

UTJECAJ MORSKE KOROZIJE NA KUGLIČARENI SLOJ ALUMINIJSKE SLITINE

The Influence of Sea Water Corrosion on Shot-Peened Aluminium Alloy Surface

UDK 620.193/197
Izvorni znanstveni rad
Original scientific paper

Sažetak

Ovaj rad bavi se utjecajem mora na kugličarenu površinu aluminijske slitine AlMg4.5Mn. Proces kugličarenja, kojim se unose tlačna naprezanja u površinski sloj metala, rezultira u njemu povoljnijim stanjem naprezanja. U drugom dijelu obrađeni su korozijski procesi aluminijskih slitina u morskom okolišu, te su izdvojeni oni procesi koji utječu na koroziju aluminijske slitine AlMg4.5Mn. Kad su izrađeni uzorci, podvrgnuti su djelovanju mora u trajanju od dva i šest mjeseci, pa je nakon toga provedena kontrola njihove tvrdoće i čvrstoće, te jednako tako i njihove mikrostrukture. Rezultati dobiveni ispitivanjem pokazuju da djelovanje mora nije imalo većega utjecaja na svojstva kugličarenog sloja na površini ove aluminijske slitine.

Ključne riječi: aluminijska slitina AlMg4.5Mn, kugličarenje, morska korozija.

Summary

This work deals with the influence of sea water corrosion on shot-peened surface of 5083 aluminum alloy. The shot-peening treatment introduces the compressive stress in the surface layer of metal, thus reducing tensile residual stresses. The second part of this work deals in general with corrosion processes in marine environment. Corrosion processes that attack the aluminium alloys are separated. The alloy specimens 5083 were subjected to the sea water influence for the periods of two and six months. After this operation their strength and hardness were tested. The microstructure of the specimens was also analysed. The test results indicate that the sea water impact on the shot-peened surface of aluminum alloy 5083 is not significant.

Key words: Aluminum alloy 5083, shot-peening, sea water corrosion.

1. Uvod

Introduction

Svjetski su razvojni trendovi sve više usredotočeni na razvoj konstrukcija iz aluminijskih slitina, prije svega zbog njihove relativno male gustoće u usporedbi s drugim konstrukcijskim metalima, te jednako tako i zbog njihove dobre korozijske otpornosti. U inženjerskoj praksi većina velikih aluminijskih konstrukcija spaja se zavarivanjem. Te su konstrukcije gotovo uvijek izložene promjenjivim opterećenjima koja često uzrokuju oštećenja ili lomove konstrukcijskih dijelova. Pritom, ponašanje konstrukcija pod djelovanjem promjenjivih opterećenja vrlo je složeno jer različiti činitelji utječu na ponašanje pri umoru zavarenih konstrukcija, a to su: geometrijski oblik, vrsta opterećenja, strukturne promjene i nehomogenosti u zavarenim spojevima. U odnosu prema ostalim dijelovima konstrukcije, složenost je problema osobito izražena u zavarenim spojevima, koji i onako imaju manju dinamičku čvrstoću. Geometrijski oblik, strukturne promjene i nehomogenosti uzrokuju povećanu koncentraciju naprezanja, pa time još više usložnjaju problem. Takvi neželjeni učinci mogu se djelomično ili potpuno ukloniti različitim konstrukcijskim rješenjima ili raznovrsnim postupcima pri površinskoj obradi. U novije vrijeme, kritična mjesta zavarenih konstrukcija obrađuju se kugličarenjem kako bi se tim postupkom smanjio utjecaj površinskih pogrešaka u zavarenim spojevima.

Naime, upravo se kugličarene aluminijske konstrukcije često upotrebljavaju u blizini morskog okoliša ili u samome moru.

Težište je ovom radu na istraživanju utjecaja mora na kugličareni sloj aluminijske slitine AlMg4.5Mn. Istražuje se hoće li more, kao korozijski medij, smanjiti ili će čak poništiti efekte postignute kugličarenjem. Pokusni uzorci za eksperimentalni dio rada izrađeni su od aluminijske

* docent dr. sc. Dražen Živković, Sveučilište u Splitu, FESB

**prof. dr. sc. Boris Anzulović, Sveučilište u Splitu, Odjel stručnih studija

***Dražen Delić, dipl. ing. strojarstva, Autocentar „Mazda Muše“, Strožanac

slitine AlMg4.5Mn, te su podvrgnuti korozivskom morskom djelovanju tijekom 2 i 6 mjeseci. Na slici 1. prikazan je trup brzog čamca izrađen zavarivanjem od aluminijske slitine AlMg4.5Mn.



Slika 1. Zavarevi trup brzoga aluminijskog čamca
Figure 1. Welded hull of aluminium speed boat

2. Kugličarenje

Shot-Peening

Nakon strojne obrade uzoraka prešlo se na tehnologiju kugličarenja, kontroliranoga tehnološkog postupka površinskog očvršćivanja poradi unošenja tlačnog naprezanja u površinski sloj metala. Provođi se uz pomoć mlaza kuglica (ili nekoga drugog medija) koje velikom brzinom udaraju u metalnu površinu i ostvaruju plastičnu deformaciju u hladnom stanju. Pritom se na metalnoj površini stvara blaga zaobljena udubina za vrijeme njihova kratkog kontakta. Tako nastaje radijalno razvlačenje površine metala u područje plastičnih deformacija, a rubovi se tlačenja lagano uzdižu iznad originalne površine. Zbog velikog broja sudara preko čitave površine, pojavljuje se tanki sloj - "film" površinskih zaostalih tlačnih naprezanja, ispod kojih se uspostavljaju mala uravnotežena vlačna naprezanja. Sloj se tlačnih naprezanja obično pruža oko 0,13 do 0,25 mm, ali su moguće i dubine do 0,5 mm ispod površine, ovisno o intenzitetu kugličarenja i prirodi kugličarenog materijala [1].

Kugličarenjem se mijenja razdioba naprezanja u površinskom sloju koja je već prije bila stvorena nekim drugim tehnološkim postupkom; ono zapravo mijenja neželjene uvjete zaostalog vlačnog naprezanja u povoljnije tlačno naprezanje pogodno za povećanje otpora nastanku pogrešaka, a koje su najčešće izazvane korozijom i zamorom površine. Kugličarenje povećava otpornost prema interkristalnoj koroziji i smanjuje utjecaj triboloških mehanizama na metalnoj površini. Pri zavarivanju, kugličarenjem se smanjuje utjecaj koncentracije naprezanja izazvanih postojanjem zareza, udubina i pukotina, tj. kugličarenjem se usporava njihovo razvijanje zbog djelovanja tlačnog naprezanja, povećavajući time dinamičku izdržljivost. Može se reći da se kugličarenjem postižu dva bitna mehanička učinka:

1. ostvareni plastični rad pokazuje da dolazi do otvrdnjavanja deformacijom, što uzrokuje promjenu tvrdoće površinskog sloja i povećava granicu tečenja;

2. elastično-plastični oporavak u površinskim slojevima inducira zaostalo tlačno naprezanje i ono povećava potrebnu razinu naprezanja za nastajanje pukotine, te jednako tako usporava i razvoj pukotine uz pomoć smanjenja resultantnoga primijenjenog naprezanja [2].

3. Korozija aluminijskih slitina u moru

Sea Water Corrosion Of Aluminum Alloys

Opći pojam *morski okoliš* uključuje veliki broj različitih podokoliša, kao što su: otvoreno more, obalno more, more na ušćima rijeka i bočata mora, zatim pridneni talozi i morska atmosfera.

Među konstrukcijskim metalima, samo su berilij i magnezij reaktivniji od aluminija [3]. Međutim, aluminij ima izvanrednu otpornost koroziji koju zahvaljuje ekstremno prijanjajućem oksidnom filmu što se oblikuje na površini uvijek kada je ona izložena zraku ili vodi. Samonastajući mikroskopski tanki površinski sloj aluminijske oksida (Al_2O_3) toliko je tanak da se mjeri «atomske jedinice». Debljina sloja što nastaje na površini u kontaktu aluminija sa zrakom iznosi 2,5 μm , dok isti takav sloj star nekoliko godina može dostići debljinu od oko 10 μm ; on se sastoji od dva dijela:

- tanki, unutrašnji pregradni granični sloj,
- znatno tanji, vanjski sloj, koji je više propustan nego unutrašnji granični sloj.

Taj oksidni film predstavlja jaku zaštitu, te kako je termodinamički neaktivan, sprječava daljnju koroziju. Međutim, kada se izloži ekstremnom korozivskom sredstvu kao što je slana voda, oksidni se film može prelomiti i stvoriti uvjete za daljnju koroziju aluminija, ili čak i za pojavu «pitinga» [4].

Kemijski sastav i način proizvodnje određuju korozivske karakteristike metala. Kemijski sastav jedne slitine određuje tip mikrostrukture što će je materijal imati, a tip mikrostrukture utječe na oboje, tj. na intenzitet lokalne korozije i na vrste korozivskog napada. Tako, najvažniji korozivski mehanizam aluminija je onaj koji se razvija na temelju elektrokemijske ćelije nastale na temelju razlike u potencijalima različitih mikrokonstituenata slitine. Ako mikrostrukturni sastojak u jednoj slitini ima veći elektropotencijal od aluminija, pojavit će se korozivski proces. Toplinska obrada i proces otvrdnjavanja tehnike su u proizvodnji koje utječu na korozivski proces aluminijskih slitina jer obrada određuje mikrostrukтуру metala i utječe na interkristalnu koroziju.

Razlikuje se pritom pet tipova korozivskog procesa u morskom okolišu: **jednolična, galvanska, interkristalna i naponska korozija te korozija obrastanja** [4].

Jednolična korozija nastaje kad zbog elektrokemijske reakcije biva jednolično napadnuta cijela površina metala. Temeljem studije [4] u trajanju od deset godina potvrđeno je da za različite aluminijske slitine brzina napredovanja ovoga korozivskog procesa nije znatna. Pokazalo se da je u prvih 1,5 godine dana aluminij bio 133 puta otporniji na koroziju od konstrukcijskog čelika. Općenito, stupanj korozivskog djelovanja zasnovan na smanjenju dimenzija nije bio veći

oko 5 $\mu\text{m}/\text{god.}$, što je generalno manje od 5% stupnja koruzijskog djelovanja na niskougljičnom nezaštićenom čeliku u morskoj vodi.

Galvanska korozija pojavljuje se kad su dva različita metala ili slitine u električnom kontaktu uz djelovanje koruzijskog sredstva. Takav par materijala dovodi do toga da jedan od njih korodira znatno brže nego što bi to bilo da se sam nalazi u istom sredstvu. Intenzitet galvanske koruzije ovisi o: razlici koruzijskih potencijala između ta dva metala, električnom otpora između ta dva metala, vodljivosti elektrolita, katodno-anodnom odnosu površina i polarizirajućim karakteristikama ta dva metala (Hatch, 1984.). Razlike elektropotencijala između različitih metala ili slitina uzrokuju elektronski tijek među njima kada su isti elektrolitski spojevi u provodljivoj otopini. Smjer tijeka ovisi o elektroaktivnosti metala. Aktivniji metal postaje anoda, i gubi materijal, dok manje aktivan postaje katoda, i ne oštećuje se u tome galvanskom paru. Galvanska je koruzija iznimno važna za odnos aluminij – čelik jer ta dva materijala zajedno stvaraju galvanski članak. U kombinaciji aluminija i čelika, aluminij je anoda, a čelik katoda. To uzrokuje strujni tijek od čelika prema aluminiju kroz more, koje je elektrolit. U takvu okolišu, aluminij u kontaktu s katodnim čelikom znatno povećava intenzitet koruzijskog djelovanja [4].

Interkristalna korozija nastaje kada su granice zrna napadnute i korodiraju znatno lakše od samih zrna. Mehanizam interkristalne koruzije sličan je mehanizmu galvanske koruzije. Proces se zasniva na razlici elektrokemijskih potencijala između čestica na granici zrna i samog zrna. Razlika potencijala nastaje zbog nakupljenih uključaka na granici ili s pomoću nakupljanja elemenata u zrnima i u blizini granice zrna. U nekim slitinama precipitati su više anodični od susjednih zrna, a u drugima su precipitati više katodični. U oba slučaja dolazi do selektivnog napada koruzijskog procesa na područje granice zrna.

Interkristalna je koruzija najčešći oblik propadanja anodne komponente, faze na granici zrna, ili zone uz samu granicu, obično sa slabim ili neznatnim oštećenjima samog zrna. Zona uz granicu zrna galvanski se ponaša kao anoda prema unutrašnjosti zrna, a sve je to posljedica kemijskog sastava ili strukture [5].

Aluminijske slitine na bazi Mg imaju dobru otpornost prema interkristalnoj koruziji. Međutim, ako se metal duže izlaže nešto povišenim temperaturama, od 65 do 180 $^{\circ}\text{C}$, slitina kao AlMg4.5Mn (5083) može postati osjetljiva na interkristalnu koruziju. Ta se osjetljivost pojavljuje na brodskim trupovima s opasnim posljedicama u koruzijskom morskom okolišu [5].

Premda je koruzija po granicama zrna ponekad pomognuta razlikama elektrokemijskog potencijala (kao u nekim aluminijskim slitinama), interkristalna koruzija nije općenito rezultat aktivne granice zrna i pasivne matrice. Obično se korodirana površina nalazi na jednom potencijalu. Razlike u kemijskom sastavu dovode do različitih intenziteta koruzije uz isti potencijal u neaktivnoj zoni. Koruzijski su intenziteti slični ili su jednaki u aktivnoj i prijelaznoj pasivnoj zoni, ali su zato bitno različiti po potencijalu u neaktivnoj zoni. Osjetljivost na interkristalnu koruziju može se općenito uzeti kao indikacija za

povećanu osjetljivost prema drugim tipovima koruzije, kao što je «pitting» i jednolična koruzija.

Kada je koruzija intenzivna, pojedina cijela zrna mogu biti istisnuta zbog cjelokupnog slabljenja njihovih granica. Kad se na slitini odvija interkristalna koruzija, njezin se intenzitet gubitka mase zna s vremenom povećavati. Kako se područje granice zrna razgrađuje, nezahvaćena su zrna «potkopana» pa otpadaju; time još više raste intenzitet gubitka mase.

Faze precipitata čine visokočvrste aluminijske slitine osjetljivima na interkristalnu koruziju. Nadasve je to izraženo za sve slitine na bazi Cu koje sadržavaju CuAl_2 . Nešto manje je to u onim slitinama sa: FeAl_3 , Mg_2Si , MgZn_2 i MnAl_6 po granicama zrna ili kliznim smjerovima. Rješenje je ovom problemu u ispravnoj toplinskoj obradi koja djelotvorno onemogućuje interkristalnu koruziju, ali istodobno smanjuje čvrstoću slitine. Neke magnezijeve slitine slično su neotporne na interkristalnu koruziju usprkos toplinskoj obradi.

Naponska koruzija je spori, okolišem induciran, razvoj pukotine koji je rezultat istodobnoga djelovanja stalnoga vlačnog naprezanja i koruzijskog sredstva. Naponska je koruzija uzrokovana interkristalnom koruzijom, koja se obično zbiva pri relativno niskom naprežanju u usporedbi s naprežanjem potrebnim da nastane mehanički lom. Nadalje, naponska koruzija obično nastaje i pri relativno maloj koncentraciji kemikalija. Okoliš što uzrokuje naponsku koruziju obično je na bazi vode, u obliku slojevite vlage ili u vlažnim rasutim teretima.

Vjerojatnost da će aluminijske slitine biti zahvaćene naponskom koruzijom ovisi o: sadržaju magnezija (Mg), tipu zrna, veličini deformacije otvrdnjavanja i naknadne obrade (vrijeme/temperatura). Aluminijske slitine na bazi bakra (Cu) i cinka (Zn) osjetljive su na naponsku koruziju iz istog razloga zbog kojega su osjetljive na interkristalnu koruziju: na njihovim se granicama zrna pojavljuje sekundarna faza. Obje skupine aluminijskih slitina mogu se otvrdnuti određenom toplinskom obradom, kao i procesom starenja. Procesi kojima se povećava čvrstoća mogu uzrokovati povećanu osjetljivost na pukotine. Za vrijeme toplinske obrade precipitati se oblikuju na granicama zrna, tvoreći jednu osiromašenu zonu bakra unutar samih zrna. Slitinama na bazi Mg, onih sa sadržajem magnezija većim od 3,0 %, kao što je AlMg4.5Mn (5083), neprekidni se film anodnog Al_2Mg_3 nalazi obično više uzduž granica zrna nego u krutoj otopini u samom zrnima (Hatch, 1984.). To smanjuje žilavost, otpornost materijala prema udarcima, čineći tako slitinu krhkom. Najopasniji precipitati nastaju na sobnoj temperaturi kod izrazito hladno gnječanih materijala. Ti se precipitati pojavljuje u vremenu od nekoliko godina, ili pri dužem izlaganju nešto povišenim temperaturama, od 60 do 180 $^{\circ}\text{C}$, kao što je to u blizini brodskih motora i ispušnih sustava. Osjetljivost na naponsku koruziju svih Al-slitina daje se smanjiti pravilnom toplinskom obradom, pravilnim izborom slitine i redukcijom konstrukcijskih naprežanja (zaostalih) i naprežanja pri montaži [4].

Korozija izazvana morskim organizmima nastaje kada se morski organizmi, kao lupari i školjke, prihvate za površine metala, razvijaju se, pa zatim odvajaju komadiće metala s površine. Tim procesom nastaju rupice (*pitting*)

na metalu ispod morskih organizama. Obrastanje morskim organizmima obično je intenzivno u toplim i plitkim morima. Topla mora pogoduju dugom razdoblju naglog množenja mikroorganizama na izloženim površinama. Ako obraštaj prekriva cijele površine ili samo njihove dijelove, on znatno utječe na intenzitet korozije morskim organizmima. Pritom, isprekidani sloj obraštaja, formiran od izdvojenih kolonija organizama, zajedno s neprekrivenim metalom između njih znatno će prije izazvati strukturno značajnu koroziju nego neprekidni sloj morskog obraštaja. Neprekidni sloj obraštaja djeluje kao zaštitni sloj koji ograničava količinu otopljenog kisika što stiže do površine metala. Isprekidani sloj znatno više uzrokuje početak lokalizirane korozije, stvarajući ćelije povećane koncentracije kisika [4].

4. Materijal i obrada

Material and Treatment

4.1. Materijal i oblik uzorka

Material and Specimen Shape

Uzorci su izrađeni od aluminijske slitine AlMg4.5Mn, koja se ubraja u brodograđevne aluminijske slitine jer se, uz dobra mehanička svojstva, odlikuje i dobrom otpornošću prema morskoj koroziji. Vlačna čvrstoća (R_m) slitine ovisi o stanju obrade, te se nalazi u granicama od 275 do 310 MPa, dok je granica tečenja u području od oko 200 MPa. Ispitivanja vlačne čvrstoće limova od kojih su izrađeni pokusni uzorci provedena su na FESB - Zagreb (Zavod za materijale - Laboratorij za ispitivanje mehaničkih svojstava). Tom prilikom dobivene su vrijednosti: $R_m = 280$ MPa i $R_{p0,2} = 195,5$ MPa.

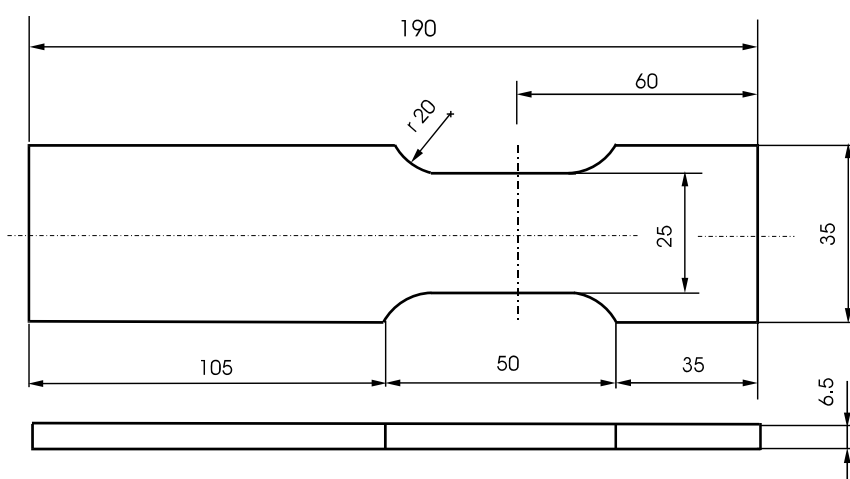
Analiza kemijskog sastava metala provedena je u laboratoriju Zavoda za materijale, Fakulteta strojarstva i brodogradnje iz Zagreba.

Tablica 1. Kemijski sastav
Table 1. Chemical composition

| Materijal | Kemijski elementi (%) | | | | | | | |
|-----------|-----------------------|------|------|------|------|------|-------|------|
| | Cr | Cu | Fe | Mg | Mn | Si | Ti | Zn |
| AlMg4.5Mn | 0,10 | 0,02 | 0,41 | 3,44 | 0,60 | 0,57 | 0,032 | 0,05 |

U tablici su prikazani postotci legirajućih i ostalih pratećih elemenata. Ostatak do 100 % odnosi se na aluminij.

Iz limova su izrezane trake širine od 35 mm i duljine 190 mm pa su obrađivane glodanjem do konačnih dimenzija uzorka, prikazanih na slici 2. Nakon glodanja provedeno je još i turpijanje rubova da bi se uklonio srh zaostao od prethodne obrade.



Slika 2. Oblik i dimenzije uzorka
Figure 2. The specimen shape and dimensions

Ukupno je izrađeno 16 uzoraka. Jedan dio njih (12 komada) obrađen je dalje tehnologijom kugličarenja, pa ih je osam podvrgnuto djelovanju morske korozije.

4.2. Obrada uzoraka

Specimen Treatment

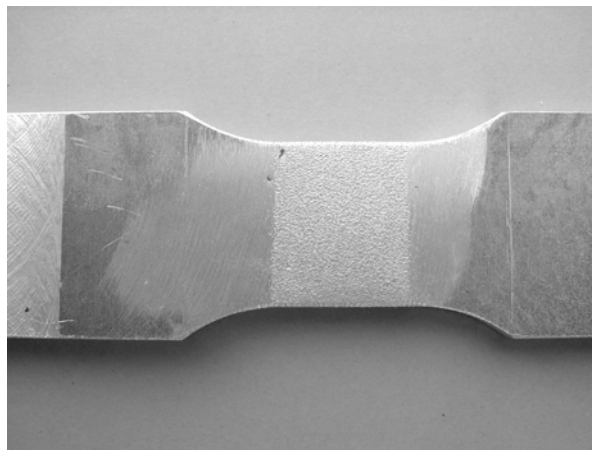
4.2.1. Parametri kugličarenja

Shot-Peening Values

Od ukupnog broja izrađenih uzoraka izdvojena su četiri, i oni su ostali u izvornom stanju. Ostatak od 12 uzoraka kugličaren je *Almen intenzitetom* jakosti od 0,9 mm, mjereno na probnoj traci tipa N2, i to s obje strane uzorka. Kut sudara mlaza kuglica i površine uzorka iznosio je 90°. Navedeni *Almen intenzitet* ostvaren je sljedećim parametrima kugličarenja:

- tlak zraka na ulazu u mlaznicu.....3,5 bara,
- udaljenost mlaznice od uzorka.....90 mm,
- kut sudara.....90°,
- vrijeme trajanja kugličarenja.....40 s,
- vrsta kuglica.....S390 (Ø 1 mm).

Na slici 3. vidi se kugličarena površina jedne strane probnog uzorka.

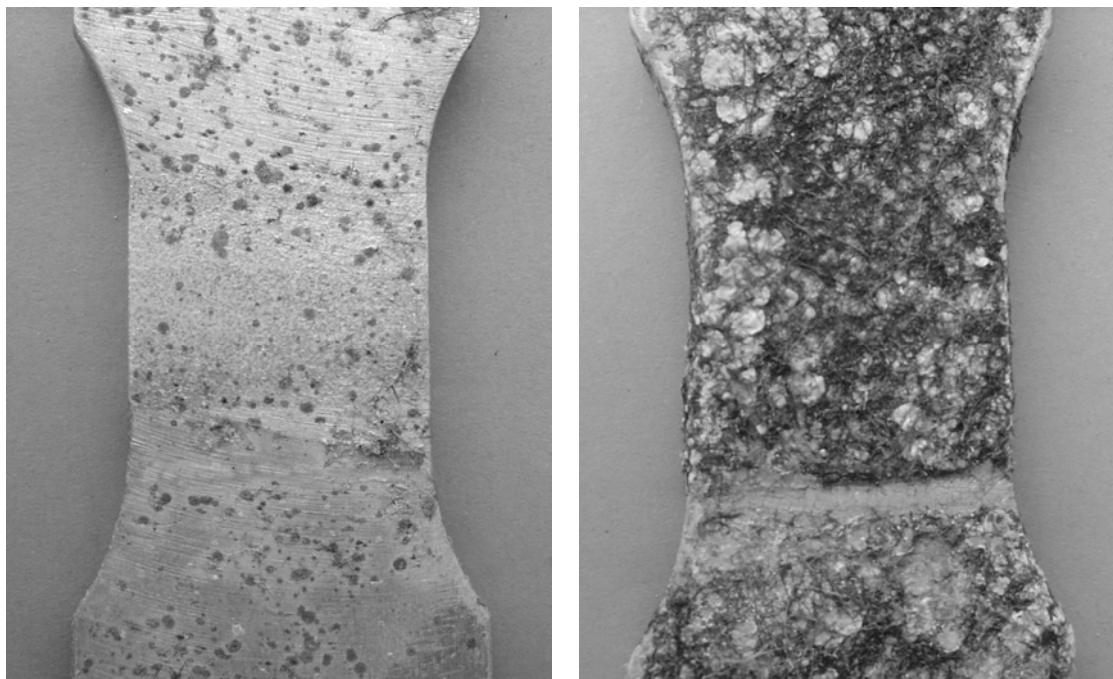


Slika 3. Kugličarena površina
Figure 3. Shot-peened surface

4.2.2. Djelovanje mora

Sea Water Activity

Ukupno je osam kugličarenih uzoraka bilo izloženo morskom utjecaju. Po četiri su se nalazila u moru tijekom vremena od dva i šest mjeseci, i to prva skupina od četiri uzorka od mjeseca travnja do lipnja, a druga od travnja do listopada. Bili su postavljeni na dubinu od oko 0,5 m, kod rta Ploče – Punta Planka u uvali Sičenici. Prema podatcima Hrvatskog hidrografskog instituta u Splitu, pH vrijednost mora na tom području, za to vrijeme godine, iznosi oko 8,20. Slika 4. prikazuje izgled kugličarene površine nakon izlaganja utjecaju mora.



Slika 4. Izgled kugličarene površine nakon izlaganja moru
Figure 4. Shot-peened surface after sea water exposure

5. Mehanička i mikrostrukturna ispitivanja

Mechanical and Microstructure Testing

5.1. Ispitivanja tvrdoće

Hardness Test

Ispitivanja tvrdoće provedena su u Zavodu za strojarstvo tehnologiju FESB-a, i to na Vickersovu tvrdomjeru pri opterećenju od 98,1 N (HV_{10}). Na temelju rezultata mjerenja izračunana je srednja vrijednost tvrdoće za svaki uzorak. Rezultati su dani u tablici 2.

Tablica 2. Rezultati mjerenja tvrdoće
Table 2. Hardness test results

| UZORAK | Tvrdoća HV_{10} | | | | | Srednja vrijednost |
|-------------------------|-------------------|------|------|------|------|--------------------|
| | | | | | | |
| Osnovni materijal | 88,6 | 89,6 | 87,5 | 86,8 | 93,2 | 88,5 |
| Kugličaren | 94,1 | 93,8 | 93,7 | 94,2 | 94,0 | 93,9 |
| Kugličaren – more 2 mj. | 89,8 | 90,2 | 91,3 | 89,8 | 89,2 | 89,9 |
| Kugličaren – more 6 mj. | 84,1 | 71,2 | 75,9 | 89,8 | 81 | 80,3 |

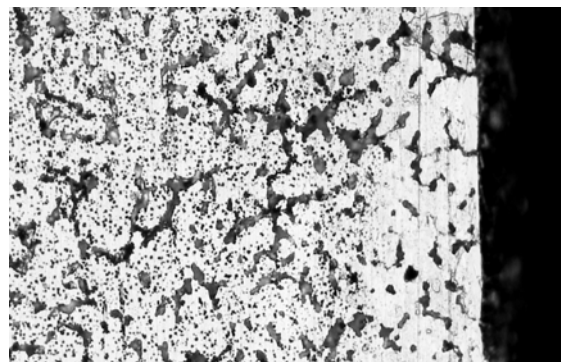
Tablica 3. Rezultati ispitivanja čvrstoće
Table 3. Strength test results

| UZORAK | R_{p02} (MPa) | | R_m (MPa) | |
|--------------------------|-------------------|-------|-------------|-----|
| | I. | II. | I. | II. |
| | Osnovni materijal | 192 | 190,5 | 283 |
| Kugličareno | 207 | 202 | 312 | 308 |
| Kugličareno – more 2 mj. | 198 | 196 | 298 | 296 |
| Kugličareno – more 6 mj. | 192,5 | 193,5 | 288 | 290 |

5.3. Ispitivanja mikrostrukture

Microstructure Analysis

Metalografska ispitivanja pokusnih uzoraka provedena su na Katedri za materijale Zavoda za strojarstvo tehnologiju FESB-a, i to s pomoću svjetlosnoga reflektirajućeg mikroskopa OPTON, tip Axioskop. Priprema uzoraka provedena je klasičnim načinom mehaničkog brušenja i naknadnog poliranja, a kao sredstvo za travljenje korišteni su Kellerov i Flickov reagens. Kontrola mikrostrukture provedena je na četiri uzorka, i to po dva iz svakog razdoblja zadržavanja u moru. Zatim, za analizu strukture od četiri uzorka odabrana su dva, prikazana na slikama 5. i 6.



Slika 5. Mikrostruktura kugličarenog uzorka (2 mj. u moru)

Figure 5. The microstructure of shot-peened specimen (2 months in sea)



Slika 6. Mikrostruktura kugličarenog uzorka (6 mj. u moru)

Figure 6. The microstructure of shot-peened specimen (6 months in sea)

Mikrostruktura uzorka razvijena je s pomoću Kellera reagensa. Prema literaturi [6] struktura osnovnog metala sastoji se od « α » kristala, po čijim granicama je izlučena mreža precipitata « β » mješanaca (Al_3Mg_2). Na slici se još uočavaju manje i veće tamne čestice, koje su vjerojatno nerastvorene faze, kao što je npr. kristal kemijskog spoja Mg_2Si . Nadalje, uočava se uski površinski sloj gdje je došlo do usmjeravanja kristalnih zrna paralelno s kugličarenom površinom. Debljina tog sloja iznosi oko 0,05 mm.

6. Diskusija

Discussion

6.1. Tvrdoća

Hardness

Na temelju dobivenih rezultata ispitivanja tvrdoće, uočava se da je tvrdoća kugličarenog uzorka u odnosu prema nekugličarenom nešto povećana, što je posljedica plastične deformacije površinskoga kugličarenog sloja. Isto tako, uočava se da su tvrdoće uzoraka koji su bili pod utjecajem mora, nešto niže od tvrdoće kugličarenog uzorka koji nije bio u moru. To smanjenje tvrdoće nastalo je zbog klasičnog načina pripreme uzorka. S obzirom na to da je ispitivanje tvrdoće provedeno na Vickersovu uređaju, koji zahtijeva čišćenje i blago poliranje površine, nastalo je vjerojatno stanjenje kugličarenog sloja. Takav, nešto tanji sloj pružio je i nešto manji otpor pri prodiranju Vickersova penetratora.

6.2. Čvrstoća

Strength

Pri analizi rezultata ispitivanja čvrstoće uočava se da je čvrstoća kugličarenih uzoraka nešto veća (cca 10 MPa) u odnosu prema izvornom nekugličarenom uzorku. Taj porast čvrstoće posljedica je kugličarenjem unesenoga tlačnog naprezanja u površinski sloj uzorka. Isto tako, uočava se da nema bitnije razlike između

uzoraka izloženih utjecaju mora u usporedbi s izvornim kugličarenim uzorkom.

6.3. Mikrostruktura

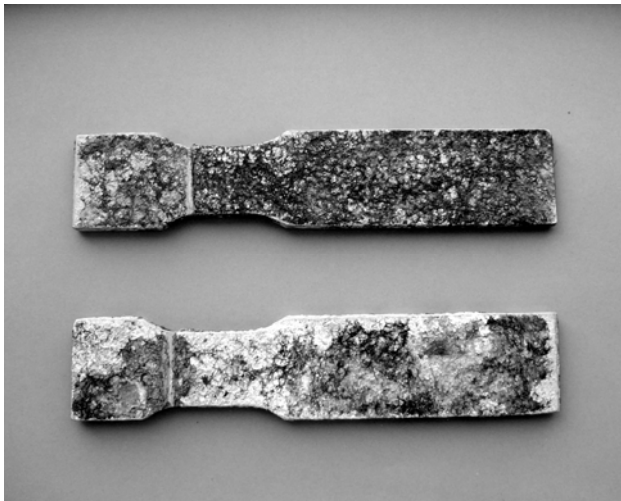
Microstructure

Provedena analiza mikrostrukture pokazuje da nije došlo do značajnijih promjena u debljini kugličarenog sloja na uzorcima izloženima morskom utjecaju. Debljina kugličarenog sloja iznosila je oko 0,05 mm, što odgovara podacima u literaturi [1], a koji navode da se pri Almen intenzitetu 0,9N2 postiže debljina sloja od 0,045 do 0,06 mm. Međutim, važno je istaknuti da se pri dugotrajnom izlaganju utjecaju mora zna pojaviti stanjivanje kugličarenog sloja, kao posljedica korozije izazvane morskim organizmima.

6.4. Utjecaj mora

Sea Water Influence

Pregledom površina uzoraka izloženih izravnom utjecaju mora, uočeno je da su se za iste površine uhvatili različiti morski organizmi (slika 7.). Nadalje, nisu uočene nikakve druge promjene (npr. lokalna ispupčenja ili udubljenja, pukotine i sl.) koje bi imale za posljedicu oštećenje metalne površine.



Slika 7. Površine uzoraka izložene koroziji obrastanja

Figure 7. Specimens surfaces under fouling corrosion

«pH» faktor - Kao opće pravilo vrijedi da je zaštitni oksidni film stabilan u vodenim otopinama kojima se pH faktor nalazi u granicama od 4,5 do 8,5 [4]. Obično je oksidni film topljiv u jakim kiselim i lužnatim otopinama, što zna uzrokovati propadanje aluminijske. Međutim, kao i za svako pravilo i ovdje ima iznimaka.

Aluminijske slitine rabe se u različitim vodama i morima. Nije poznat ni jedan značajan odnos između korozijskih svojstava voda i aluminijskih slitina [5].

U vodi s vrijednosti pH od 8,5 ili većima, otpornost aluminijske ovisi prvenstveno o prirodi sastojaka koji uzrokuju visoki pH [3]. Praksa je pokazala da su mnoge prirodno lužnate vode kompatibilne s aluminijem. Slično

tako, stupanj korozije aluminija u kiselim vodama ovisi o širokom rasponu prirodnih sastojaka koji uzrokuju nisku vrijednost **pH**. Kisele vode koje sadržavaju kloride posebno su naglašeno korozivne prema aluminiju, ali i vode u kojima prevladavaju sulfati uz ipak znatno manji intenzitet nego vode s istim **pH** u kojima dominiraju kloridi. Ove općenite tvrdnje ne vrijede ako vode u tragovima sadržavaju teške metale. Bakar, olovo, kositar, nikal, živa i kobalt uobičajeno se smatraju teškim metalima, i oni pogoduju lokalnoj koroziji.

S obzirom na to da je **pH** vrijednost mora na mjestu postavljanja uzoraka iznosila oko 8,20, nije postojala mogućnost da se ošteti zaštitni sloj aluminijeva oksida (Al_2O_3), tako da je izostala pojava interkristalne korozije. Kod ovih slitina interkristalna se korozija pojavljuje u okolišu koji nije bogat kisikom kada se mehanički ošteti površinski zaštitni sloj. Tada je, naime, otežan nastanak novoga zaštitnog sloja aluminijeva oksida.

Međutim, morski organizmi što su se uhvatili na površini uzoraka, čvrsto prijanjaju za površinski zaštitni sloj, tako da njihovo mehaničko uklanjanje ima za posljedicu njegovo oštećenje. Takvo oštećenje zaštitnog sloja vidi se na slici 8.



Slika 8. Odvajanje sloja obrasloga morskim organizmima

Figure 8. Separating of the surface fouling layer

Na slici 8. prikazan je završetak ispitivanja vlačne čvrstoće jednog od uzoraka koji su bili šest mjeseci u moru. S obzirom na to da postoji razlika između mogućnosti deformacije izvorne slitine i njezina zaštitnog sloja obrasloga morskim organizmima, došlo je do pucanja i mehaničkog odvajanja tako obraslog sloja od matičnog metala.

7. Zaključak

Conclusion

Svrha je ovog rada analiza utjecaja mora na kugličarene slojeve aluminijske slitine. Pokusni materijal bila je brodograđevna aluminijaska slitina, AIMg4.5Mn.

Pripremljeni su uzorci bili izloženi morskom djelovanju u trajanju od dva i šest mjeseci. Uzorci su bili postavljeni u more gdje je **pH** vrijednost iznosila oko 8,2. Nakon provedenih ispitivanja i analize rezultata, može se zaključiti:

- da se kao dominantni proces korozije pojavilo obrastanje morskim organizmima; nije uočena pojava drugih mogućih korozijskih procesa,
- da nije došlo do bitnije promjene debljine kugličarenog sloja,
- da je nastala neznatna promjena mehaničkih svojstava kugličarenih uzoraka koji su bili izloženi utjecaju mora u usporedbi s kugličarenim uzorcima koji nisu bili u moru.

Iako je poznato da su brodograđevne aluminijske slitine iznimno otporne na djelovanje korozije mora, one kugličarene površine koje bi bile duže vremenski razdoblje izložene utjecaju mora, trebalo bi premazati zaštitnom bojom. Takav zaštitni premaz onemogućio bi pojavu korozije morskim organizmima, a samim tim znatno bi se smanjila mogućnost propadanja tankoga kugličarenog sloja, pa bi se smanjila i mogućnost da se pojave mehanička oštećenja površina izloženih djelovanju mora.

Literatura

References

- [1] D. Živković (2002), *The Changes in Shot-peened Surface Layer of Aluminium Alloy 5083*, 1st International Conference on Materials & Tribology 2002, Dublin, Republic of Ireland, (1-9)
- [2] D. Živković (1999), *Utjecaj toplinskih pukotina i kugličarenja na dinamičku izdržljivost zavarenih aluminijevih konstrukcija*, doktorska disertacija, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Splitu
- [3] D. S. Craig, D. S. Anderson (1995), *2nd Edition Handbook of Corrosion Data*, ASM International, USA
- [4] S. Brown (1999), *Feasibility of Replacing Structural Steel with Aluminium Alloys in the Shipbuilding Industry*, University of Wisconsin at Madison, (1-15) www.elvis.engr.wisc.edu:16080/UER/uer99/author1/content.html
- [5] R. K. Kent, R. Baggerly (2000), MDE Engineers, Inc., *Intergranular Corrosion*, 777-785
- [6] R. F. Mehl, *Metals Handbook 8th Edition, Atlas of Microstructures of Industrial Alloys Vol 7.*, ASM International, USA (1972)

Rukopis primljen: 22.11.2005.