

Ivan JURAGA
Ivan STOJANOVIĆ
Tihana NORŠIĆ

Zaštita brodskoga trupa od korozije i obraštanja

Pregledni rad

Tehnološki korektno izvedena zaštita od korozije znatno utječe na produljenje životnog vijeka broda. Najraširenija tehnologija zaštite brodskoga trupa od korozije jest zaštita premazima, ali u obzir dolaze i koriste se i druge metode, npr. katodna zaštita. *Fouling* (engl. obraštanje) su kolonije biljnih i životinjskih morskih organizama na uronjenim površinama brodova, plutača, *offshore* i drugih potopljenih objekata koje izazivaju ozbiljne probleme: povećanje mase uronjene konstrukcije, povećanja otpora i smičnih naprezanja, anaerobnu koroziju kovnih površina. Kroz povijest su se pojavile nebrojene metode zaštite od obraštanja, a danas su u uporabi isključivo premazi koji se razvijaju u sve kvalitetnija (i okolišu ugodna) rješenja. U tehnologiji nanošenja AF premaza jednako su važni priprema površine, okolišni uvjeti i pravilno nanošenje kvalitetnoga premaza.

Ključne riječi: obraštanje, zaštita od korozije, zaštitni premazi

Protecting the Ship's Hull Against Corrosion and Fouling

Review paper

Corrosion protection if carried out technologically correctly, significantly affects the extension of ship's lifetime. The most widely used method for protecting steel is application of coatings, but other methods such as cathodic protection are also applied. Fouling is the settlement of animal and vegetable marine organisms on underwater surfaces of ships, buoys, offshore structures and other immersed objects which cause severe problems: increased weight of the structure, increased drag and shear stress, anaerobic corrosion of metal surfaces. The history records numerous methods of fouling protection, but today coatings are applied exclusively (development of advanced, environment friendly coatings). Equally important in antifouling technology are surface preparation and climatic conditions as well as correct application of a high-quality coating.

Keywords: corrosion protection, fouling, protective coatings

Adresa autora (Authors' address):
Fakultet strojarstva i brodogradnje
u Zagrebu, Ivana Lučića 5, 10000
Zagreb

Primljeno (Received): 2007-03-21
Prihvaćeno (Accepted): 2007-04-23
Otvoreno za raspravu (Open for discussion): 2008-09-30

1. Uvod

Brod kao složen i skup proizvod svoju funkciju mora obavljati tijekom životnog vijeka od nekoliko desetljeća, u uvjetima koji su s korozijskoga stajališta iznimno nepovoljni. Korozijska oštećenja mogu uzrokovati velike probleme na brodskoj konstrukciji, a s vremenom i kolaps konstrukcije što osim materijalne štete može uzrokovati ljudske žrtve, ekološke probleme i sl. Tehnički ispravno i pravodobno izvedena antikorozijska zaštita znatno utječe na produljenje životnog vijeka broda.

2. Zaštita brodskoga trupa od korozije

Najraširenija tehnologija zaštite brodskoga trupa od korozije jest zaštita premazima, ali u obzir dolaze i koriste se i druge metode. U brodogradnji se najčešće koriste zaštitni premazi iz grupe organskih prevlaka, dok je udio primjene svih ostalih tipova prevlaka bitno manji. Ovisno o dijelu konstrukcije koji se štiti, premazi imaju i druge namjene osim zaštitne (protuobraštajni, protuklizni, protupožarni itd.). Kod izvođenja zaštite od iznimne je važnosti odgovarajuće pripremiti podlogu, korektno nanositi premaz, te osigurati dobre radne uvjete (osvjetljenje, dostupnost površine, ventilacija) uz odgovarajuću mikroklimu (temperatura okolice, relativna vlažnost i sl.). Pravilan izbor metode bojenja

bitno utječe na cjelokupnu zaštitu površine (brzinu zaštićivanja i kakvoću izvedene operacije). Najčešće se koristi: bojenje četkom, valjcima, prskanje sa zrakom, bezračno i elektrostatsko prskanje [1].

Uz zaštitu premazima, važna je metoda zaštite od korozije u brodogradnji *katodna zaštita*. Postupak se temelji na privođenju elektrona kovini, bilo iz negativnoga pola istosmjernje struje (*narinuta struja*) bilo iz neplemenitije kovine (*žrtvovana anoda*), sve dok potencijal objekta ne padne ispod zaštitne vrijednosti jednake ravnotežnom potencijalu anode korozijskoga članka, čime nestaje afinitet za koroziju, tj. kovina postaje imuna [1].

Inhibitore korozije definiramo kao supstance koje usporavaju korozijske procese kada se u malim koncentracijama dodaju okoliču. Prema mehanizmu djelovanja dijele se na: anodne, katodne i mješovite, a posebnu skupinu čine hlapivi (isparljivi) inhibitori (VCI – engl. *Volatile Corrosion Inhibitors*). To su organske tvari u čvrstom stanju koje imaju dostatno visok tlak para da bi sublimacijom (izravno isparavanje čvrste faze) učinile nekorozijskim okolni zrak ili neki drugi plin bez potrebe izravnog nanošenja na kovinu. Zbog svojega specifičnog djelovanja inhibitori nalaze primjenu u zaštiti nepristupačnih mjesta brodske konstrukcije kao što su npr. kobilica, unutrašnjost lista kormila, rog kormila, bokoštitičnik, cjevovodi, brodska oprema, električni kontakti itd.

Veća primjena inhibitora u brodogradnji bez sumnje bi značila tehnološki, ali i ekonomski napredak u području primjene tehnologija zaštite od korozije [2].

Korozijski postojeći materijali općenito su materijali koje karakterizira korozijska otpornost na djelovanje medija koji ih okružuju. U brodogradnji se najviše primjenjuju nehrđajući čelici, bakrene i aluminijske legure. Nehrđajući se čelici, usprkos osjetno višoj cijeni u odnosu na ugljični čelik, koriste za tankove tereta, cjevovode, teretne pumpe, te ljestve i nosače u tankovima. Veliki problem u primjeni njihova je sklonost lokalnim korozijskim pojavama [3]. Važni materijali za primjenu u brodogradnji su bakrene legure među kojima su nikal-aluminij-manganske bronce osobito kvalitetne i često se upotrebljavaju za izradu propelera, osovinskih vodova i visokopterećenih vijaka [4].

Koroziju je moguće usporiti i različitim *konstrukcijskim i tehnološkim mjerama* tj. kreativnom primjenom teorijskih temelja pri oblikovanju konstrukcije.

3. Zaštita broskog trupa od obraštanja

Fouling (engl. obraštanje), sasvim uobičajen izraz i u hrvatskom jeziku, označava kolonije biljnih i životinjskih morskih organizama na uronjenim površinama brodova (slika 1), bova, *offshore* i drugih potopljenih objekata (slika 2). Najvidljiviji i najbolje poznati oblici takvog obraštanja su balanidi (priljepci, engl. *barnacles*), mekušci i morske trave. Nadzirati obraštanje u naravi znači riješiti problem adhezije morskih organizama koja se odvija u četiri glavna stadija. Obraštanje počinje u trenutku kad je umjetno stvoreni objekt uronjen u more. Bilo da je riječ o kovini, drvu, kamenu ili plastici, njegova površina brzo akumulira otopljenu organsku tvar i molekule kao što su polisaharidi, proteini i fragmenti proteina, što se smatra prvim stadijem obraštanja. Bakterije i dijatomeje tad imaju povoljne uvjete na površini i nastane se na njoj tvoreći biofilm mikroba. Ovaj drugi stadij obraštanja uključuje izlučivanje ljepljivih muko-polisaharida i drugih kemikalija sa znatnim efektima (npr. uzrokuju biokoroziju). Prisutnost adhezijskih izlučevina i hrapavost kolonija mikroba pomažu *uhvatiti* još čestica i organizama. To uključuje spore algi, morske gljivice i *protozoae*. Prijelazni stadij od biofilma mikroba na složeniju zajednicu smatramo trećim stadijem obraštanja. Četvrta i završna faza uključuje naseljavanje i rast većih morskih beskralježnjaka (kao što su balanidi, mekušci, mahovnjaci), zajedno s rastom makroalgi (morske trave) [5]. Obraštanje je vrlo dinamičan proces na koji mogu utjecati strujanje mora, mehanička oštećenja, slanost mora, količina svjetla, temperatura, zagađenje i dostupnost nutrijenata. Jačina obraštanja je i sezonski fenomen koji ovisi i o zemljopisnom položaju. Poznavajući područje u kojem će brod ploviti moguće je procijeniti rizik od obraštanja. Najugroženiji su brodovi koji plove pri nižim brzinama, brodovi male aktivnosti, te brodovi koji najviše plove u tropskim i subtropskim morima. Horizontalna raspodjela organizama na broskom trupu dobro je definirana [6]:

- na površini od vodne linije pa 1-2 metra u dubinu dominiraju alge i možda nekoliko školjaka (*balanidi*). Obraštanje u ovom pojasu nastupa prvo i najjače je izraženo.
- niže od toga pojasa pojavljuju se razasute školjke, mahovnjaci, crvi cjevaši
- ravnim dnom broda dominiraju hidroidi (engl. *hydroids*), balanidi (priljepci, engl. *barnacles*), školjke (engl. *mussels*), plaštenjaci (engl. *tunicates*) i mahovnjaci (engl. *bryozoa*)

Osim povećanja mase uronjenih konstrukcija zbog obraštanja, povećanja otpora i smičnih naprezanja problem je i anaerobna korozija kovnih površina koja nastaje kad organizmi s ljuskama stvore barijeru između morske vode i površine. Takva barijera stvara mikrookolicu s pH vrijednošću u kiselom području, visokim sadržajem Cl⁻ iona i bez prisutnosti kisika. U takvim uvjetima pojača se intenzitet korozije pogotovo kad je potaknut razvoj sulfatno-reducirajućih bakterija. Te bakterije generiraju sulfidne ione i proizvode enzime koji ubrzavaju koroziju, pa je mogućnost pojave hidrodinamičkih i strukturnih problema velika [7].



Slika 1 Obraštanje podvodnog dijela broskog trupa
Figure 1 Fouling of the underwater part of the ship hull



Slika 2 Obraštanje dna plutajuće platforme
Figure 2 Fouled bottom of a floating platform

3.1. Zašto trebamo antifouling (AF, antivegetativne) premaze?

Glavni su ciljevi brodovlasnika u životnom vijeku broda maksimizirati učinkovitost u eksploataciji i minimizirati potrošnju goriva. Obraštanje i dotrajalost površine glavni su uzroci povećanja hrapavosti, a hrapavost izvanjske oplate podvodnog dijela trupa ima najveći utjecaj na otpor trenja. Kod sporih brodova, u koje možemo ubrojiti većinu trgovačkih brodova, udio otpora trenja u

ukupnom otporu može iznositi i do 90 posto. Općenito se smatra da prisutnost sluzi na podvodnom dijelu oplata broda uzrokuje povećanje otpora od 1-2 posto, morske trave otpor će povećati za 10 posto, a školjke na dnu za čak 40 posto. S pojavom obraštanja rastu troškovi održavanja broda (brod mora češće u dok, priprema površine i nanošenje premaza iziskuju više vremena i sredstava), a smanjuje se upravljivost broda. Utjecaj na okoliš evidentan je i ozbiljan, jer povećana potrošnja goriva rezultira povećanom emisijom štetnih plinova (CO_2 , NO_x , SO_x) i uzrokuje širenje morskih organizama iz prirodnoga staništa u područja gdje mogu predstavljati prijetnju ekološkoj ravnoteži.

3.2. Povijesni prikaz

Prvi pisani dokazi o tretiranju dna broda datiraju iz 5. st. pr. Krista. Smatra se da su već drevni Feničani i Kartazani koristili katran, spominje se uporaba arsena i sumpora pomiješanih s uljem, a Grci su koristili katran ili vosak, te olovne oplata. Zaboravljeno tijekom nekoliko stoljeća, olovo (lošija antivegetativna svojstva, ali izvrsna zaštita protiv brodskih crva) je ponovno korišteno u Engleskoj u 15. stoljeću. Velika je venecijanska flota u 15. st. koristila katran s mješavinom loja i smole, a Portugalci su toplinski pougljenili izvanjsku površinu brodova u dubinu od nekoliko inča. Otkrićem dobrih svojstava bakrenih obloga i kasnijom širom uporabom bakra, dotadašnje metode zaštićivanja trupa prestale su se koristiti [9].

Bakrene obloge

Iako su stare civilizacije poznavale bakar i broncu i znale su ih vrlo dobro tehnološki obraditi, pa šira uporaba ovih materijala u brodogradnji nije isključena, nijedan autentičan slučaj oblaganja brodske oplata bakrom nije zabilježen prije 18. st. Kao kvalitetno sredstvo protiv obraštanja bakar je prepoznat nakon pokusa na brodu *Alarm* 1758. godine. Od 1777. godine bakrena obloga postala je standardno rješenje na brodovima Britanske mornarice. Iako je bakar bio najbolji poznati materijal protiv obraštanja, njegovo djelovanje protiv obraštanja nije uvijek bilo pouzdano. Sir Humphry Davy dokazao je 1824. godine da korozija ne nastupa zbog nečistoća u bakru, kako je prvotno mislio, već zbog reakcije bakra i morske vode. Svjestan nedostatke pozitivnosti bakra, shvatio je da korozijsko djelovanje morske vode ne bi postojalo kad bi ga se moglo učiniti malo negativnijim. To je postigao montiranjem komadića cinka, kositra ili željeza na bakar, ali je 'zaštićeni' bakar jako obraštao. Davy je uvidio da su 'protektori' spriječili otapanje bakra što je bio razlog obraštanja. Uvođenjem čeličnih brodova uporaba bakrenih obloga je napuštena zbog korozivnog djelovanja bakra na čelik. Upravo je radi toga tijekom 19. st., unatoč rastuće važnosti čelika u brodogradnji, ozbiljno predlagan povratak na drvene brodove koje je moguće štitićti bakrom [9].

Zaštita čeličnoga trupa

Smatra se da je važnost obraštanju pridana tek s uvođenjem čeličnih brodova i većim brzinama plovidbe. Bakrena se obloga pokazala neuporabljivom, pa je pokrenuta potraga za manje štetnom kovnom oblogom i načinom izolacije bakrene obloge i čeličnoga trupa. Protiv obraštanja testirani su: muntz metal (vrsta mjedi), pocinčani čelik, nikal, slitine olova i antimona, cinka i kositra, a ispitivanja su se provodila i na nekovnim oblogama: filcu, platnu, gumi, ebonitu (tvrda guma), plutu i papiru, te različitim

oblicima stakla, emajla i glazura. Prva prevlaka zabilježena izričito kao sredstvo protiv obraštanja jest patent Willama Bealea iz 1625. godine. Njegova je prevlaka bila sastavljena od željeza u prahu, cementa, a vjerojatno i nekoga bakrenog spoja. U mješavinama koje su se u obliku premaza nanosile na podvodni dio trupa i štatile ga od obraštanja uporabljani su bili: smole, pčelinji vosak, sirovi terpentini, pšenični alkohol, usitnjeno staklo, katran, vapno, lijevani kositar, cink, željezni sulfidi, bubrežni loj, asfalt, riblje ulje itd. Nakon 1835. godine ozbiljno su shvaćeni problem galvanske korozije čeličnoga trupa i rastuća potreba za sredstvom protiv obraštanja koje neće proizvoditi galvanske efekte na trupu, pa se počinju razvijati premazi koji iz neke vrste matrice otpuštaju otrovne tvari. Najčešće korišteni otrovi bili su bakar, arsen i živa zajedno s njihovim spojevima, kao otapala služili su terpentini, nafta i benzen, a matrice su činili laneno ulje, šelak ('prirodna plastika'), katran i razne smole. Sredstva protiv obraštanja bila su preskupa, često kratkog vijeka trajanja, a ponekad i nepouzdana. *Formula Norfolk* sadržavala je crveni živin oksid raspršen u šelaku, pšeničnom alkoholu, terpentinu i ulju borovoga katrana uz dodatak cinkovog oksida i cinkove prašine. Kvalitetan šelak nabavljao se iz Indije što je sa širom uporabom postalo preskupo i prekomplikirano za nabavu, pa je kao dobra zamjena šelaku uvedena prirodna smola. Početkom 20. st. vladalo je mišljenje da je *Talijanska Moravia* (premaz na osnovi *vrele plastike*, smjesa prirodne smole i bakrenih spojeva) jedan od najboljih antivegetativnih premaza. Prije nanošenja bilo ga je potrebno grijati što je predstavljalo problem zbog kojega se uvode premazi koji se suše isparavanjem otapala [9].

TBT spojevi

Premazi na osnovi organokositrenih spojeva (TBT) komercijalizirani su 60-ih godina 20. st. i pozdravljeni kao "čarobno oružje", jer su pružali potpunu zaštitu od obraštanja u razdoblju od 5 godina, a bilo ih je jednostavno nanositi. Činilo se da je problem obraštanja napokon riješen, no ranih 80-ih godina 20. stoljeća uočeno je da organokositreni spojevi ne ubijaju samo organizme koji obraštaju brodove, već truju i široki spektar ostalih morskih organizama. Devedesetih su godina izbačeni iz uporabe, a danas i zabranjeni [10].

4. Suvremene tehnologije zaštite brodsakoga trupa od obraštanja

Danas se u zaštiti brodsakoga trupa od obraštanja gotovo isključivo koriste premazi koje možemo podijeliti u dvije skupine: 1) Biocidni i 2) Neobraštajući premazi.

4.1. Biocidni antivegetativni premazi

Učinkovitost biocidnih antivegetativnih premaza ovisi i o samom biocidu i o tehnologiji koja nadzire otpuštanje biocida. Bakar (Cu_2O , CuSCN i metalni bakar) je glavno biocidno sredstvo (učinkovit protiv obraštaja životinjskih organizama dok biljni organizmi pokazuju veću otpornost prema djelovanju bakra) koje se koristi u antivegetativnim premazima zajedno sa brzo razgradivim pojačivačima biocida (engl. *booster*). Glavne značajke uspješno pojačanog biocida su: 1) vrlo niska topivost u morskoj vodi (manje od 10 ppm, da se ne bi prebrzo otpuštali iz premaza), 2) bezopasnost za čovjeka/okoliš i 3) prihvatljiva cijena.

Prema mehanizmu otpuštanja biocida suvremena tehnologija AF premaza dijeli se na [11]:

- 1) tehnologija premaza temeljenih na prirodnim smolama koji mogu biti:
 - a) premazi s topivom matricom (engl. *controlled depletion polymer, CDP*)
 - b) premazi s netopivom matricom (engl. *contact leaching antifouling*)
- 2) tehnologija samopolirajućih kopolimera (engl. *selfpolishing copolymer, SPC*)
- 3) tzv. hibridna SPC/CDP tehnologija.

Antivegetativni premazi s topivom matricom - Controlled Depletion Polymer, CDP

Sadrže više od 50 posto prirodne smole ili njezinih derivata u vezivu, a biocid je bakreni oksid zajedno s pojačivačima. Iako se u teoriji ovi premazi mogu otapati i imaju polirajući efekt, u praksi se to ne događa zbog gomilanja bakrenih soli i ostalih netopivih spojeva što stvara debeli iscrpljeni sloj. Značajke su im zadovoljavajuće za primjenu u područjima s niskom stopom obraštanja i na brodovima s kratkim intervalima između dokiranja [11].

Premazi protiv obraštanja s netopivom matricom - Contact Leaching Antifouling

Kod ove vrste premaza zbog malog udjela smole nema otapanja tijekom vremena, pa se na površini stvara debeli *iscrpljeni* sloj (difuzija biocida iz dubljih slojeva je usporena, a prazna matrica povećava hrapavost). Premaz je moguće reaktivirati struganjem prazne matrice, ali to može izazvati ponovni rast morskih trava koje su se naselile u šupljinama [11].

Samopolirajući premazi protiv obraštanja - Self Polishing Copolymer, SPC

Biocidi se otpuštaju u procesu hidrolize ili ionskom zamjenom između akrilnoga polimera i morske vode isključivo u blizini površine (sloj tanji od $30 \mu\text{m}$) što omogućava nadzor otpuštanja biocida i proizvodi efekt samozaglađivanja (povoljno s hidrodinamičkoga stajališta). Idealni su za primjenu na novogradnjama (čvrst i trajan film premaza). Glavni biocid je bakreni oksid zajedno s cinkovim oksidom (ZnO , ZnO_2), pojačivačem koji se brzo razgrađuje a ne akumulira se u morskom okolišu. Mnogo su učinkovitiji od CDP premaza (stopa otpuštanja biocida je konstantna dokle god postoji sloj premaza) [11].

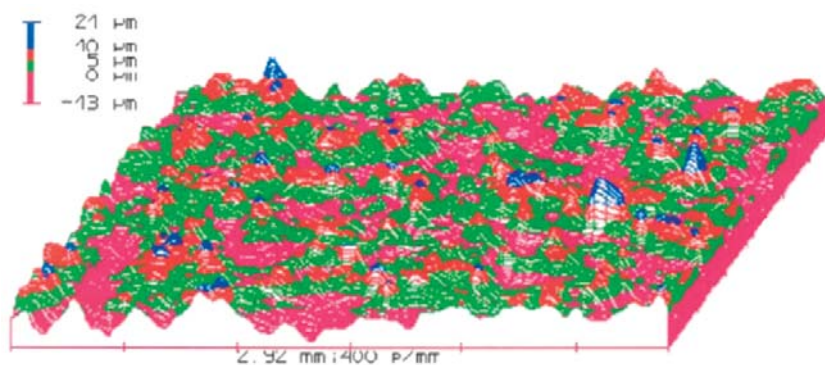
Hibridni SPC/CDP premazi protiv obraštanja

Ovaj relativno novi tip antivegetativnih premaza kombinacija je samopolirajućih premaza i CDP tehnologije na osnovi prirodnih smola (mali udio otapala, smanjen iscrpljeni sloj). Smoli

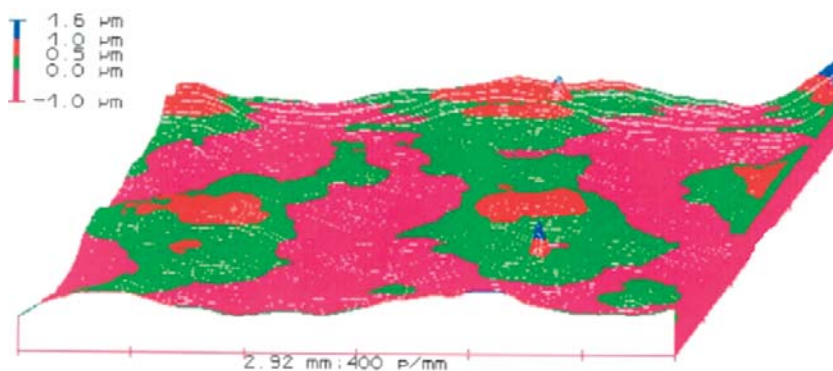
su dodani vodotopivi polimer (npr. bakreni akrilat) i pojačivač (cinkov oksid). Učinkovitosti i cijena ovoga tipa premaza nalaze se između performansi i cijena SPC i CDP tehnologija [11].

4.2. Neobraštajući premazi - Foul Release Coatings, FRC

Sa stajališta zaštite okoliša najpoželjniji pristup zaštiti broda od obraštanja svakako je onaj koji se ne oslanja na otpuštanje biocida u morski okoliš. Od mnogih zamisli samo je *foul release* tehnologija uspješno komercijalizirana. *Foul release* silikonski premazi su vrlo glatki što otežava adheziju morskih organizama (morski organizmi *radije* obraštaju hrapave površine-*tigmotaktična priroda obraštanja*). Dok samopolirajući (SPC) premazi imaju *zatvorenu teksturu* s učestalim šiljcima i udolinama nalik na površinu planinskog lanca (slika 3), *foul release* sustavi imaju površinu *otvorene teksture* nalik na malo valovitu morskou površinu (slika 4).



Slika 3 Tekstura površine SPC premaza
Figure 3 Surface profile of a SPC coating



Slika 4 Tekstura površine foul-release premaza
Figure 4 Surface profile of a foul-release coating

Fluorirani silikonski elastomerni polimeri imaju dobra svojstva stvaranja tankoga filma i kemijsku i biološku inertnost, ali su im mehanička svojstva loša. Na brzim brodovima premaz se čisti od obraštaja samim prolaskom trupa kroz vodu dok je na sporim brodovima potrebno provoditi čišćenje (ispiranjem pod niskim tlakom) [11]. Na sveučilištima u Newcastleu, Hamburgu i Hirošimi razvijaju se daljinski upravljani roboti za podvodno čišćenje. U tablici 1 dan je prikaz glavnih značajki pojedinih vrsta AF premaza.

Tablica 1 Prikaz glavnih značajki pojedinih vrsta AF premaza
Table 1 Overview of main properties of AF coatings

Vrsta premaza	Svojstva
Premazi s netopivom matricom	<ul style="list-style-type: none"> - visoka mehanička čvrstoća - prazna matrica pridonosi povećanju hrapavosti broskog trupa - premaz je moguće reaktivirati struganjem prazne matrice, ali to može izazvati ponovni rast morskih trava koje su se naselile u šupljinama - kratki životni vijek, do 18 mjeseci
Premazi s topivom matricom, CDP	<ul style="list-style-type: none"> - visoki udio prirodne smole, bakar kao glavni biocid - niska mehanička čvrstoća - debeli iscrpljeni sloj zbog gomilanja netopivih spojeva (soli, nečistoće) - pruža zaštitu u trajanju do 36 mjeseci - cijena najniža među AF premazima bez kositra
Samopolirajući kopolimeri, SPC	<ul style="list-style-type: none"> - otpuštanje biocida i otapanje polimera u tankom površinskom sloju – efekt samozaglađivanja - čvrst i trajan film premaza – idealno za primjenu na novogradnjama - glavni biocid je bakarni oksid sa cinkovim oksidom kao pojačivačem - stopa otpuštanja biocida je konstantna dokle god postoji sloj AF premaza - zaštita do 60 mjeseci, ovisno o uvjetima u službi
Hibridni CDP/SPC	<ul style="list-style-type: none"> - mali udio otapala, kontrolirana stopa otpuštanja biocida - trajniji film u odnosu na CDP premaze - učinkovitost i cijena između performansi CDP i SPC tehnologija - životni vijek do 36 mjeseci
<i>Foul-release</i> premazi	<ul style="list-style-type: none"> - bez biocida - silikonska baza stvara vrlo glatku površinu koja otežava obraštanje - vrlo mekani, podložni mehaničkim oštećenjima - za samočišćenje potrebna je velika brzina plovidbe ili visoka aktivnost broda - 5-10 puta skuplji od ostalih AF premaza

Unatoč atraktivnim značajkama neobraštajućih premaza do njihove šire primjene nije došlo uglavnom zbog toga što većinu svjetske flote čine tankeri i brodovi za rasuti teret koji ne plove pri dostatno velikim brzinama i nemaju dostatnu aktivnost da bi danas dostupni *foul release* premazi pokazali svoju učinkovitost i opravdali svoju cijenu koja je 5 do 10 puta viša od cijene ostalih AF premaza [10].

5. Alternativni pravci u zaštiti od obraštanja

Kratkotrajno rješenje nakon zabrane korištenja TBT spojeva jesu premazi na bazi bakra koji su danas još uvijek dopušteni, ali strahuje se od trovanja neciljanih skupina organizama. Da bi se razvili netoksični (ili vrlo malo toksični) sustavi potrebno je bolje shvatiti biokemiju morskih mikroorganizama i mehaniku njihove inicijalne adhezije.

Biološke boje

Znanstvenici su identificirali i sintetizirali tvari koje nekim morskim organizmima omogućavaju izbjeci obraštanje (npr. koralji), a razvijaju se i tehnologije koje bi omogućile zamjenu biocida u AF premazima s enzimima koji ometaju mehanizme biološke adhezije. Načini industrijske proizvodnje i aplikacije bioloških repelenata još nisu razrađeni [12, 10].

Elektrovodljivi premazi

Površina broskog trupa koja je u doticaju s morskom vodom prevučena je elektrovodljivim slojem premaza. Hidrolizom

morske vode i reakcijom s Cl⁻ ionima nastaju ClO⁻ ioni s antivegetativnim djelovanjem. Mala struja prolazi kroz film premaza i privlači ClO⁻ ione koji tvore tanak sloj, a nestaju kad se odvoje od trupa (reagiraju s drugim sastavnica iz morske vode i ne uzrokuju kontaminaciju mora). U procesu ne dolazi do otpuštanja čestica, pa premaz ostaje gladak. Sustav se testira na nekoliko velikih i srednje velikih brodova [10].

6. Tehnologija nanošenja premaza protiv obraštanja

Nanošenje premaza protiv obraštanja na novogradnjama izvodi se u dvije faze: 1) na navozu i 2) u doku. Razlozi tome su sljedeći:

- brod će nakon porinuća provesti od 2 do 3 mjeseca u moru, privezan na opremnoj obali, pa ga je potrebno zaštititi od obraštanja već prije porinuća
- radi ležanja na potkladama nemoguće je zaštititi sva mjesta na podvodnom dijelu trupa
- u fazi izgradnje na navozu na oplatu broda zavaren je određen broj uški i profila (za transport i manevriranje sekcijama, potporni elementi za porinuća) koje je u doku potrebno odstraniti
- često je nemoguće premaz nanijeti odjednom u zahtijevanoj debljini.

U fazi izgradnje broda *na navozu* na podvodni dio trupa nanosi se sustav premaza antikorozivne zaštite, te prvi sloj AF premaza (slika 5). Pripremu površine prije nanošenja svakoga sloja i nanošenje zaštitnih premaza važno je izvoditi u propisa-



Slika 5 Nanošenje AF premaza na navozu Brodogradilišta Uljanik, Pula

Figure 5 Application of AF coating on a slipway, Shipyard Uljanik, Pula

nim okolišnim uvjetima. Priprema površine na navozu izvodi se ručnim postupcima čišćenja, najčešće do čistoće St3 prema ISO 8501-1:1988 normi. Nepovoljni uvjeti okolice (npr. prevelika relativna vlažnost zraka) mogu uzrokovati kondenzaciju na čeliku što će izazvati pojavu korozije na nezaštićenim površinama čelične oplata i gubitak prionjivosti premaza na podlogu (supstrat). Proizvođač boje jamči svojstva zaštitnih premaza samo u zadanim uvjetima okolice za vrijeme nanošenja i sušenja (stvrđnjavanja). Potrebno je stoga mjeriti parametre okolice i to: relativnu vlažnost zraka (mora biti manja od 85 posto) i točku rosišta (*dew point*, temperatura čelika mora biti najmanje 3°C viša od točke rosišta).

Kod zaštite od obraštanja novogradnje u doku prva je aktivnost pranje podvodnog dijela trupa pod visokim tlakom i odmašćivanje. Slijedi skidanje montažnih i drugih privremenih elemenata, te *steel work* i priprema površine koja se provodi pjeskarenjem do čistoće Sa 2.5 prema ISO 8501-1:1988 normi.

Slika 6 Nanošenje završnog sloja AF premaza u doku Brodogradilišta Viktor Lenac, Rijeka

Figure 6 Application of final AF coat in dock, Shipyard Viktor Lenac, Rijeka



Nakon pripreme površine pristupa se nanošenju slojeva antikoroziivne zaštite i prvoga sloja AF (flekiranje). Završna faza tehnologije zaštite od korozije u doku jest nanošenje završnog sloja AF premaza (*full coat*) na podvodni dio brodske trupa (slika 6). AF premazi kojima se zaštićuju bokovi podvodnog dijela (*vertikale*) i dno broda (*flat bottom*) moraju odgovarati ponešto različitim zahtjevima, pa se iz tog razloga na bokove i na dno nanose različiti premazi u različitim debljinama (premaz na bokovima u eksploataciji se više troši od premaza dna, organizmi koji naseljavaju dno i bokove se razlikuju). Nadzor nad cijelim procesom obavljaju tri inspektora: inspektor brodogradilišta, inspektor proizvođača boje i inspektor brodovlasnika. Nakon svake pojedine faze inspektori svojim potpisima na Primopredajnom listu označavaju završetak iste. Tek kad se utvrdi da nema primjedbi ili da su one uspješno uklonjene prelazi se na sljedeću fazu.

7. Zaključak

Primjenom tehnologije zaštite od korozije osigurava se postojanost konstrukcije tj. sposobnost broda da dugi niz godina obavlja svoju funkciju. Zaštita od obraštanja osim uloge u zaštiti od korozije ima izravni utjecaj na performanse broda: njegovu brzinu i potrošnju goriva. Pravilnom uporabom suvremenih tehnologija zaštite od korozije postižu se planirana trajnost i funkcionalnost broda. Premazi koji pružaju bolju i dugotrajniju zaštitu od obraštanja skuplji su. Tehnologije zaštite brodske trupa od obraštanja datiraju iz antičkih vremena, ali se još uvijek teži rješenju koje će zadovoljiti aspekte jednostavnog nanošenja, cijene, trajnosti, učinkovitosti i minimalnog utjecaja na okoliš. Da bi se pronašlo još bolje rješenje, potrebno je još mnogo kreativnosti, interdisciplinarnе suradnje i istraživanja.

Literatura

- [1] ESIH, I: "Osnove površinske zaštite", FSB, Zagreb, 2003
- [2] JURAGA, I., ŠIMUNOVIĆ, V., STOJANOVIĆ, I.: "Primjena inhibitora u zaštiti od korozije u brodogradnji", XVII simpozij Teorija i praksa brodogradnje, Opatija, 2006
- [3] FILETIN, T: "Svojstva i primjena materijala", FSB, Zagreb, 2002
- [4] COLLIER, E: "The Boatowner's Guide to Corrosion", International Marine/McGraw Hill, USA, 2001
- [5] DAVIS, A., WILLIAMSON, P.: "Marine Biofouling: a sticky problem", *NERC News*, 1996, <http://www.biology.bham.ac.uk/biofoulnet>
- [6] HEMPEL: Protective coatings manual
- [7] DAVY, S.: "Marine Biofouling", 32nd WEGEMT School on Marine Coatings, Plymouth, 2000
- [8] "Basic Principles of Ship Propulsion", <http://www.manbw.com>
- [9] *Woods Hole Oceanographic Institution*: "Marine fouling and its prevention: Chapter 11. The History of the Prevention of Fouling", United States Naval Institute, 1952
- [10] BERTRAM, V.: "Past, Present and Prospects of Antifouling", 32nd WEGEMT School on Marine Coatings, Plymouth, 2000
- [11] ANDERSON, C.: "TBT Free Antifouling and Foul Release Systems", <http://www.international-marine.com/antifouling>
- [12] "MarinePaint Annual Report", Goteborg, 2005, <http://marinepaint.org.gu.se>



3. MAJ

Shipyard

3. MAJ Brodogradilište d.d.
Liburnijska 3, P.O.Box 197
51000 RIJEKA, Croatia

Sales Division
Phone: +385 (51) 61 13 80, 61 10 16
Fax: +385 (51) 61 18 10
e-mail: salesdpt@3maj.hr

www.3maj.hr

KRALJEVICA SHIPYARD



Shipbuilding since 1729



The **KRALJEVICA** Shipyard, shipbuilding and shiprepairing company, is the oldest shipyard on the eastern coast of the Adriatic Sea. The continuity of shipbuilding in **KRALJEVICA** has been lasting uninterrupted since the year **1729**.

The **KRALJEVICA** Shipyard ranks, in view of its capacities, among medium-sized shipyards (420 employees, area is 110.000 m²)

Main activities:

- newbuilding of ships and other marine constructions of up to 120 m in length, up to 10.000 dwt (passenger/car ferries, tugs, supply vessels, tankers, dry cargo vessels, Ro-Ro vessels, multipurpose/container and paper carriers, etc).
- newbuildings, retrofitting and repairing naval (gun boats, patrol vessels, missile corvettes), coast guard boats, special-purpose ships, fast crafts, light commercial crafts and yachts, built of ordinary or high strength shipbuilding steel and aluminum.
- engineering, consulting and trading, projects, drawings and technical documentation.



Shipyard **KRALJEVICA** Ltd
Obala Kralja Tomislava 8, P.O.Box 35
51262 **KRALJEVICA**
Sales Department
Phone: +385 (51) 281 743; 281 433
Fax: +385 (51) 281 600, 281 522
e-mail: br.kraljevica-sp@ri.tel.hr
<http://www.kraljevica.hb.hr>



SHIPYARD TROGIR

Put brodograditelja 16
TROGIR-CROATIA



"TROGIR" SHIPYARD was founded in 1944 as a small repair yard and now is equipped to accept construction of the most sophisticated vessels.

Since 1960 when construction of steel vessels began the Shipyard has delivered 100 ships of various types and sizes plus 17 floating docks mainly for foreign buyers.

Shipbuilding works dispose of two slipways, the smaller one 20m wide and bigger one 47m wide.

The slipways can accommodate ships up to 50.000 dwt ranging from oil tankers, cargo ships, ferry boats, supply vessels, tugs rescue vessels as well as floating docks of 60.000 tons lifting capacity built in sections and thereafter connected afloat.

"TROGIR" SHIPYARD is today a shipyard that offers the buyers all over the world its cooperation in designing and building vessels of different purpose making its best to comply with the request of potential buyers.



BRODOTROGIR d.d.
SHIPYARD TROGIR
21220 TROGIR-CROATIA
Put brodograditelja 16
Phone: ++ 385 21/ 88 15 55
Fax: ++ 385 21/ 88 18 81, 88 20 81
e-mail: btprodaja@brodotrogir.tel.hr

TROGIR SHIPREPAIR Ltd.
21220 TROGIR-CROATIA
Put brodograditelja 16
Phone: ++ 385 21/ 88 14 88,
88 40 02, 88 15 55
Fax: ++ 385 21/ 88 17 44, 88 18 81

BRODOSPLIT

1922

- Significant ships for Significant customers -



P-MAX

Baluni



Amorella

*BRODOSPLIT - Croatian shipyard with a long tradition and experience
in designing and building various types of ships,
always significant in their class.*

.....

Put. Supavla 21, 21000 Split, P.O. BOX 517, 21001 Split, CROATIA
Tel. +385 (0)21 382 617, +385 (0)21382 458, Fax. +385 (0)21 382 648
e-mail: uprava@brodosplit.hr, web: www.brodosplit.hr

ULJANIK



Efficiency



Versatility



Practicability



Durability



Safety



www.uljanik.hr

we know HOW TO TURN
ideas
INTO PRACTICAL
realities

Our cooperation and our technical skills with professional staff and stable management offer you an opportunity to build ships according to your own ideas and requests.

ULJANIK Shipyard

- Founded in 1856
- Educated personnel
- CAD/CAM system
- ISO 9001, ISO 14000
- Diesel engine MAN-B&W licence
- High quality of various types of ships



ULJANIK

ULJANIK Brodogradilište d.d. Flacijusova 1, 52100 PULA, Croatia
Tel. +385 (52) 374 000 - Switchboard; +385 (52) 374 450 - Sales Dept.
Fax. +385 (52) 374 504 E-mail: sales.dept@uljanik.hr



HRVATSKA GOSPODARSKA KOMORA



Sektor za industriju Zajednica proizvođača brodske opreme



Članica Europskog vijeća proizvođača brodske opreme - EMEC

Zajednica proizvođača brodske opreme okuplja proizvođače uređaja i opreme te pružatelje usluga povezanih s brodogradnjom radi ostvarivanja njihovih interesa.

ZAJEDNICA SVOJIM ČLANOVIMA OMOGUĆUJE:
zajednički nastup pred državnim institucijama radi osiguranja što povoljnijih uvjeta poslovanja;
jedinstvenu promociju kod domaćih i inozemnih brodograditelja, tiskanje promotivnih materijala i organiziranje izlaganja na sajmovima u inozemstvu u suradnji s Hrvatskom brodogradnjom - Jadranbrodom d.d.;
mogućnost povezivanja s inozemnim partnerima radi izvoza ili kooperacije;
usuglašavanje razvoja proizvodnih programa u suradnji s Hrvatskom brodogradnjom - Jadranbrodom d.d. odnosno hrvatskim brodogradilištima.

CROATIAN CHAMBER OF ECONOMY



Industry and technology department Affiliation of marine equipment manufacturers



Member of the European Marine Equipment Council - EMEC

The Affiliation of Marine Equipment Manufacturers gathers the manufacturers of marine instruments and equipment, and service providers to the shipbuilding industry.

THE AFFILIATION ADDRESSES ITS MEMBERS NEEDS IN THE FOLLOWING WAYS:

- joint approach to government institutions in order to ensure the most favourable business conditions;
- joint promotion among both the domestic and foreign shipbuilding companies - publication of promotional materials and organizing the display of products at international fairs in cooperation with the Croatian Shipbuilding Corporation (Hrvatska brodogradnja - Jadranbrod d.d.);
- establishment of links with foreign partners, with a focus on exports and cooperation;
- coordination of the development of manufacturing programmes in cooperation
 - with the Croatian Shipbuilding Corporation, i.e.
 - with Croatian shipyards.

HRVATSKA GOSPODARSKA KOMORA - SEKTOR ZA INDUSTRIJU
CROATIAN CHAMBER OF ECONOMY - INDUSTRY AND TECHNOLOGY DEPARTMENT
phone: +385 1 4606 705, fax: +385 1 4606 737; e-mail: industrija@hgk.hr;
www.hgk.hr; www.biznet.hr





MAKSTIL A.D.
Skopje - MACEDONIA



Dufenco

XVI Makedonska brigada 18; Skopje, Makedonija; +389(0)23287023; www.makstil.com; e-mail: commercial@makstil.com.mk