

UTJECAJ TEMELJNOG PREMAZA NA KVALITETU ZAVARENOG SPOJA KOD VISOKOUČINSKOG ZAVARIVANJA S DVA ELEKTRIČNA LUKA

INFLUENCE OF SHOP PRIMERS ON QUALITY OF JOINTS WELDED BY TWO ARCS HIGH-PERFORMANCE WELDING PROCESS

Ivan MAJUREC ¹⁾, Duško PAVLETIĆ ²⁾, Sanjin ŠTIMAC ¹⁾

Ključne riječi: brodogradnja, kvaliteta, temeljni premaz, visokoučinsko zavarivanje

Key words: shipbuilding, quality, shop primer, high-performance welding

Sažetak: Kod izrade brodskih sekcija i zavarivanja traka i profila primjena visokoučinskog zavarivanja zasigurno predstavlja jedan od pravaca razvoja tehnologije zavarivanja u brodogradilištu. Rad razmatra osnovna ograničenja i preduvjete za primjenu visokoučinskog postupka zavarivanja na osnovni materijal prethodno premazan temeljnim zaštitnim premazom. Daje se plan izrade testnih uzoraka na kojim je provjeravan utjecaj temeljnog premaza na kvalitetu zavarenog spoja, prije svega, pojavu poroznosti. Na posebno pripremljenim uzorcima izvršit će se zavarivanje visokoučinskim "Tandem Time-Twin" mehaniziranim postupkom. Nakon ispitivanja razaranjem utvrdit će se količina poroznosti i izvesti preliminarni zaključci o mogućnosti i potrebnim uvjetima za primjenu visokoučinskog postupka u brodgrađevnoj praksi.

Abstract: The one of main development directions of welding technology in shipyards is application of high-performance welding process, especially concerning welding of hull sections. The paper deals with main limitations and preconditions for application of high-performance welding process on base metal previously coated with shop primer. The plan for preparation of test specimens is presented. The test specimens are coated with a shop primer and welded by mechanized Tandem Time-Twin welding process. Destructive testing of specimens will reveal the amount of porosity in welded joints. Based on test results the preliminary conditions for application of high-performance welding process in shipbuilding will be determined.

¹⁾ "3. MAJ" BRODOGRADILIŠTE, d.d., Rijeka, Liburnijska 3, 51000 Rijeka

²⁾ Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet, Vukovarska 58, 51000 Rijeka

1. UVOD

U okruženju rastuće globalne konkurenčije, brodogradilišta neprekidno rade na poboljšavanju svoje produktivnosti prvenstveno kroz poboljšanje kvalitete. Kako bi se to postiglo, pozornost mora biti obraćena na sve aspekte proizvodnog procesa, uključujući i smanjenje oštećenja zaštitnih temeljnih premaza a time i utrošenih radnih sati na popravke i dorade tih oštećenja. Pri tome inicijalni odabir tipa zaštitnog premaza može imati odlučujuću ulogu i utjecaj na produktivnost, učinkovitost, kvalitetu i troškove.

Suvremena brodogradilišta koriste temeljne premaze koji su kompatibilni s čitavim brodograđevnim procesom, uključujući i sljedeće zahtjeve:

- brzo sušenje i rukovanje,
- otpornost na koroziju,
- smanjenje sekundarne pripreme površine,
- kompatibilnost s uobičajenim procesima zavarivanje i rezanja koji se koriste u brodogradnji.

2. ZAVARIVANJE PREKO ZAŠTITNOG PREMAZA I ZAVARIVANJE UZ ČIŠĆENJE

Čelici se u brodogradnji od korozije štite odgovarajućim sustavom boja. Prije bojanja, čelični limovi i profili se sačmarenje kako bi se odstranile nečistoće i početci korozije. U brodogradilišta se to danas uobičajeno radi u automatiziranim pogonima. Bojanje čeličnih elemenata temeljnim zaštitnim premazom mora slijediti neposredno nakon sačmarenja jer bi u suprotnome korodiranje sačmarenog čelika bilo vidljivo nekoliko sati nakon samog sačmarenja. Uloga temeljnog zaštitnog premaza je zaštita čeličnih elemenata tijekom procesa izrade broda, što može trajati i više mjeseci. Svi se zaštitni premazi izrađuju na način da se brzo suše, što omogućuje automatizirano premazivanje i istovremeno pomicanje limova kroz sustav za sačmarenje i temeljno premazivanje.

Međutim, primjena temeljnih premaza može rezultirati nedostacima u zavarenim spojevima. Temeljni premaz može, isto tako, biti odstranjen prije zavarivanja, no ta je operacija povezana s značajnim troškovima i svakako bi je bilo interesantno izbjegći. No, osnovni problem kod zavarivanja preko zaštitnog premaza je poroznost. Organske veze u temeljnom premazu se tijekom zavarivanja razbijaju na vodik, vodu i ugljični dioksid, a vodik i nastala vodena para, kao i ostali plinovi prisutni kod zavarivanja mogu ostati zarobljeni u metalu zavara, ovisno o brzini skrućivanja metala zavara.

Gledano općenito, praktična iskustva s zavarivanje preko zaštitno premaza su sljedeća [1]:

- **Sučeljeni spojevi** – Općenito, nema problema jer se u brodograđevnoj praksi priprema sučeljenih spojeva uglavnom izvodi rezanjem plinskim plamenom ili plazmatskim lukom, nakon nanošenja temeljnog premaza. Tim se postupkom uklanja postojeći temeljni premaz.
- **Kutni spojevi** – kutni spojevi mogu sadržavati poroznost u blizini korijena zavara. Da li će doći do poroznosti i kolika će ona biti, ovisi o tipu i debљini nanesenog sloja zaštitnog premaza, primjenjenom postupku zavarivanja, uvjetima izvođenja zavarivanja, i dr. Kod dvostrukog kutnog spoja poroznost se pojavljuje u značajnijoj mjeri kod drugog zavara iz razloga što je prvi zavar zatvorio jedini mogući izlaz plinovima koji nastaju prilikom zavarivanja. Dodavanjem cinka u temeljni premaz do određene se mjeru smanjuje razina poroznosti u zavarenim spojevima.

- **Položaj zavarivanja** – Zavarivanje vertikalno prema dolje ili u nadglavnoj poziciji rezultira višom razinom poroznosti od one u drugim položajima zavarivanja. To se može objašnjavati onemogućavanjem plinova da izađu iz rastaljenog pod utjecajem uzgona, dakle vertikalno prema gore.
- **Postupci zavarivanja** –
 - **Ručno elektrolučno** zavarivanje uz primjenu bazične ili rutilne elektrode uobičajeno rezultira dobrom kvalitetom zavara. Iznimka je kada se zavaruje u vertikalno prema dolje ili nadglavnoj poziciji, iz prethodno navedenih razloga.
 - **MIG zavarivanje** rezultira značajnijom pojmom poroznosti iz razloga što se uobičajeno koriste veće brzine zavarivanja.
 - **Zavarivanje žicom punjenom praškom** s bazičnom žicom ima tendenciju stvaranja niže razine poroznosti nego s rutilnom žicom.
 - **Mehanizirani postupci zavarivanja** koriste veće brzine zavarivanja od ručnih ili poluautomatskih postupaka, što rezultira većom brzinom skrućivanja metala zavara, a samim time i skraćivanjem vremena da plinovi napuste rastaljeni metal. Iz tog je razloga poroznost kod ovih postupaka zavarivanja izraženija nego kod drugih. Problem se može rješavati ograničavanjem brzine zavarivanja, pažljivom kontrolom debljine sloja nanešenog temeljnog premaza, te ostavljanjem zračnosti od približno 1,5 mm između limova i profila kod kutnog spoja. Međutim, ostavljanje zračnosti se u praksi izbjegava jer je složeno za izvesti, a nepotrebno se povećava i količina nataljenog metala čime se, također, produljuje vrijeme izlaska plinova iz kupke rastaljenog metala.

3. PRIMJENA VISOKOUČINSKOG POSTUPKA ZAVARIVANJA

Definicija visokoučinskog MIG/MAG zavarivanja prema DVS Datasheet 0909-01. glasi:
Visokoučinsko MIG/MAG zavarivanje je postupak zavarivanja pod zaštitom plina kod kojega se jedna ili više punih žica promjera 1,0 ili 1,2 mm koriste kod brzine žice veće od 15 m/min.

Postupci kod kojih se koriste veći promjeri žice od navedenog, ili kod kojih se ostvaruje taljenje više od 8 kg/h dodatnog materijala uz korištenje praškom punjene žice također se smatraju visokoučinski postupci zavarivanja. Visokoučinsko zavarivanje se uglavnom koristi kod nelegiranih konstrukcijskih čelika ili kod sitnozrnatih čelika [2].

Visokoučinsko zavarivanje s jednom elektrodom može se izvoditi ručno i potpuno automatizirano odnosno mehanizirano. Pritom je potrebno naglasiti da, zbog povećanog izlaganja zavarivača visokim temperaturama, postoje granice brzine žice koje se mogu praktično primjenjivati kod ručnog zavarivanja.

Brzine zavarivanja koje se mogu koristiti nalaze se u širokom rasponu ovisno, prije svega o pripremi spoja za zavarivanje i poziciji u kojoj se zavarivanje izvodi. U pravilu one se kreću između 15 i 22 m/min (za žicu promjera 1,2 mm). Što se tiče najveće praktično izvedive brzine zavarivanja ručnim radom ona iznosi oko 50 cm/min [2].

Gledano sveukupno, sljedećih nekoliko faktora ima osnovnu ulogu u uspješnom zavarivanju visokoučinskim postupkom uz primjenu jedne žice:

- učinkovita i suvremena oprema za zavarivanje,
- žica punog presjeka pogodna za rad na većim brzinama dodavanja žice,
- zaštitni plin koji je prilagođen promatranoj namjeni,
- izvedba postupka zavarivanja te poznavanje tehnologije zavarivanja od strane zavarivača odnosno operatora kada se radi o automatiziranom zavarivanju.

Neke od osnovnih prednosti, a time i razlozi primjene visokoučinskih postupaka zavarivanja, su sljedeće:

- *Velika količina nataljenog metala u jedinici vremena*
- Uslijed velikih brzina dodavanja žice, moguća je količina nataljenog metala od preko 10 kg/h kod normalnog rada, odnosno preko 5 kg/h u prisilnim pozicijama. U nekim je slučajevima količina nataljenog metala u jedinici vremena veća i od one kod EPP postupaka odnosno MAG zavarivanja punjenom žicom.
- *Zadovoljavajuće protaljivanje*
- Udio helija u zaštitnom plinu potiče veće dubine protaljivanja čime se poboljšava dinamička čvrstoća kutnih spojeva.
- *Niža razina unesene topline*
- Uslijed većih brzina zavarivanja smanjuje se količina unesene topline po jedinici dužine zavarenog spoja a time i, naravno, manje su deformacije zavarivanih dijelova. Ova prednost od posebne je važnosti u brodogradnji kod izrade sekcija broda s tanjim limovima gdje se izraženije javljaju problemi deformacija zavarivanih dijelova.
- *Pouzdana ponovljivost zavarivanja*
- Svi parametri izvođenja zavarivanja se pohranjuju, što omogućava njihovu analizu i korekciju, a u trenutku kada se postiže zadovoljavajući zavareni spoj, isti se parametri mogu koristiti svaki slijedeći put kada se zavaruje isti tip spoja. Na taj je način varijabilnost parametara koja se kod nekih drugih postupaka ne može izbjegnuti ovdje izbjegnuta.

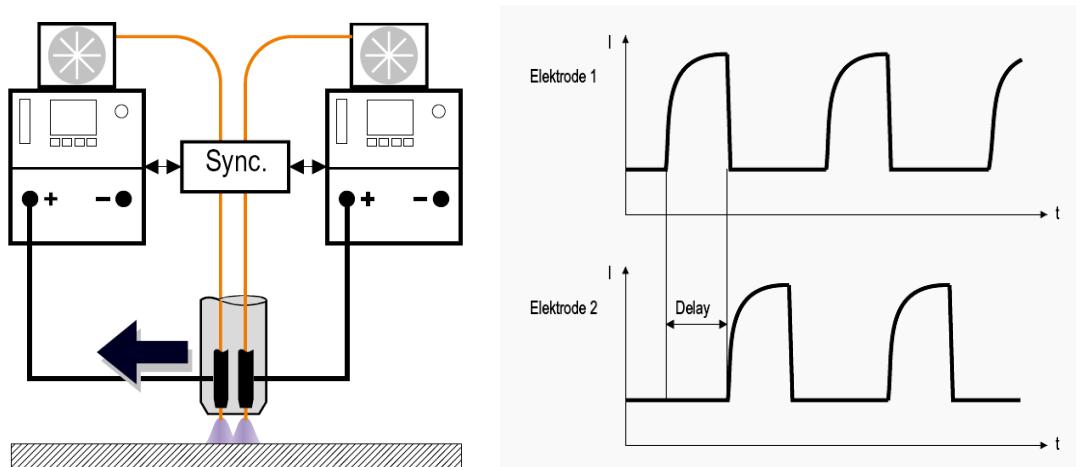
U početku razvoja visokoučinskih postupaka najčešće su se koristili zaštitni plinovi sastavljeni iz četiri komponente (uobičajeno 65 % argona, 26,5 % helija, 8 % ugljičnog dioksida i 0,5 % kisika). Kasnija istraživanja i praktična iskustva u primjeni ovih postupaka pokazala su da zaštitni plinovi sastavljeni od dvije ili tri komponente osiguravaju također jednako dobre, ako ne i bolje rezultate zavarivanja od onih postignutih pod zaštitom četvero-komponentnih plinova. Dodavanjem helija u zaštitni plin postižu se više temperature u električnom luku što omogućuje korištenje i većih brzina zavarivanja. Pri tome, dodatak helija zaštitnom plinu u rasponu od 15 % do 50 % nema utjecaja na tip električnog luka.

S ekonomске strane gledišta, usporedba primjerice TIME postupka i konvencionalnog MAG postupka zavarivanja odmah će pokazati da je trošak radne snage odnosno utrošenih radnih sati najveći dionik ukupnih troškova zavarivanja. Troškovi zaštitnog plina ne predstavljaju značajan udio u ukupnim troškovima iako je u pojedinim slučajevima zaštitni plin kod visokoučinskog postupka zavarivanja i do tri puta skuplji od onog što se koristi kod usporedivog konvencionalnog postupka. To je najviše posljedica povećane brzine zavarivanja kod visokoučinskog postupka, a time i smanjenja vremena primjene plina.

3.1. Time Twin postupak zavarivanja

Kod Time Twin postupka koriste se dvije međusobno izolirane žice, slika 1, pod zajedničkom zaštitnom plinskom atmosferom. Žice su spojene na dva međusobno neovisna izvora struje za zavarivanje opremljena varijabilnim jedinicama za dodavanje žice i odgovarajućim programabilnim grafičkim sučeljem putem kojeg se upravlja izvorima struje za zavarivanje. Dodavanjem jedinice za sinkronizaciju dvaju izvora struje za zavarivanje stvara se mogućnost preciznog koordiniranja prijenosa metala s dvaju elektroda.

Kada se parametri optimalno podese pulsirajući luk omogućava kapljičasti prijenos rastaljenog metala bez stvaranja kratkog spoja, pri čemu se veličina kapljice može držati gotovo konstantna bez obzira na jakost struje i napona električnog luka. Također, TIME Twin proces omogućava održavanje kratkog električnog luka što rezultira malom kupkom taline dok se ostatak energije luka može iskoristiti za povećanje brzine zavarivanja [3].



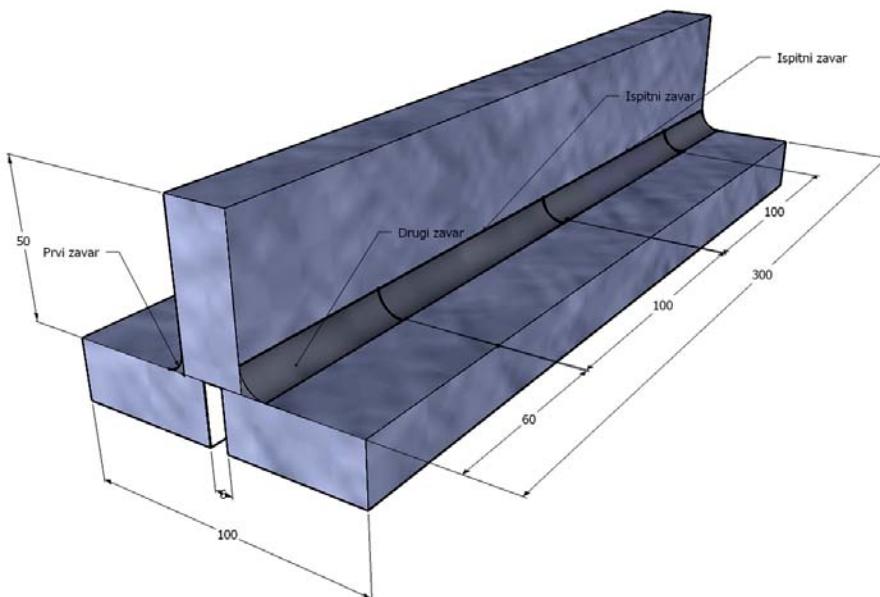
Slika 1. Shema Time Twin postupka zavarivanja

4. ISPITIVANJE TEMELJNIH PREMAZA POGODNIH ZA ZAVARIVANJE

Prema odrednicama Hrvatskog registra brodova, temeljni premazi pogodni za zavarivanja upotrijebljeni na limovima, sekcijama itd. ne smiju značajno umanjiti kakvoću zavarenih spojeva [4].

Ukupna površina poroznosti ne smije prijeći 150 mm^2 . Temeljni premazi koji daju ukupnu površinu poroznosti veću od 150 mm^2 , ali koja ne prelazi 250 mm^2 mogu se primijeniti u posebni slučajevima za manje napregnute konstrukcije. Temeljni premazi koji daju ukupnu površinu pora iznad 250 mm^2 ne smiju se upotrebljavati.

Za ispitivanje utjecaja zaštitnog premaza na pojavu poroznosti, sukladno HRB, koristi se kutni spoj prikazan na slici 2. Da se omogući otvoreni prijelom dva zavara, ispitni komad mora biti strojno ižlijebljen i podijeljen na uzorke duge 100 mm.



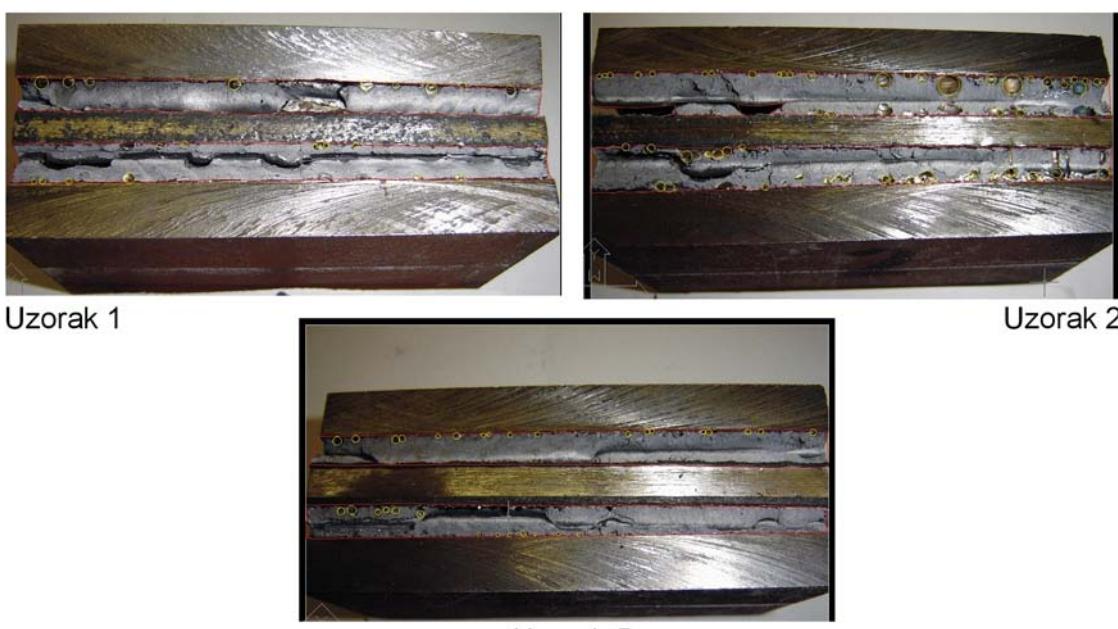
Slika 2. Ispitni uzorak za ispitivanje temeljnog premaza

Proizvodna proba mora se slomiti radi procjene. Površina prijeloma zavara otkriva najveći broj pora za procjenu. Broj pora na duljini od 100 mm mora se utvrditi a površina svake pojedinačne pore mora se izmjeriti. Pore kojima je glavna os manja od 0,5 mm se zanemaruju. Broj pora i pojedinačna površina pora uzimaju se za izračunavanje ukupne površine pora, i nakon toga se određuje omjer u odnosu na ukupnu površinu prijeloma zavara. Postotak površine pora mora se navesti u izvještaju. U smjernicama 006 "Temeljni premazi pogodni za zavarivanje, u čeličnim nosivim konstrukcijama", od njemačkog Komiteta za čelične nosive konstrukcije, najveći dopušteni postotak površine pora je 4 % za dinamičko naprezanje, i 7 % za statičko naprezanje. Pozitivno iskustvo do danas kazuje da su ove brojke na strani sigurnosti.

5. DOSADAŠNJE SPOZNAJE I PLANIRANA ISPITIVANJA

U prethodnom je periodu napravljeno je nekoliko preliminarnih proba gdje se zavarivanje izvodilo Time postupkom na temeljnog premazu uobičajeno korištenom u brodogradevnoj praksi. Dobiveni zavareni spojevi mehanički su obrađeni i prelomljeni sukladno prethodno opisanoj proceduri ispitivanja utjecaja temeljnog premaza.

Digitaliziranjem površine poprečnog presjeka prijeloma, putem računala izračunata je površina poprečnog presjeka otvorenih pora. Na slici 3 prikazani su neki od uzoraka provedenog mjerenja.



Slika 3. Prikaz probnih uzoraka

Dobiveni rezultati prikazani su u tablici 1.

Temeljem dobivenih preliminarnih rezultata, koji su u zoni graničnih dozvoljenih vrijednosti zaključeno je da se pokuša napraviti još nekoliko kontroliranih proba uzimajući u obzir iskustva proizvođača opreme za zavarivanja koja ukazuju na bolje rezultate odnosno smanjenje pora u slučaju primjene zaštitnog plina s povećanim udjelom CO₂ i helija. Također, planira se eksperimentirati s kutom nagiba pištolja za zavarivanje u cilju dobivanja optimalne vrijednosti nagiba pištolja vezano za oslobođanje plinova nastalih uslijed izgaranja temeljnog premaza.

Tablica 1. Rezultati prvih proba zavarivanja s i bez temeljnog premaza

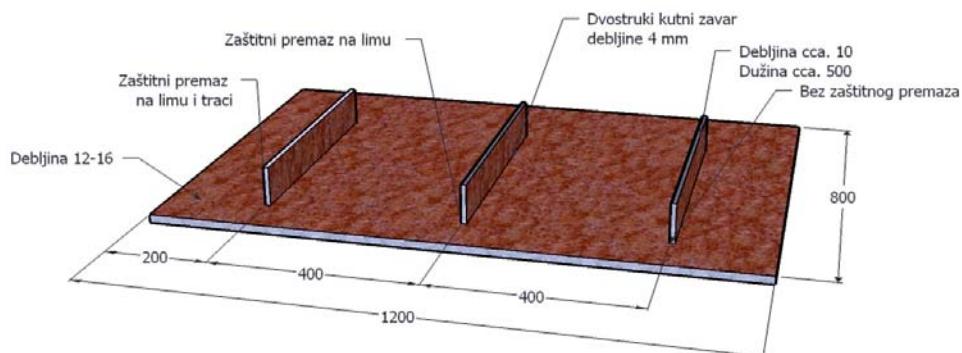
Uzorak	Temeljni premaz	Brzina zavarivanja, cm/min	Površina zavara, mm ²	Površina poroznosti, mm ²	Udio poroznosti, %	Kvaliteta
1	Na limu	100	1200	38	3,17	2.
2	Na limu	100	1200	55	4,58	3.
5	Bez	100	1200	31	2,58	1.

Testiranje temeljnog premaza napravit će se u skladu s Pravilima za tehnički nadzor pomorskih brodova, dio 26. od Hrvatskog registra brodova. Odrednice koje su primjenjene na testiranje dane su u točki 1.6 Temeljni premazi pogodni za zavarivanje [4].

Tablica 2. Okvirne/početne vrijednosti parametara

Osnovni materijal	Brodograđevni čelik klase A Kemijski sastav C \leq 0,23% Mn \geq 2,5 C Si \leq 0,35 P \leq 0,04 S \leq 0,04 Granica tečenja, N/mm ² \geq 235 Vlačna čvrstoća, N/mm ² 400 do 490 Istezljivost, % \geq 22 Žilavost, J nema zahtjeva Izvor: Hrvatski registar brodova
Temeljni premaz [5]	ZS 15890 HEMPPEL'S SHOPPRIMER ZS 15890 Dvokomponentni cink-silikatni temeljni premaz niskog sadržaja cinka, namijenjen za automatizirano nanošenje. Nanosi se u tankom sloju na neposredno sačmarenu površinu limova odnosno profila. Osigurava zaštitu limova i profila od korozije tijekom izrade sekcija, transporta, skladištenja i gradnje na navozu. Omogućava zavarivanje i rezanje bez skidanja odnosno uklanjanja premaza. Temeljni premaz se koristi s odgovarajućom otopinom istog proizvođača oznake 99751.
Postupak	Automatizirani Tandem Time Twin
Brzina zavarivanja	cca. 100 cm/min
Dodatni materijal	Puna žica \varnothing 1,0 mm ; EN 440 : G3Si1
Zaštitni plin	Cargon He 30, 82/18, 92/8 / Time plin
Pozicija zavarivanja	PB, Položeni položaj
Tip spoja	Kutni, 4 mm, prema slici 4.

Probe bi se izvele na testnom uzorku prikazanom na slici 4. Testni uzorak će se sastojati od tri dvostruka kutna zavara debljine 4 mm. Na jednom će se kutnom zavaru koristiti temeljni premaz i na limu i na traci, na slijedećem će zavaru temeljni premaz biti samo na limu, dok će treći zavar biti bez temeljnog premaza.



Slika 4. Testni uzorak

6. OČEKIVANI REZULTATI

Očekuje se da će se pažljivim odabirom parametara zavarivanja, posebice zaštitnog plina i kuta nagiba pištolja, doći do prihvativog nivoa kvalitete zavarenog spoja, primjerenoj brodogradevnoj proizvodnji. Time bi se dao značajan doprinos razmatranju mogućnosti za podizanja učinkovitosti izrade sekcija brodskog trupa, posebice kroz skraćivanje potrebnog vremena zavarivanja, te izbjegavanja ili ukidanja aktivnosti koje ne dodaju vrijednost, kao što je uklanjanje temeljnog premaza prije zavarivanja, te zaštita zavarenog spoja nakon zavarivanja. Također, uvođenjem automatiziranog postupka zavarivanja osigurava se ponovljivost, jamči se kvaliteta izvedbe i podiže se tehnološka razina.

Očekuje se da će se planirani pokusi i ispitivanja izvest unutar narednih šest mjeseci.

7. LITERATURA

- [1] Welding primed plate, www.twi.co.uk, 2007.
- [2] TIME-Welding, Course book, Fronius
- [3] Hackl H., TIME TWIN - High-speed GMA welding with two wire electrodes, Fronius Schweissmaschinen KG, Austria]
- [4] Pravila za tehnički nadzor pomorskih brodova, Dio 26 – Zavarivanje, Hrvatski registar brodova, Split, 1999.
- [5] Hempel's Shopprimer ZS 15890, www.acepent.com/hempel/isue-06/index.php, 2007.