša, snijeg ili magla.
- je vlaga na metalnim površinama ili postoji mogućnost penetracije kondenzata.
- postoji mogućnost da se radno okruženje kontaminira uljno/masno od dodatne opreme ili dima od kerozin-grijača ili duhanskog dima.

- Nanesite **Belzonu® 1111** direktno na pripremljenu površinu s plastičnim Belzona nožem ili špatolom koji su dani.
- Pritišćite čvrsto u površinu da ispunite pukotine, odstranite zaostali zrak (skraćenim kistom čvrstim kružnim pokretima) i osigurajte maksimalan kontakt sa površinom.

- c) Pukotine, utore i rupe prekržite **Belzonom**[®] **9341** (Armaturna mrežica).
- d) Oblikujte **Belzona**[®] **1111** u pravilni profil sa plastičnim aplikatorom ili alternativno dopustite da se stvrдне te mašinski obradite.

ČIŠĆENJE

Alat za miješanje treba prati odmah nakon upotrebe s **Belzona**[®] **9111** ili sa nekim drugim efektivnim odmaščivačem npr. metil etil keton, trikloretilen, perkloretilen. Kistove, injekcijske pištolje, sprejne alate i bilo koje druge aplikacijske alate treba očistiti pomoću prikladnog odmaščivača kao **Belzona**[®] **9121**, metil etil keton, trikloretilen, perkloretilen, aceton.

4. ZAVRŠAVANJE MOLEKULARNE REAKCIJE

Dopustite **Belzoni**[®] **1111** da se stvrдне prema ispod prikazanim uvjetima.

Temp.	Kretanje ili upotreba bez opterećenja ili uranjanja	Obrada ili lako opterećenje	Potpuno mehaničko ili termalno opterećenje	Uranjanje u kemikalije
5 °C	4 sata	6 sati	4 dana	5 dana
10 °C	3 sata	4 sata	2 dana	4 dana
15 °C	2 ¼ sata	3 sata	1 ½ dan	3 dana
20 °C	1 ¼ sata	2 sata	1 dan	2 dana
25 °C	1 ¼ sata	1 ½ sata	20 sati	1 ½ dan
30 °C	¾ sata	1 sat	16 sati	1 dan

Ova vremena su za debljinu za otprilike 6 mm; bit će reducirana za deblje i produžena za tanje dijelove.

5. UTJECAJ NA SEKUNDARNU MOREKULARNU REAKCIJU

Mehanička svojstva, toplinska otpornost i kemijska otpornost **Belzone**[®] **1111** će se poboljšati dodatnim stvrdnjavanjem.

Nakon 2 – 4 sata od aplikacije **Belzone**[®] **1111**, dodatno stvrdnite materijal grijačima zraka, toplinski lampama i dr. za minimalno 4 sata pri 60 – 100 °C.

Što se veća temperatura dodatnog stvrdnjavanja adoptira, to se postižu bolje karakteristike.

6. NANOS DODATNOG SLOJA BELZONE[®] 1111

Kada je dodatan sloj **Belzone**[®] **1111** potreban, treba ga nanijeti što je prije moguće nakon prvog sloja. Kada prvi sloj **Belzone**[®] **1111** postane dimenzionalno stabilna površinu je potrebno nahrapaviti, jer će se inače smanjiti adhezija međusloja.

HEALTH & SAFETY INFORMATION

Please read and make sure you understand the enclosed Material Safety Data Sheets.

All descriptions are based on the results of long term tests carried out in our laboratories and are believed to be true and accurate. No condition or warranty is given covering the results from the use of our products in any particular case, whether the purpose is disclosed or not, and we cannot accept liability if the desired results are not obtained.

Copyright © 1996 by Belzona International Limited. All rights reserved. Certain portions of this work copyright © 1980, 1984, 1985, 1986, 1987, 1988, 1989, 1991, 1992, 1994, 1995 by Belzona International Limited. No part of this work covered by the copyrights herein may be reproduced or used in any form or by any means - graphic, electronic or mechanical including photocopying, recording, taping or information storage and retrieval systems - without written permission of the publisher.

Belzona[®] is a registered trademark

Belzona Polymerics Ltd.,
Claro Road,
Harrogate, HG1 4AY,
England.
Tel: +44 (0) 1423 567641
Fax: +44 (0) 1423 505967

Belzona Inc.,
2000 N.W. 88 Court,
Miami, Florida 33172,
U.S.A.
Tel: +1 (305) 594 4994
Fax: +1 (305) 599 1140



BS EN ISO 9002 : 1994
Certificate No. Q/09335



ISEA d.o.o.
Dedići 47
10000 Zagreb
tel/fax: 01 4921 530
e-mail: isea@net.hr

PRILOG 2

Belzona® 1221
(SUPER E-METAL)



UPUTE ZA RAD

1. ZA OSIGURANU EFEKTIVNU MOLEKULARNU VEZU

NANJETI JEDINO NA ČISTE, ČVRSTE, SUHE I DOBRO NAHRAPAVLJENE POVRŠINE

- Odstranite sva otpadajuća onečišćenja i odmastite s krpom umočenom u **Belzona® 9111** (Čistač/odmašćivač) ili neki drugi efektivni odmašćivač koji ne ostavlja trag npr. metil etil keton, trikloretilen, perkloretilen. Upotrijebite plamen za odstranjenje ulja u duboko impregniranim površinama.
- Ohrapavite površinu pjeskarenjem, grebanjem ili brušenjem.
- Na kraju ponovo odmastite. Upotrijebite čiste krpe da bi izbjegli širenje kontaminacije.

ZAČEPLJAVANJE SVIH CURENJA

Propusna mjesta se mogu privremeno začepiti olovom, plutom ili drvenim čepovima, dok traje priprema površine za aplikaciju **Belzone® 1221**.

MJESTA GDJE SE BELZONA® 1221 NESMIJE PRIMITI
Nanesite tanki sloj **Belzona® 9411** (Odvajač) i dopustite da se suši 15-20 min prije koraka 2 u ovim uputama.

2. SPAJANJE DVAJU KOMPONENETI

- Odrežite jedan kut obju vrećica Baze i Soldifera, što je moguće bliže rubu.
- Pomoću ravnog dijela špatole ili drugog alata za miješanje, istisnite čitav sastav vrećice na danu **Belzona®** radnu površinu.
- Izmiješajte ih temeljito zajedno, da dobijete istovrsni materijal (jednaka siva boja cijelog smiješanog materijala).

1. VRIJEME RADA

Od početka miješanja **Belzone® 1221** mora biti upotrijebljena u vremenskim periodima kako slijedi.

Temperatura	5 °C	15 °C	25 °C
Upotrijebi sav materijal u	5 min	4 min	3 min

2. MIJEŠANJE MALIH KOLIČINA

Za miješanje malih količina **Belzone® 1221** upotrijebite:
1 dijela Baze na 1 dio Soldifera po volumenu
2 dijelova Baze na 1 dio Soldifera po težini

3. VOLUMSKI KAPACITET IZMJEŠANE BELZONE® 1221

550 cm³ po kg.
67 cm³ po 125gm. pakiranja

3. APLIKACIJA BELZONE® 1221

ZA ODLIČNE REZULTATE

Ne nanašajte kada:

- je temperatura ispod 5 °C ili je relativna vlažnost iznad 90 %.
- je prisutna kiša, snijeg ili magla.
- je vlaga na metalnim površinama ili postoji mogućnost penetracije kondenzata.
- postoji mogućnost da se radno okruženje kontaminira uljno/masno od dodatne opreme ili dima od kerozin-grijača ili duhanskog dima.

ZA POPRAVKE

- Nanesite **Belzonu® 1221** na **Belzonu® 9341** (Armatura mrežica).
- Postavite mrežicu na površinu tako da se namazana strana spoji sa površinom.

Kada je predmet cijev, mrežica se mora više puta omotati oko cijevi tako da **Belzona® 1221** počne izlaziti kroz **Belzonu® 9341** mrežicu van.
- Nanesite konačan sloj **Belzone® 1221** na **Belzonu® 9341** mrežicu.

ZA NADogradnju

- a) Nanesite **Belzonu**[®] **1221** direktno na pripremljenu površinu s plastičnim Belzona nožem ili špatolom koji su dani.

Mažite čvrsto, pritišćući, tako da popunite bilo kakve pukotine, da isključite mogućnost zagađenog zraka te da osigurate maksimalan kontakt s površinom.

- b) Oblikujte **Belzona**[®] **1221** u pravilni profil ili alternativno dopustite da se stvrdne te mašinski obradite.

ČIŠĆENJE

Alat za miješanje treba prati odmah nakon upotrebe s **Belzona**[®] **9111** ili sa nekim drugim efektivnim odmašćivačem npr. metil etil keton, trikloretilen, perkloretilen. Kistove, injekcijske pištolje, sprejne alate i bilo koje druge aplikacijske alate treba očistiti pomoću prikladnog odmašćivača kao **Belzona**[®] **9121**, metil etil keton, trikloretilen, perkloretilen, aceton.

4. ZAVRŠAVANJE MOLEKULARNE REAKCIJE

Dopustite **Belzoni**[®] **1221** da se stvrdne prema ispod prikazanim uvjetima.

Temp.	Kretanje ili upotreba bez opterećenja ili uranjanja	Obrada i/ili lako opterećenje	Potpuno mehaničko ili termalno opterećenje	Uranjanje u kemikalije
5 °C	17 min.	60 min.	120 min.	48 sati
10 °C	16 min.	50 min.	100 min.	36 sati
15 °C	15 min.	45 min.	90 min.	30 sati
20 °C	14 min.	40 min.	75 min.	24 sata
25 °C	13 min.	35 min.	60 min.	20 sati
30 °C	12 min.	30 min.	45 min.	16 sati

Ova vremena su za debljinu od otprilike 6 mm; bit će reducirana za deblje i produžena za tanje dijelove.

5. NANOS DODATNOG SLOJA BELZONE[®] 1221

Treba ga nanijeti tamo gdje je potrebno i to u vremenu do 4 sata nakon prvog sloja, pod ambijentalnom temperaturom 5-30 °C.

Kada je prošlo maksimalno vrijeme za aplikaciju dodatnog sloja, stvrdnuta se **Belzona**[®] **1221** mora nahrapaviti prije nanašanja dodatnog sloja **Belzone**[®] **1000 Serije** proizvoda ili **Belzone**[®] **2000 Serije** proizvoda.

6. APLIKACIJA BELZOA 1000 SERIJE PROIZVODA NA BELZONU[®] 1221

Ako popravak uključuje aplikaciju e dodatnog sloja **Belzone**[®] **1000 Serija** proizvoda, onda se površinu **Belzone**[®] **1221** mora ostaviti da se stvrdne prije no što se pravilno nahrapavi prethodno aplikaciji **Belzona**[®] **1000 Serije** proizvoda.

Ne pokušavajte nanijeti druge **Belzona**[®] **1000 Serije** proizvoda na **Belzonu**[®] **1221** metodom "mekano na mekano".



Certified to
ANSI/NSF 61

BELZONA 1221 JE ODOBRENA ZA KONTAKT SA USKLADIŠTENOM VODOM U SLJEDECIM GRANICAMA:

Za rezervoare i prijenosne cijevi – ne više od 10% površine

Za stambenu uporabu – ne više od 150 m² po stanu.

HEALTH & SAFETY INFORMATION

Please read and make sure you understand the enclosed Material Safety Data Sheets.

All descriptions are based on the results of long term tests carried out in our laboratories and are believed to be true and accurate. No condition or warranty is given covering the results from the use of our products in any particular case, whether the purpose is disclosed or not, and we cannot accept liability if the desired results are not obtained.

Copyright © 1996 by Belzona International Limited. All rights reserved. Certain portions of this work copyright © 1990, 1984, 1985, 1986, 1987, 1988, 1989, 1991, 1992, 1994, 1995 by Belzona International Limited. No part of this work covered by the copyrights hereon may be reproduced or used in any form or by any means - graphic, electronic or mechanical including photocopying, recording, taping or information storage and retrieval systems - without written permission of the publisher.

Belzona[®] is a registered trademark

Belzona Polymerics Ltd.,
Claro Road,
Harrogate, HG1 4AY,
England.
Tel: +44 (0) 1423 567641
Fax: +44 (0) 1423 505967

Belzona Inc.,
2000 N.W. 88 Court,
Miami, Florida 33172,
U.S.A.
Tel: +1 (305) 594 4994
Fax: +1 (305) 599 1140



BS EN ISO 9002 : 1994
Certificate No. Q/09335

BELZONA[®]

ISEA d.o.o.
Bediči 47
10000 Zagreb
tel/fax: 01 4921 530
e-mail: isea@net.hr

PRILOG 3

BELZONA 1111

Product Specification Sheet



1. PRODUCT NAME

Belzona® 1111 (Super Metal)
Engineering grade repair system for repairing and rebuilding machinery and equipment.

Also used as a high strength structural adhesive for bonding or for creation of irregular load bearing shims with good electrical insulation characteristics.

For use in Original Equipment Manufacture or repair situations.

2. MANUFACTURER

Belzona Inc.,
2000 N.W. 88th Court
Miami, Florida 33172

Belzona Polymerics Ltd.
Claro Road, Harrogate,
HG1 4DS, England.

3. PRODUCT DESCRIPTION

A two component paste grade system based on a silicon steel alloy blended with high molecular weight reactive polymers and oligomers. When cured, the material is durable yet fully machinable.

Applications

- Shafts
- Hydraulic rams
- Bearing housings
- Keyways
- Engine blocks
- Casings
- Pipes
- Tanks
- Flange faces

4. TECHNICAL DATA

Base Component

Appearance	Paste
Color	Dark gray
Gel strength at 77°F (25°C)	>150 g/cm HF
Density	2.70 - 2.90 g/cm ³

Solidifier Component

Appearance	Paste
Color	Light gray
Gel strength at 77°F (25°C)	>70 g/cm QV
Density	1.63 - 1.69 g/cm ³

Mixed Properties at 68°F (20°C)

Mixing Ratio by Weight (Base : Solidifier)	5 : 1
Mixing Ratio by Volume (Base : Solidifier)	3 : 1
Mixed Form	Paste
Peak Exotherm Temperature	239 - 284°F (115 - 140°C)
Time to Peak Exotherm	25 - 42 mins.
Slump Resistance	nil at 0.5 inch (1.27 cm)
Mixed Density	2.5 g/cm ³

• Shelf Life:

Separate base and solidifier components shall have a shelf life of at least 5 years when stored between 32°F (0°C) and 86°F (30°C).

• Working Life:

Will vary according to temperature. At 77°F (25°C) the usable life of mixed material is 15 minutes.

• Volume Capacity:

The volume capacity of a 1 kg. unit of mixed **Belzona® 1111** is 24.3 in³ (398 cm³).

• Cure Time:

Will be reduced for thicker sections and extended for thinner applications. At a thickness of approximately ¼ in. (6 mm), allow to solidify for the times shown in the chart below before subjecting it to the conditions indicated.

5. PHYSICAL/MECHANICAL PROPERTIES

Determined after 7 days cure at 77°F (25°C). Post curing the material with heat results in a more highly cross-linked polymer.

For enhanced performance this material may be post-cured by heating to 212°F (100°C) for a period of up to 24 hours.

• Abrasion Resistance:

Taber
The Taber abrasion resistance with 1 kg load is typically:
H10 Wheels (Wet) 889 mm³
CS17 Wheels (Dry) 56 mm³
loss per 1000 cycles

• Adhesion:

Cleavage
When tested to ASTM D1062 typical values will be:
Mild steel 1400 lbs./in. (25 kg/mm)

Tensile Shear

When tested in accordance with ASTM D1002, using degreased strips, grit blasted to a 3-4 mil profile, typical values will be:

Aluminum	1,800 psi (126 kg/cm ²)
Brass	1,670 psi (117 kg/cm ²)
Copper	1,900 psi (133 kg/cm ²)
Formica	>500 psi (35 kg/cm ²)*
Mild steel	2,700 psi (190 kg/cm ²)
Polyester/	
glass fiber	>700 psi (49 kg/cm ²)*
Stainless steel	2,800 psi (197 kg/cm ²)

* breakdown of substrate

• Chemical Resistance:

Once fully cured, the material will demonstrate excellent resistance to the following chemicals;

- carbonic acid
- 10% hydrochloric acid
- 10% nitric acid
- 5% phosphoric acid
- 10% sulfuric acid
- 20% ammonia solution
- lime water
- 20% potassium hydroxide
- 20% sodium hydroxide
- propanol
- butanol
- ethylene glycol
- diethanolamine
- methylamine (25% in water)
- hydrocarbons
- mineral oils
- inorganic salts

* For a more detailed description of chemical resistance properties, refer to Product Data M503.

TEMPERATURE	CURE TIMES					
	41°F (5°C)	50°F (10°C)	59°F (15°C)	68°F (20°C)	77°F (25°C)	86°F (30°C)
Movement or use involving no loading or immersion	4 hrs	3 hrs	2¼ hrs	1¼ hrs	1 hr	¾ hr
Machining and/or light loading	6 hrs	4 hrs	3 hrs	2 hrs	1½ hrs	1 hr
Full electrical, mechanical or thermal loading	4 days	2 days	1½ day	1 day	20 hrs	16 hrs
Immersion in chemicals	5 days	4 days	3 days	2 days	1½ days	1 day

• Compressive Strength:

When tested in accordance with ASTM D695, typical values obtained will be:

13,000 psi (914 kg/cm ²)	ambient cure
15,000 psi (1055 kg/cm ²)	post cure

• Compressive Modulus:

When tested in accordance with ASTM D695, typical values obtained will be:

ambient cure	2.7 x 10 ⁵ psi (1.9 x 10 ⁴ kg/cm ²)
post cure	3.7 x 10 ⁵ psi (2.6 x 10 ⁴ kg/cm ²)

• Corrosion Resistance:

Will show no visible signs of corrosion after 5,000 hours exposure in the ASTM B117 salt spray cabinet.

• Electrical Properties:**Dielectric Strength**

Tested to ASTM D149 is typically 84 volts/mil (3360 volts/mm)

Dielectric Constant

Tested to ASTM D150 is typically

10 at 1000Hz

6 at 1 MHz

Dissipation Factor

Tested to ASTM D150 is typically

<0.0005 at 1 MHz

0.0120 at 1000 HZ

Volume Resistivity

Tested to ASTM D257 is typically

5.3 x 10¹² ohm cm.

Surface Resistivity

Tested to ASTM D257 is typically

4.7 x 10¹³ ohm.

• Flexural Strength:

When tested to ASTM D790, typical values obtained will be:

9,000 psi (633 kg/cm ²)	ambient cure
13,000 psi (914 kg/cm ²)	post cure

• Flexural Modulus:

When tested in accordance with ASTM D790, typical values obtained will be:

ambient cure	10.6 x 10 ⁵ psi (7.45 x 10 ⁴ kg/cm ²)
post cure	9.1 x 10 ⁵ psi (6.4 x 10 ⁴ kg/cm ²)

• Hardness:

The hardness of the material when tested to ASTM D2240 is typically 89 Shore D.

• Heat Distortion**Temperature:**

Tested to ASTM D648 (264 psi fiber stress), typical values obtained will be:

136°F (58°C)	ambient cure
216°F (102°C)	post cure

• Heat Resistance:

For many typical applications, the product is thermally stable up to 392°F (200°C) dry and 200°F (93°C) wet, and down to -40°F (-40°C)

• Impact Strength:

The impact strength when tested to ASTM D256 is typically:

1.3 ft.lb./in., 70 J/m (un-notched) or
0.65 ft.lb./in., 35 J/m (reverse notched)

• Shrinkage:

Shrinkage is typically <0.025% when tested in accordance with DOD-C-24176A method 4.6.12.

• Thermal Expansion:

Tested to ASTM E228 the coefficient of thermal expansion is typically 31.7 ppm/°C.

6. SURFACE PREPARATION AND APPLICATION PROCEDURES

For proper technique, refer to the Belzona® Instructions For Use leaflet which is enclosed with each packaged product.

7. AVAILABILITY AND COST

Belzona® 1111 is available from a network of Belzona® Distributors throughout the world for prompt delivery to the application site. For information, consult the Belzona® Distributor in your area.

8. WARRANTY

Belzona® guarantees this product will meet the performance claims stated herein when material is stored and used as instructed in the Belzona® Instructions For Use leaflet. Belzona® further guarantees that all its products are carefully manufactured to ensure the highest quality possible and tested strictly in accordance with universally recognised standards (ASTM, ANSI, BS, DIN, etc.). Since Belzona® has no control over the use of the product described herein, no warranty for any application can be given.

9. TECHNICAL SERVICES

Complete technical assistance is available and includes fully trained Technical Consultants, technical service personnel and fully staffed research, development and quality control laboratories.

10. HEALTH AND SAFETY

Prior to using this material, please consult the relevant Material Safety Data Sheets.

11. APPROVALS/ ACCEPTANCES

The material has received recognition from organizations worldwide including:

- AMERICAN BUREAU OF SHIPPING
- U.S. DEPARTMENT OF NAVY
- GAZ DE FRANCE
- RJB MINING
- AIR B.P.
- NATO
- NUCLEAR INDUSTRY (DBA TESTED)
- U.S.D.A.
- GENERAL MOTORS
- TOYOTA
- NIPPON KAIJI KYOKAI
- RUSSIAN REGISTER OF SHIPPING
- POLISH REGISTER OF SHIPPING
- KOREAN REGISTER OF SHIPPING
- CHINA CLASSIFICATION SOCIETY

The technical data contained herein is based on the results of long term tests carried out in our laboratories and to the best of our knowledge is true and accurate on the date of publication. It is however subject to change without prior notice and the user should contact Belzona to verify the technical data is correct before specifying or ordering. No guarantee of accuracy is given or implied. We assume no responsibility for rates of coverage, performance or injury resulting from use. Liability, if any, is limited to the replacement of products. No other warranty or guarantee of any kind is made by Belzona, express or implied, whether statutory, by operation of law or otherwise, including merchantability or fitness for a particular purpose.

Nothing in the foregoing statement shall exclude or limit any liability of Belzona to the extent such liability cannot by law be excluded or limited.

Copyright © 2011 Belzona International Limited. Belzona® is a registered trademark.



ISO 9001:2008
Q 09335
ISO 14001:2004
EMS 509612

Manufactured under an ISO 9000
Registered Quality Management System



PRILOG 4



World leaders in the conservation of man-made resources and the environment

PRODUCT SPECIFICATION SHEET BELZONA® 1221

1. PRODUCT NAME

Belzona® 1221 (Super E-Metal)

A rapidly solidifying repair system for emergency and permanent bonding, repairing or rebuilding of all ferrous and non-ferrous metals.

2. MANUFACTURER

Belzona Inc.,
2000 N.W. 88th Court
Miami, Florida 33172

Belzona Polymerics Ltd.,
Claro Road, Harrogate,
HG1 4AY, England.

3. PRODUCT DESCRIPTION

A two component system consisting of a base and solidifier is packaged in sealed sachets. The product is based on a silicon steel alloy blended within high molecular weight polymers and oligomers. Developed for high speed emergency repairs it is ideally suited for application to:

- Leaking pipes
- Leaking tanks
- Scored hydraulic rams
- Stripped threads
- Plastic/metal joints
- Holed casings
- Bearing seats
- Battery terminal posts
- Broken insulators
- Ducts



Certified to NSF/ANSI 61

4. TECHNICAL DATA

Base Component

Appearance	Paste
Color	Dark gray
Gel strength at 77°F (25°C)	100 - 300 g/cm
Density	2.20 - 2.40 g/cm ³

Solidifier Component

Appearance	Paste
Color	White
Gel strength at 77°F (25°C)	50 - 150 g/cm
Density	1.10 - 1.30 g/cm ³

Mixed Properties

Mixing Ratio by Weight (Base : Solidifier)	2 : 1
Mixing Ratio by Volume (Base : Solidifier)	1 : 1
Mixed Density	1.70 - 1.90g/cm ³

• Shelf Life:

Unopened sachets stored between 32°F (0°C) and 86°F (30°C) are expected to have a 5 year shelf life. Once opened, material shelf life will be several weeks.

• Working Life:

Will vary according to temperature. At 77°F (25°C) use all mixed material within 3 minutes.

• Volume Capacity:

The volume capacity for the material is 33.5 cu.in (550 cm³) per kg. The unit size is 125g.

• Cure Time:

Will be reduced for thicker sections and extended for thinner applications. At a thickness of approximately ¼ in. (6 mm), allow to solidify for the times shown in the chart below before subjecting it to the conditions indicated.

5. PHYSICAL / MECHANICAL PROPERTIES

• Adhesion:

Tensile Shear

The tensile shear adhesion to a grit blasted substrate with a 3 - 4 mil. profile, when tested to ASTM D1002 after 7 days cure at 77°F (25°C), is typically

Mild steel	2500 psi (175 kgs/cm ²)
Copper	1800 psi (126 kgs/cm ²)
Aluminum	1500 psi (105 kgs/cm ²)

• Chemical Resistance:

The material when allowed to cure for 7 days at 77°F (25°C) prior to immersion, will offer excellent resistance to the following chemicals:

ACIDS

- 10% hydrochloric
- 20% Sulfuric
- 10% Nitric
- 10% Phosphoric
- 10% Acetic
- 10% Lactic

BASES

- 40% Sodium hydroxide

OTHERS

- Diethanolamine
- Sodium hypochlorite (bleach)
- Kerosine
- Gasoline
- 37% Formalin

• Compressive Strength:

The compressive strength of the material, when tested to ASTM D695 after 7 days cure at 77°F (25°C), is typically 8100 psi (570 kgs/cm²).

TEMPERATURE	CURE TIMES					
	41°F (5°C)	50°F (10°C)	59°F (15°C)	68°F (20°C)	77°F (25°C)	86°F (30°C)
Movement or use involving no loading or immersion	17 min.	16 min.	15 min.	14 min.	13 min.	12 min.
Machining and/or light loading	60 min.	50 min.	45 min.	40 min.	35 min.	30 min.
Full mechanical or thermal loading	120 min.	100 min.	90 min.	75 min.	60 min.	45 min.
Immersion in chemicals	48 hrs.	36 hrs.	30 hrs.	24 hrs.	20 hrs.	16 hrs.

• **Corrosion Resistance:**

When fully cured, the material will show no visible signs of corrosion after 5,000 hours exposure in the ASTM B117-73 salt spray cabinet.

• **Electrical Properties:**

Dielectric Strength
218 volts/mil (8720 volts/mm)

Dielectric Constant

at 1000HZ 4
at 1 MHZ 4

Dissipation Factor

at 1000 HZ < 0.0005
at 1 MHZ < 0.0005

Volume Resistivity

(ohm cm) 6.3×10^{15}

Surface Resistivity

(ohms) 1.5×10^{15}

• **Flexural Strength:**

The flexural strength of the material, when tested to ASTM D790 after 7 days at 77°F (25°C), is typically 8600 psi (605 kgs/cm²).

• **Heat Distortion Temperature:**

The heat distortion temperature of the material, when tested to ASTM D648 (264 psi fiber stress) after 7 days at 77°F (25°C), is typically 124°F (51°C).

• **Heat Resistance:**

For many typical applications, the product is thermally stable to 302°F (150°C) dry and 140°F (60°C) wet.

• **Hardness:**

The hardness of the material when tested to ASTM D2240 after 7 days cure at 77°F (25°C), is typically 80 Shore D.

• **Thermal Expansion:**

Tested to ASTM E228 the coefficient of thermal expansion is typically 81.5 ppm/°C.

• **Water Uptake:**

When tested for 3 days at 77°F (25°C) water uptake is typically 1%.

6. SURFACE PREPARATION AND APPLICATION PROCEDURES

For proper technique, refer to the Belzona Instructions for Use leaflet which is enclosed with each packaged product.

7. AVAILABILITY AND COST

Belzona® 1221 is available from a network of Belzona® Distributors throughout the world for prompt delivery to the application site. For information, consult the Belzona® Distributor in your area.

8. WARRANTY

Belzona® guarantees this product will meet the performance claims stated herein when material is stored and used as instructed in the Belzona® Instructions for Use leaflet. Belzona® further guarantees that all its products are carefully manufactured to ensure the highest quality possible and tested strictly in accordance with universally recognised standards (ASTM, ANSI, BS, DIN, etc.). Since Belzona® has no control over the use of the product described herein, no warranty for any application can be given.

9. TECHNICAL SERVICES

Complete technical assistance is available and includes fully trained Technical Consultants, technical service personnel and fully staffed research, development and quality control laboratories.

10. HEALTH AND SAFETY

Prior to using this material, please consult the relevant Material Safety Data Sheets.

11. APPROVALS/ ACCEPTANCES

ABS
U.S.D.A.
NUCLEAR POWER INDUSTRY
(DBA Tested)
NSF
NATO
G.E. NUCLEAR ENERGY
FORD

The technical data contained herein is based on the results of long term tests carried out in our laboratories and to the best of our knowledge is true and accurate on the date of publication. It is however subject to change without prior notice and the user should consult Belzona to verify the technical data is correct before specifying or ordering. No guarantee of accuracy is given or implied. We assume no responsibility for rates of coverage, performance or injury resulting from use. Liability, if any, is limited to the replacement of products. No other warranty or guarantee of any kind is made by Belzona, express or implied, whether statutory, by operation of law or otherwise, including merchantability or fitness for a particular purpose.

Nothing in the foregoing statement shall exclude or limit any liability of Belzona to the extent such liability cannot by law be excluded or limited.

Copyright © 2006 by Belzona International Limited. All rights reserved. Certain portions of this work copyright © 1996-2004 by Belzona International Limited. No part of this work covered by the copyrights herein may be reproduced or used in any form or by any means - graphic, electronic or mechanical including photocopying, recording, taping or information storage and retrieval systems - without written permission of the publisher. Belzona® is a registered trademark.

Belzona® 1221 - Product Specification Sheet - (2)

Printed in England Publication No. 5-2-06

Belzona Polymerics Ltd.,
Claro Road,
Harrogate, HG1 4AY, England.
Tel: +44 (0) 1423 567641
Fax: +44 (0) 1423 505967
E-Mail: belzona@belzona.co.uk



ISO 9001:2000
Q 09335

Belzona Inc.,
2000 N.W. 88 Court,
Miami, Florida 33172, U.S.A.
Tel: +1 (305) 594 4994
Fax: +1 (305) 599 1140
E-Mail: belzona@belzona.com



www.belzona.com