

Tehnologija zavarivanja i zaštite od korozije kopača na brodu za jaružanje

Gligora, Goran

Master's thesis / Diplomski rad

2010

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:235:242087>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-13**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET STROJARSTVA I BRDOGRADNJE U ZAGREBU

DIPLOMSKI RAD

Goran Gligora

Zagreb, srpanj 2010.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET STROJARSTVA I BRDOGRADNJE U ZAGREBU

**TEHNOLOGIJA ZAVARIVANJA I ZAŠTITE OD KOROZIJE
KOPAČA NA BRODU ZA JARUŽANJE**

DIPLOMSKI RAD

Mentor : Prof. dr. sc. Ivan Juraga

Student: Goran Gligora

Matični broj: 0035150470

Studij: Brodogradnja

Zagreb, srpanj 2010.

IZJAVA:

Izjavljujem da sam diplomski rad radio samostalno, na temelju znanja stečenih na Fakultetu strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, služeći se navedenom literaturom te uz nadzor mentora prof.dr.sc. Ivana Jurage.

Goran Gligora

Zahvala:

Najtoplije hvala mojoj obitelji od koje sam imao potporu svih ovih godina i bez koje sve ovo ne bi bilo moguće. Tati što je bio vodilja da upišem ovaj fakultet, mami koja je pružala konstantnu moralnu potporu, teti koja je uvijek bila tu, te noni i didi koji su mi iz dana u dan davali snagu da se borim.

Posebno hvala i svim mojim prijateljima i dragim osobama koje su uljepšale svaki dan kada učenje nije bilo u prvom planu,

te jedna velika zahvala svim kolegama s kojima sam djelio dobre i loše dane na fakultetu kroz ove najljepše godine mog života.

Naravno da bez posebnih ljudi koji su u svakom trenutku pružili svoje znanje i pomoć, ovaj diplomski sigurno ne bi imao ovakvu kvalitetu. Hvala svim zaposlenicima odjela boje i zararivanja brodogradilista Uljanik, kolegi Ivanu Stojanoviću, te mentoru prof.dr.sc. Ivanu Juragi na iskazanom povjerenju i potpori.

Goran Gligora

1. UVOD.....	1
2. POSTUPCI ZAVARIVANJA KROZ POVIJEST, TE ZAVARIVANJE	
NA BRODU JARUŽARU	2
2.1. OPĆENITO O PROJEKTU JARUŽARA	4
2.2. NAPRAVE KOJE SE KORISTE U ZAVARIVANJU NA BRODU	
JARUŽARU	6
2.3. TIPOVI ZAVARENIH SPOJEVA.....	15
2.3.1. OBLICI ŽLJEBOVA I OZNAČAVANJE SPOJEVA NA NACRTIMA	
NA BRODU JARUŽARU	18
2.4. POSTUPCI ZAVARIVANJA U BRODOGRADNJI	20
2.4.1. ELEKTROLUČNO ZAVARIVANJE TALJIVOM ŽICOM U ZAŠTITI INERTNOG	
PLINA (MIG/MAG)	20
2.4.1.1. OSNOVNI DIJELOVI UREĐAJA ZA MIG/MAG ZAVARIVANJE	21
2.4.1.2. VAŽNIJI PARAMETRI ZA ZAVARIVANJE MIG/MAG POSTUPKOM	22
2.4.1.3. SUSTAVI I UREĐAJI ZA DODAVANJE ŽICE.....	22
2.4.1.4. PIŠTOLJI ZA MIG/MAG ZAVARIVANJE.....	25
2.4.1.5. DODATNI MATERIJAL ZA ZAVARIVANJE (ŽICE).....	26
2.4.1.6. PRIMJENA MIG/MAG POSTUPKA ZAVARIVANJA	27
2.4.2. RUČNO ELEKTROLUČNO ZAVARIVANJE (REL).....	29
2.4.2.1. PARAMETRI ZAVARIVANJA I UTJECAJNI ELEMENTI REL POSTUKA.....	30
2.4.2.2. FUNKCIJA OBLOGE ELEKTRODE.....	32
2.4.2.3. RUKOVANJE ELEKTRODAMA.....	33
2.4.2.4. PRIMJENA REL POSTUKA ZAVARIVANJA	34
2.4.3. ELEKTROLUČNO ZAVARIVANJE POD ZAŠTITNIM PRAŠKOM (EPP).....	37
2.4.3.1. PARAMETRI ZA EPP POSTUPAK ZAVARIVANJE.....	39
2.4.3.2. DODATNI MATERIJAL ZA ZAVARIVANJE EPP-OM	39
2.4.2.3. PREDNOSTI I NEDOSTACI EPP-A	40
2.5. METODE KONTROLE ZAVARA NA BRODU JARUŽARU	42
3. PRIKAZ ZAVARIVANJA KRUŽNOG ZAVAREN OG SPOJA	
ODLJEVKA – KOPAČA.....	48
4. ZAŠTITA OD KOROZIJE SPECIFIČNIH SEKCIJA BRODA	
JARUŽARA	57

4.1. VRSTE ZAŠTITNIH PREMAZA PRIMJENJIVIH U BRODOGRADNJI	58
4.2. PRIPREMA METALNE POVRŠINE	61
4.2.1. PRIMARNA ZAŠTITA POVRŠINE.....	62
4.3. SUSTAVI ZAŠTITE PREMAZIMA – NAMJENA POJEDINIH PREVLAKA KOD BRODA JARUŽARA.....	65
4.3.1. RADIONIČKI TEMELJNI PREMAZI – “SHOPPRIMERI”	66
4.4. SEKUNDARNA ZAŠTITA POVRŠINE	70
4.4.1. NANOŠENJE – APLIKACIJA PREMAZA (BOJENJE)	71
4.4.2. NAČINI NANOŠENJA PREMAZA.....	72
4.5. TEHNOLOGIJA ZAŠTITE OD OBRAŠTANJA (ANTIVEGETATIVNI PREMAZI) NA BRODU JARUŽARU.....	76
4.6. NADZOR I KONTROLA PRI BOJANJU “KOPAČA” BRODA JARUŽARA.	80
5. ANALIZA ANTIKOROZIVNE ZAŠTITE SPECIFIČNE SEKCIJE “KOPAČA” BRODA JARUŽARA.....	82
6. OCJENA STANJA I PRIJEDLOG POBOLJŠANJA	87
7. ZAKLJUČAK	88
LITERATURA.....	89
PRILOG	90

POPIS SLIKA:

Slika 1. Porinjavanje broda jaružara, Brodogradilište Uljanik, Pula, travanj 2010.	4
Slika 2. Model broda jaružara [5].....	5
Slika 3. Bakrena podloška [2]	7
Slika 4. Vrste keramičkih podloška [2].....	7
Slika 5. Oblici metalnih podloška [2].....	8
Slika 6. Podloške od praha [2].....	8
Slika 7. „klavirska žica“ koja se koristi za centriranje odljevaka Brodogradilište Uljanik, Pula.....	9
Slika 8 i 9. Grijači za elektro otporno predgrijavanje i elektro otporni uređaj za predgrijavanje, Brodogradilište Uljanik, Pula	12
Slika 10. Dio opreme za elektrootporno predgrijavanje, Brodogradilište Uljanik, Pula	12
Slika 11. Presijek kabla za elektro induktivno predgrijavanje [6]	13
Slika 12 i 13. Uređaj za elektro induktivno predgrijavanje, te temperatura predgrijavanja odljevka [6].....	14
Slika 14. Osnovni tipovi spojeva [2].....	15
Slika 15. Vrste i oblici sučeljenih spojeva [2].....	16
Slika 16. Vrste i oblici kutnih spojeva [2]	16
Slika 17. preklopni spoj [2].....	16
Slika 18. Osnovni elementi zavarenog „V“ i „Y“ spoja [2].....	17
Slika 19 i 20. Princip rada MIG/MAG postupka zavrivanja, zavarivači koji izvode MIG zavarivanje u pogonu predmontaže Brodogradilišta Uljanik, Pula [6]	20
Slika 21. Kompaktni i modularni uređaji [6]	21
Slika 22. Dodavanje žice guranjem [6]	23
Slika 23. Dodavanje žice „push-pull“ [6]	24
Slika 24. Povećanje udaljenosti zavarivanja odvajanjem dodavača [6]	25
Slika 25. Tipovi gorionika [6].....	25
Slika 26. Standardni oblici pakiranja žice za MAG postupak [6]	27
Slika 27. Osnovni elementi REL postupka [2]	29
Slika 28. Elektrode [6].....	33
Slika 29. Zavarivanje REL i MIG postupkom, gdje se zavaruje „glava“ kopača praškom punjenom žicom Ø 1.2 mm, te elektrodom Ø 5 mm. Debljina materijala koji se zavaruje je 30 mm, te se za te debljine koristi žica i elektroda koje sadrži veći postotak nikla radi bolje zavarljivosti. Prilikom zavarivanja, lim se predgrijava elektro – induktivnim predgrijavanjem na temperaturu od 160°C , Brodogradilište Uljanik, Pula, svibanj 2010.	35
Slika 30. Zavarivanje kutnih spojeva REL postupkom,detalj iz Brodogradilište Uljanik, Pula, svibanj 2010.	37
Slika 31. Osnovni elementi EPP postupka [2].....	38
Slika 32. Stroj za kutno EPP zavarivanje, Brodogradilište Uljanik, Pula, svibanj 2010.	38

Slika 33. Dio opreme za reguliranje parametara i upravljanje strojem za EPP zavarivanje, Brodogradilište Uljanik, Pula	41
Slika 34. Shematski princip kontrole zavara penetrantima [1]	42
Slika 35. Sprejevi za penetrantsku kontrolu, brodogradilište Uljanik, Pula	42
Slika 36. Primjeri indikacija kod kontrole penetrantima [1].....	43
Slika 37 i 38. Nanošenje „crvenog” penetranta, te potom „bijelog” razvijača, Brodogradilište Uljanik, Pula.....	44
Slika 39. Shematski prikaz ultrazvučne metode kontrole kvalitete [1]	44
Slika 40. Uređaj za ispitivanje zavara ultrazvukom, Brodogradilište Uljanik, Pula, travanj 2010.....	45
Slika 41. Shematski prikaz radiografske kontrole kvalitete zavarenog spoja [1]	46
Slika 42. Uređaj za ispitivanje zavara radiografijom, Brodogradilište Uljanik, Pula, travanj 2010.....	47
Slika 43. Prikaz kopača broda jaružara [5].....	48
Slika 44. Prikaz kopača broda jaružara prilikom porinuća u krmu broda, Brodogradilište Uljanik, Pula, travanj 2010.	49
Slika 45. Parametri zavarivanja spoja lima i odljevka [5]	50
Slika 46. Smještaj odljevaka u sekciju SU 104 [5]	50
Slika 47 i 48. Skošenje rubova žlijeba, te induktivno predgrijavanje odljevka, Brodogradilište Uljanik, Pula	51
Slika 49. Priprema spoja „glave“ odljevka i lima sekcije [5].....	52
Slika 50. Redoslijed zavarivanja vanjske strane odljevka, zavarivanje izvode 2 zavarivača [5]	52
Slika 51 i 52. Zavarivanje korijena sa unutarnje strane odljevka (slika lijevo), te zatim prikaz redoslijeda polaganja zavara nakon obavljenog cijelog procesa zavarivanja [5]	53
Slika 53. Redoslijed zavarivanja i broj slojeva karakterističnog spoja odljevka i kopača [5]	54
Slika 54. Detalji unutarnjeg zavarivanja odljevka, Brodogradilište Uljanik, Pula, svibanj 2010.	55
Slika 55. Zaštićeni trup broda jaružara, Brodogradilište Uljanik, Pula, dan prije isporuke, svibanj 2010.....	57
Slika 56. Trup broda koji detaljno prikazuje sve dijelove broda na koji se nanose premazi [5].....	60
Slika 57. Limovi i profili na skladištu prije same predobrade, Brodogradilište Uljanik, Pula.....	62
Slika 58. Izgled limova A, B, C i D kategorije prema standardu ISO 8501-1, Brodogradilište Uljanik, Pula	63
Slika 59. Sačmarilica u eksploataciji, Brodogradilište Uljanik, Pula	64
Slika 60. Lim zaštićen “shopprimerom”, Brodogradilište Uljanik, Pula.....	64
Slika 61. 1000 litreni spremnici “shopprimera”, Brodogradilište Uljanik, Pula.....	69
Slika 62. Obrada i čišćenje montažnog spoja “steel work”, Brodogradilište Uljanik, Pula.....	70
Slika 63. Nanošenje boje kistom, Brodogradilište Uljanik, Pula.....	72

Slika 64. Nanošenje vezivne boje Hempasil nexus 27302, Brodogradilište Uljanik, Pula.....	73
Slika 65. Bojenje završnim premazom glavne palube broda jaružara, detalj iz Brodogradilišta Uljanik, Pula, svibanj 2010.....	75
Slika 66. Uništen premaz na kopaču, detalj iz Brodogradilišta Uljanik, Pula	75
Slika 67. Kopač zaštićen silikonskim premazom, Brodogradilište Uljanik, Pula, svibanj 2010	76
Slika 68. Shematski prikaz redoslijeda nanošenja premaza i mehanizam povezivanja [10].....	77
Slika 69. Obojan brod jaružar, Brodogradilište Uljanik, Pula	78
Slika 70. Slojevi boje, te debljina suhog filma boje koji se nanosi na kopač broda ..	79
Slika 71. Mikrotest Prositecor 6000, Brodogradilište Uljanik, Pula	80
Slika 72. Digitalni vlagomjer i termometar, Brodogradilište Uljanik, Pula	81
Slika 73. Svi premazi kojima se štiti sekcija kopača [10]	85
Slika 74. Segment kopača premazan slikonskim premazom, Brodogradilište Uljanik, Pula.....	86
Slika 75. Razlika između Hempadura 15570 i Hempasila 77500 (lijevi dio slike), Brodogradilište Uljanik, Pula	86
Slika 76. Brod jaružar na dan primopredaje, Brodogradilište Uljanik, Pula, svibanj 2010.....	100
Slika 77. Novo sagrađena hala za izradu kopača broda, Brodogradilište Uljanik, Pula	100
Slika 78. Priprema predgrijavanja na okretnoj točki kopača, Brodogradilište Uljanik, Pula.....	101
Slika 79. Predgrijavanje prije privarivanja HARDOX ploča, Brodogradilište Uljanik, Pula.....	101
Slika 80. Glava kopača prije montiranja bušećeg svrdla, Brodogradilište Uljanik, Pula	102
Slika 81. Brod jaružar na opremnoj obali , Brodogradilište Uljanik, Pula	102
Slika 82. Glava kopača u poziciji u kojoj se nalazi kada nije u funkciji, Brodogradilište Uljanik, Pula.....	103
Slika 83. Kopač u trenutku popravka silikonskog premaza, Brodogradilište Uljanik, Pula.....	103
Slika 84. Kopač u poziciji u kojoj se nalazi kada nije u funkciji, Brodogradilište Uljanik, Pula.....	104
Slika 85. Bušeće svrdlo kopača, Brodogradilište Uljanik, Pula	104

POPIS TABLICA:

Tablica 1. Zavarljivost na osnovu povećanja C- ekvivalenta [2]	10
Tablica 2. Temperature predgrijavanja limova [5]	11
Tablica 3. Parametri zavarivanja MIG/MAG postupkom [5]	22
Tablica 4. Standardizirani kolotovi žice za MIG/MAG postupak [5]	26
Tablica 5. Standardizirani promjeri žica (u milimetrima) za MIG/MAG zavarivanje [5]	26
Tablica 6. Kemijski sastav žica u postocima [5]	27
Tablica 7. Kemijski sastav elektroda u postocima [5]	34
Tablica 8. Parametri zavarivanja elektrodom Conarc 49C [5].....	34
Tablica 9. Minimalne dimenzije greške na različitim metodama kontrole zavara [5]	47
Tablica 10. Postotak karakterističnih priprema spoja [5].....	55
Tablica 11. Postotak uporabe karakterističnih postupaka zavarivanja [5]	56
Tablica 12. Osnovne karakteristike premaza za svaki dio broda.....	60
Tablica 13. Usporedni prikaz svojstava „shopprimera“ [5]	68
Tablica 14. Osnovne karakteristike boje HEMPADUR 45751 [10]	83
Tablica 15. Osnovne karakteristike boje HEMPADUR 15570 [10]	83
Tablica 16. Osnovne karakteristike boje HEMPASIL NEXUS 27302 [10]	84
Tablica 17. Osnovne karakteristike boje HEMPASIL 77500 [10].....	85

1. UVOD

Brodске konstrukcije su prema strukturi i geometrijskim značajkama vrlo složeni sustavi za izradu. Među najvažnije procese u izradi brodske konstrukcije danas zasigurno spadaju tehnologija zavarivanja i tehnologija zaštite od korozije.

Zavarivanje, kao proces spajanja metala ima znatan utjecaj na uspješnost proizvodnje konstrukcijskih elemenata, posebno broskog trupa, no bez konkretne analize teško je reći koliko su efikasni pojedini zavarivački postupci koji se uobičajeno koriste za zavarivanje.

Zaštita od korozije predstavlja važan segment u gradnji broda, budući da ga ona štiti od svih uvjeta u kojima će se brod naći tijekom svoje plovidbe. Razvoj tehnologije zaštite od korozije kroz zadnjih 20 godina uvelike je napredovao, te omogućio brodovlasnicima duži i sigurniji vijek broda, a samim time udovoljio ISO, IMO, SOLAS i MARPOL pravilima.

U daljnjem tekstu, analizirat će se određeni detalji zavarivanja i zaštita od korozije u predmontaži i montaži trupa za specifične sekcije broda jaružala GRADNJE 481. Jaružala su tehnički zahtjevni brodovi, te treba naglasiti, da je ovaj tip broda specifičan sam po sebi, i predstavlja sam vrh tehnološkog dostignuća, a sekcije koje će biti analizirane su sekcije kopača, odnosno "ruke" koja brodu služi za drobljenje morskog dna. Za taj dio broskog trupa upotrebljava se posebna priprema za zavarivanje, te specifičan sloj boje koja onemogućuje obraštanje konstrukcije morskim organizmima.

Za te će se sekcije prikazati postupci zavarivanja, oblici žljebova, tipovi zavareni spojeva, postupci kontrole zavara, postupci zaštite od korozije sekcija, te trajanje tehnološkog postupka antikorozivne zaštite.

Kao sam zaključak čitave cijeline, dati će se prijedlog poboljšanja procesa zavarivanja i zaštite od korozije u fazama predmontaže i montaže trupa.

2. POSTUPCI ZAVARIVANJA KROZ POVIJEST, TE ZAVARIVANJE NA BRODU JARUŽARU

Želja da se metali, dobiveni raznim metalurškim procesima, spoje u nerazdvojnu cijelinu stara je gotovo koliko i proizvodnja metala, pa se može reći da se zavarivanje kao način spajanja metala odavno primjenjuje. Prvi eksperimenti s električnim lukom počeli su davne 1890. godine, ali takav zavar nije zadovoljavao svojom kvalitetom.

Problem je bio u oksidaciji zone zavara, jer se proces topljenja osnovnog i dodatnog materijala odvijao u prisutnosti okolne atmosfere, dakle u neposrednom dodiru s kisikom. Problem je riješio Oscar Kjellberg 1907. godine kada se elektroda počela umakati u smjesu raznih minerala pripremljenih u pogodnom obliku. Izgaranjem te obloge u električnom luku razvijali su se inertni plinovi, koji su sa mjesta topljenja istiskivali zrak i tako štitili rastopljeni metal od njegova štetnog utjecaja.

Kako su potrebe za zavarivanjem i kvalitetom zavara kroz godine bile sve veće, tehnologija zavarivanja je napredovala. Počelo se s eksperimentiranjem raznih plinova koji bi štitili zavar, ubrzanjem proizvodnje putem raznih poluautomatiziranih i automatiziranih postupaka, te traženjem što kvalitetnijeg zavara. Pred završetak drugog svjetskog rata počinje razvoj i primjena zavarivanja u zaštitnim plinovima TIG (arc-atom s vodikom, te argonarc s argonom ili helijem kao zaštitnim plinom). MIG zavarivanje se počinje primjenjivati 1948. kao Sigma postupak (shielded Inert Gas Metal Arc), a 1953. U bivšem SSSR-u se prvi puta primjenjuje MAG postupak s CO₂ zaštitnim aktivnim plinom. Iza 1950. se razvijaju mnogi novi postupci zavarivanja, pa tako 1951. počinju pokušaji zavarivanja pod troskom, 1957. pod snopom elektrona, 1960. ultrazvukom, 1960. laserom, te 1961. plazmom. [2]

U brodogradnji zavarivanje daje svoj početni doprinos prilikom drugog svjetskog rata, kada američka brodogradnja počinje sa izradom Liberty i Victory brodova koji se grade pod nadzorom klasifikacijskog društva „American Bureau of Shipping“. Kako se rat odužio, otvarala su se nova brodogradilišta, a znanje u zavarivanju bilo je sve veće. Problemi koji su se javljali tijekom brze gradnje brodova u kojoj su neka američka brodogradilišta porinjavala i do 20 brodova mjesečno, došla su na vidjelo tijekom korištenja brodova na njihovim rutama, gdje je zbog lomova strukture došlo do potonuća 8 Liberty brodova. Svi su mislili da je problem lomova

bilo zavarivanje, ali se kroz vrijeme otkrilo da je problem bio u čeliku koji je imao previše sumpora i fosfora.

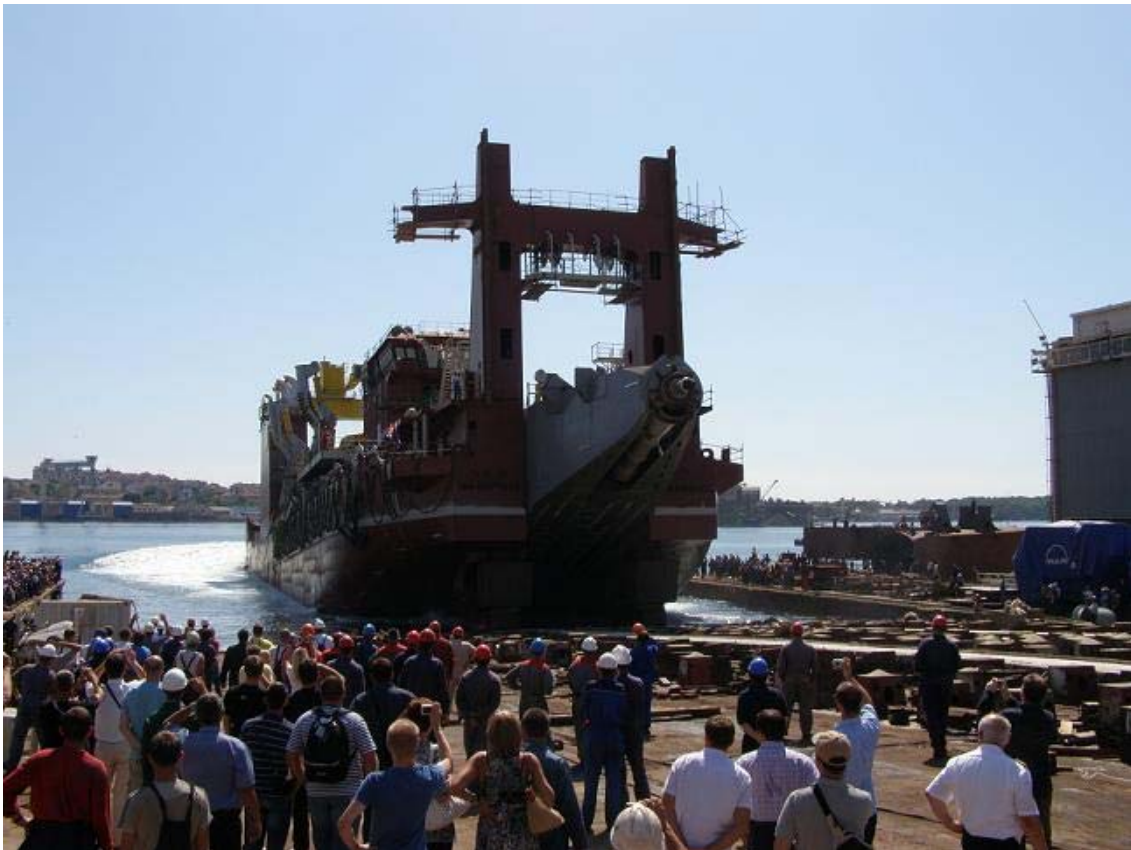
Uz gore navedena napredovanja kroz povijest, danas razlikujemo neke osnovne postupke zavarivanja: TIG (Tungsten Inert Gas), MAG (Metal Inert Gas), MIG (Metal Active Gas), te REL (Ručno Elektrolučno zavarivanje).

Danas se golemi napredak koji je zavarivanje kao proces spajanja metala kroz godine postigao, može vidjeti na specifičnim i zahtjevnim brodovima kao što je jaružalo. Brod zbog svojih specifičnosti (od čelika povišene čvrstoće, do čelika velikih debljina) ima posebne zahtjeve kad je u pitanju zavarivanje. Tako je zavarivački odjel brodogradilišta morao prijeći na dugu vrstu bazičnih elektroda, tzv. **Kryo 1** elektrode, te posebne praškom punjene žice promjera 1.2 mm za MIG/MAG zavarivanje tzv. **Outershield 81Ni1-H**. Obje navedene imaju u svojem sastavu veći udio nikla koji služi za bolje vezivanje materijala prilikom zavarivanja, a budući da te elektrode i žice zahtijevaju posebnu smjesu plina, brodogradilište se moralo prilagoditi i novim zahtjevima, te umjesto dosadašnjeg MAG postupka, uvesti instalaciju plina argona duž cijelog brodogradilišta i početi koristiti MIG postupak. Ono što treba dodatno napomenuti je potreba za većim brojem slojeva prilikom zavarivanja velikih debljina limova i proces predgrijavanje, a to za sobom donosi i mogućnost lošeg zavara, pa je odjel za zavarivanje u tu svrhu odlučio uvesti strogu kontrolu zavarivačkih radova (svaka sekcija kopača provjerava se u 2000 točaka, tko je vršio kontrolu i tko je zavarivao), čime se dobiva uvid u kvalitetu konstrukcije i kvalitetu samog radnika koji je zavarivao.

U 21. stoljeću svijet ima potrebu za sve većom količinom čeličnih konstrukcija (od brodogradnje, mostova, zgrada...itd), te uz svakodnevno natjecanje za sve većim i sofisticiranijim konstrukcijama, zavarivanje postaje sve važnije i sve kompleksnije, a to za sobom nosi i stalno unaprijeđenje procesa zavarivanja novim tehnologijama i novim materijalima.

2.1. OPĆENITO O PROJEKTU JARUŽARA

Brodovi jaružari ugovoreni su sa lukseburškom kompanijom Dredging and Maritime Management S.A. Luxemburg koja je inače dio Jan De Nul Grupe, a ugovor se smatra jedinstvenim budući da u svijetu još nikad nisu potpisana 4 broda jaružara u seriji već je to uvijek bilo ograničeno na maksimalno dva broda. Danas u svijetu postoji svega pet takvih brodova, a uljanikova novogradnja iznimna je i naprednija u mnoštvu elemenata od postojećih sličnih brodova-strojeva. Riječ je o tehnički iznimno kompleksnim brodovima koji služe za produbljivanje plovnih putova, odnosno izgrađivanje obala, umjetnih otoka ili produbljivanje obala, a navedeni će brod moći raditi do 36,6 metara dubine mora. Služi za jaružanje (kopanje i istodobno usisavanje) nataloženog pijeska, krutog podmorja, stijena i sličnih taloga morskog dna. Iskopani materijal iskrcava preko lijeve ili desne sohe na barže ili putem vrtuljka na plutajući cjevovod do kopna i do desetak km udaljenosti. Slika 1. prikazuje brod jaružar prilikom porinjavanja.



Slika 1. Porinjavanje broda jaružara, Brodogradilište Uljanik, Pula, travanj 2010.

Brod ima tri motora tipa MAN Diesel A.G. – 6L48/60 7.200 kW//500 o/min koji pogone 3 glavna izmjenična generatora, svaki snage od 7.200 kW na naponu 6,6kV. Dug je 138,50 metara, širok 26 i visok od 8,80 do 12,20 metara, uz nosivost od 2.200 tona pri gazu od 5,75 metara. Ogromna snaga od 21 MW, koja bi bila dovoljna za opskrbu električnom energijom manjeg grada od 25 tisuća stanovnika, troši se na rad opreme za jaružanje, od koje su najveći potrošači tri ogromne crpke, svaka snage 5 MW. Brod razvija 13 čvorova brzine s dizel-električnom propulzijom, pri čemu se brod pogoni sa dva elektromotora svaki snage 3,5 MW.

Klimatizirane nastambe iznad međupalublja na krmi i iznad glavne palube predviđene su za 46 osoba. Na otvorenoj palubi ugrađena je jedna hidraulična dizalica kapaciteta 2 x 350 kN i jedna hidraulična dizalica za rezervne dijelove kapaciteta 10 kN.

Ugovor za gradnju „Ibn Battute“ potpisan je 16. ožujka 2007. godine, kobilica je položena koncem 2008. godine, a u more je porinut početkom kolovoza 2009. godine, dok je primopredaja izvršena u 5 mjesecu 2010. godine Složenost broda, budući da je ipak riječ o jedinstvenom brodu u svojoj klasi, diktirala je dinamiku gradnje i već se sada prema pokazateljima može reći da će ostala tri broda iz serije biti izgrađena u znatno kraćem roku.

Nakon isporuke svi će brodovi ploviti pod zastavom Luxemburga. Slika 2. prikazuje model broda jaružara.



Slika 2. Model broda jaružara [5]

2.2. NAPRAVE KOJE SE KORISTE U ZAVARIVANJU NA BRODU JARUŽARU

Kako bi uopće pristupili zavarivanju, treba uz bilo koji postupak (bio to REL, TIG, MAG, MIG ili EPP) osim osnovnih dijelova opreme za zavarivanje, imati i pomoćne naprave za pripajanje, stezne naprave, naprave za osiguranje od prokapavanja zavara, metalne podloške, te podloške od praha. Ono što treba uzeti u obzir kad se govori o ovom specifičnom brodu, je da ovaj brod ima limove koji nerijetko prelaze debljine od 30 mm što u prvi plan stavlja predgrijavanje limova, koje je nužno za zavarivanje limova tako velikih debljina. Kad je u pitanju kopač broda, valja napomenuti da je točnost prilikom izrade prebačena u strojarske tolerance, a to zahtjeva i jednu napravu koju zavarivački odjel u brodogradilištu naziva „klavirska žica“.

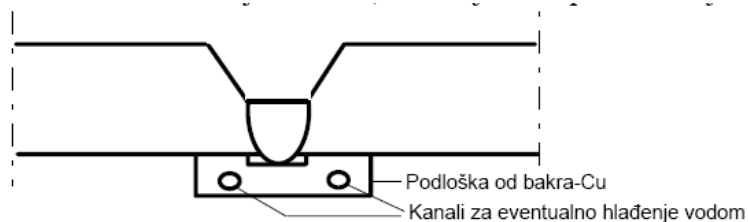
Naprave za pripajanje su naprave s kojima se predmeti dovode u propisan međusobni položaj za samo pripajanje ili pripajanje i kasnije zavarivanje. Rubovi se postavljaju i održavaju u određenim razmacima i ravninama, odnosno, vrši se kvalitetna priprema žlijeba za zavarivanje čime se osigurava i kvaliteta izvođenja samog zavara. Napravom se ujedno u velikoj mjeri sprečavaju deformacije.

Stezne naprave sprječavaju deformacije zavarenih proizvoda. Pritiskivačem se onemogućavaju pomaci, pa su ukupne deformacije nakon vađenja zavarenog proizvoda iz naprave male. Ovakve naprave služe ponekad ujedno za predsavijanje ili postavljanje elemenata u suprotan smijer od očekivanih deformacija. Elastično vraćanje nakon vađenja iz naprave dovodi predmet u željeni položaj. Svrha naprave je ukrućivanje izratka, što može uzrokovati pojavu pukotina pri zavarivanju.

Naprave za osiguranje od prokapavanja. Najčešće se koriste podloge u korijenu zavara, koje omogućuju kvalitetno provarivanje korijena, visoku proizvodnost, te da prilikom jednostranog zavarivanja kvaliteta zavara bude jednaka sa strane korijena zavara i lica zavara. Također su moguća zavarivanja s jačim strujama. Za to se koriste različite podloge kao što su:

1. Cu podloške
2. Keramičke podloške
3. Metalne podloške
4. Podloške od praha

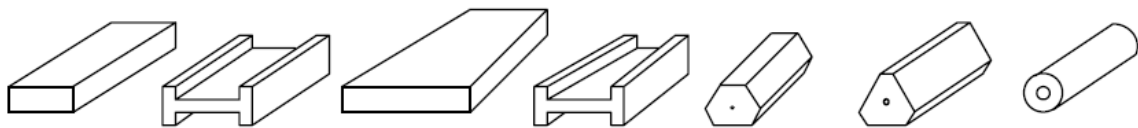
1. Cu podloške se koriste većinom na panel linijama jer zbog svojih dimenzija nisu primjerene zavarivanju na montaži. Mogu se hladiti vodom kao što je prikazano na slici 3.



Slika 3. Bakrena podloška [2]

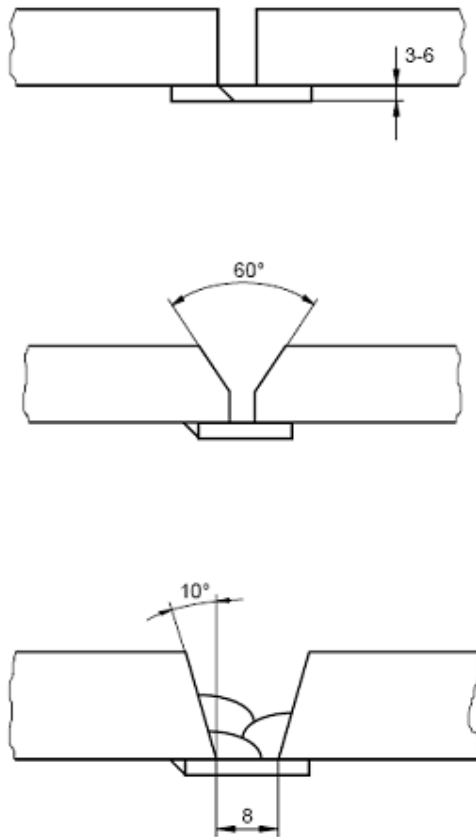
2. Keramičke podloške mogu se primjenjivati na razne načine. Na ovom se brodu najčešće koristi kružna keramika, budući da je najadekvatnija za pripremu spojeva "K" i "X" oblika. Keramička tijela dužine 20 do 100 mm se drže uz izradak pomoću ljepljive trake. Keramičke podloške se mogu primjenjivati za REL, EP i zavarivanje u zaštitnim plinovima. Naličje zava je glatko i žljebljenje nije potrebno.

Slika 4. prikazuje vrste keramičkih podloška



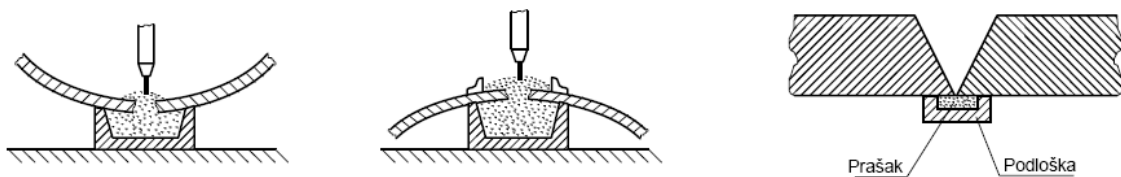
Slika 4. Vrste keramičkih podloška [2]

3. Metalne podloške – letve, trake prikazane su slikom 5. Limene trake se pripajaju na korijenskoj strani zava za omogućavanje sigurnog provarivanja. Materijal traka treba biti što sličniji osnovnom materijalu ili još bolje zavarljiv. Ne smije se koristiti materijal nepoznatog porijekla. Ako ne smeta u eksploataciji zavarenog proizvoda, traka može ostati zavarena ili se odstranjuje pneumatskim dijetlom, rezanjem, brušenjem ili žlijebljenjem.



Slika 5. Oblici metalnih podloška [2]

4. Podloške od praška. Sloj praška štiti i podupire kupku korijenskog zavora. Visina sloja mora biti dovoljna da se sav prašak za zavarivanje ne rastali. Upotrebljavaju se različite vrste podloški od praška prikazane na slici 6.



Slika 6. Podloške od praška [2]

Naprava „klavirska žica“ je žica koju prilikom zavarivanja nategnemo kroz odljevke na kopaču (njima je kopač spojen s brodom i oni služe kao osi rotacije prilikom



podizanja i spuštanja kopača u more). Treba napomenuti da prilikom zavarivanja, tj. uvođenja topline u konstrukciju dolazi do deformacija pa nam tu žica služi da kod zavarivanja znamo gdje je centar odljevka, te na taj način prilagođavamo uvođenje topline u konstrukciju kako bi odljevak ostao centriran. Slika 7 prikazuje rupe kroz koje se provlači „klavirska žica“ (imaginarno prikazana svijetlo plavom bojom)

Slika 7. „klavirska žica“ koja se koristi za centriranje odljevaka Brodogradilište Uljanik, Pula

Oprema i uređaji za predgrijavanje. Budući da je na spomenutom brodu većina osnovnih materijala debljine veće od 30 mm, potrebno je provoditi predgrijavanje. Predgrijavanje je zapravo zagrijavanje (prije zavarivanja) do određene temperature radnog dijela ili zone gdje će se vršiti zavarivanje. U toku zavarivanja, prema potrebi, vrši se dodatno zagrijavanje, odnosno održava zahtjevana temperatura predgrijavanja. U ovom slučaju, predgrijavanje se vrši zato što su materijali koje koristimo velikih debljina i jako ukrućeni, te je potrebno predgrijavanje mjesta zavarivanja radi smanjenja naglog odvođenja topline, postepenijeg hlađenja i stezanja, a s time i djelomičnog smanjenja naprezanja u zavarenom spoju.

Temperatura predgrijavanja ne smije biti previsoka niti preniska, mora biti jednaka za cijelo vrijeme zavarivanja. Budući da proizvođači materijala koji bi trebali dati upute o temperaturi predgrijavanja često ne daju točne upute, brodogradilišta su sklona sama sebi odrediti temperature na osnovu izračunavanja ekvivalenta ugljika ili tzv. C – ekvivalenta. Što je C – ekvivalent veći, veća je čvrstoća, a manja je zavarljivost. Formulom je prikazano izračunavanje C- ekvivalenta, dok je tablicom 1 prikazan utjecaj C- ekvivalenta na zavarljivost.

Formula je:

$$CE = \%C + \left(\frac{\%Mn + \%Si}{6} \right) + \left(\frac{\%Cr + \%Mo + \%V}{5} \right) + \left(\frac{\%Cu + \%Ni}{15} \right)$$

Tablica 1. Zavarljivost na osnovu povećanja C- ekvivalenta [2]

C - EKVIVALENT	ZAVARLJIVOST
ISPOD 0.35	IZVRSNA
0.35 - 0.40	VRLO DOBRA
0.42 - 0.45	DOBRA
0.46 - 0.50	DOVOLJNA
PREKO 0.50	SLABA

Nakon što se element zavari, prelazi se na fazu odžarivanja, tj. toplinske obrade zavarenog spoja koja se vrši nakon zavarivanja, tako da se cijela konstrukcija ili određena zona postepeno zagrijava na određenu temperaturu (550 - 650°C) te tako postepeno hladi. Kako ne bi došlo do brzog hlađenja na temperaturi okoline, potrebno je kontrolirano zagrijavati lim da se postigne ravnomjerno odžarivanje. Na taj se način dolazi do smanjenja zaostalih naprezanja u zavarenom spoju. Odžareni zavareni spoj sa smanjenim zaostalim naprezanima manje je sklon pukotinama i lomovima konstrukcije u eksploataciji. Tablica 2. prikazuje temperature do kojih predgrijati lim određene debljine, te kako pristupiti zavarivanju. Iz tablice je vidljivo da svi limovi debljine veće od 30 mm moraju biti predgrijani, te je očita razlika između zagrijavanja čelika obične i povišene čvrstoće.

Tablica 2. Temperature predgrijavanja limova [5]

Temperatura predgrijavanja za limove (prema EN 1011-2)			
Debljina lima t (mm)	Čelik normalne čvrstoće A,B,D,E	Čelik povišene čvrstoće AH 36 , DH36 ,EH36	Vrijeme izjednačavanja temperature - progrijavanja
	Minimalna temperatura predgrijavanja	Minimalna temperatura predgrijavanja	
t < 30	Temperatura okoline (*)	Temperatura okoline (**)	/
30 ≤ t < 50	50 °C	75 °C	4 min (***)
50 ≤ t < 75	75 °C	100 °C	6 min (***)
75 ≤ t ≤ 100	100 °C	125 °C	8 min (***)
t > 100	120 °C	150 °C	10 min (***)

NAPOMENE:

(*) Kod temperature okoline *manje od -5 °C* nije dopušteno izvoditi pripajanje/zavarivanje dok se područje pripajanja /zavarivanja ne zagrije **na min. 20 °C**.

(**) Kod temperature okoline *manje od 5 °C* nije dopušteno izvoditi pripajanje/zavarivanje dok se područje pripajanja /zavarivanja ne zagrije **na min. 20 °C**.

(***) Temperatura predgrijavanja mjeri se **na suprotnoj** strani lima od one koja se grije. Ukoliko to nije moguće, temperaturu kontrolirati na istoj strani lima uz pridržavanje vremena potrebnog da se lim progrije po cijelom presjeku tj. **2 min za svakih 25 mm** debljine lima.

Nakon padavina ili povećane vlažnosti zraka – potrebno posušiti limove u području pripajanja/zavarivanja.

Za debljinu lima t kod spojeva sa različitim debljinama stjenke – uvijek se računa deblji lim.

Predgrijavanje se vrši pomoću:

1. Elektro otpornih uređaja
2. Elektro induktivnih uređaja

1. Elektro otporni uređaji su stanice koje omogućuju dovod izmjenične struje od 60 ili 80V za napajanje različitih vrsta niskonaponskih ogrijevnih elemenata, a također mogu služiti kao izvor izmjenične struje od 115V za rasvjetu, grijanje itd.

Sastoje se iz jednog trofaznog transformatora, koji se hladi prirodnim zrakom, a smješten je u kućištu s kotačima. Stanice reguliraju sekundarni izlaz za rad s 3 ili 6 kanala. Izlazni kanali reguliraju se s pomoću regulatora energije i regulatora

temperature, ali moguća je i vanjska regulacija iz bilo kojeg prikladnog regulatora ili programatora. Svaki kanal ima svoj vlastiti dvopoložajni prekidač za automatsko ili ručno upravljanje, tako da svaka kombinacija kanala može raditi bilo sa automatskim ili s ručnim načinom.



Slika 8 i 9. Grijači za elektro otporno predgrijavanje i elektro otporni uređaj za predgrijavanje, Brodogradilište Uljanik, Pula

Princip rada sa ovim uređajima je kompliciran, i potrebno je usavršavanje određenog broja radnika za rukovanje tim uređajima. Prije početka slaganja, potrebno je odabrati koji će se grijači koristiti, zatim ih postaviti oko zavora, te nakon toga obložiti izolacijom kako bi spriječili rasipanje topline željenog lima, te kako radnik nakon zagrijavanja ne bi dobio opekline prilikom zavarivanja. Još jedan od razloga za stavljanje izolacije je i kako bi mu se ublažili uvjeti rada u tako zagrijanom prostoru. Zbog kompliciranosti uređaja, te utjecaja temperature na zdravlje ljudi, u brodogradilištu su skloni u svim mogućim slučajevima

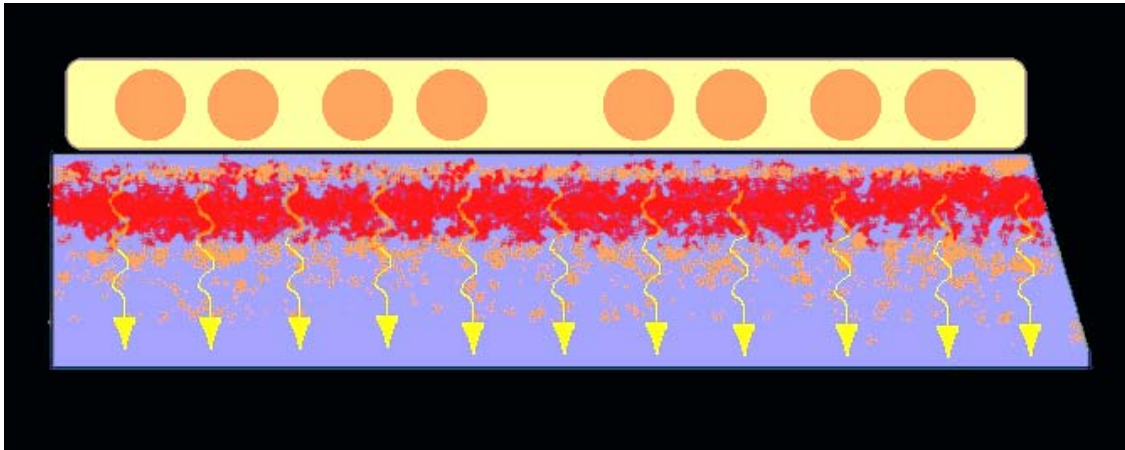


Slika 10. Dio opreme za elektrootporno predgrijavanje, Brodogradilište Uljanik, Pula

koristiti elektro induktivni uređaj umjesto elektro otpornog. Slikom 8, 9 i 10 prikazani su grijači kojima se vrši elektro otporno predgrijavanje, te uređaj za isto. Kao što se vidi iz priloženog, grijači su različitih dimenzija, zaštićeni izolacijom i kontrolirani TC-parovima. TC parovi nam služe kako bi u svakom trenutku imali kontrolu nad predgrijavanjem koje vršimo.

2. Elektro induktivni uređaji prikazani slikom 12 i 13 su sistemi kojima je moguće predgrijavanje većom brzinom, a frekvencija im varira od 8 – 12 KHz, dok je način predgrijavanja puno lakši i bezbolniji za ljude koji nakon toga moraju zavarivati taj dio konstrukcije.

Prije početka predgrijavanja, procjenjuje se koju veličinu kabla možemo iskoristiti od mogućih, koji su duljine 20 i 50 metara, te se zatim isti namotavaju na mjesto predgrijavanja. Ono što treba napomenuti je da se prilikom slaganja treba pripaziti da se kabel slaže uvijek u istom smjeru, te da se ne isprepleće jer to uređaj prepoznaje kao grešku, te nije moguće izvršiti predgrijavanje. Kablovi prikazani slikom 11. sastoje se od dva dijela u kojem s unutarnje strane struji elektroinduktivni napon, dok sa vanjske strane struji tekućina. Slijedeći korak je upucavanje TC- para



Slika 11. Presijek kabla za elektro induktivno predgrijavanje [6]

radi kontrole temperature, nakon čega slijedi postavljanje magneta na površinu koju grijemo. TC-par je kontrolna naprava koja uređaju šalje informaciju o postignutoj temperaturi lima, te time koordinira daljnje zagrijavanje ili odžarivanje. Kada je procedura postavljanja završena, uređaj se starta i provjerava protočnost tekućine koja struji vanjskom oblogom, ako je sve u granicama, u printer se upisuju parametri predgrijavanja, tj. :

1. Brzina zagrijavanja (100°C na sat je maksimum)
2. Zadana temperatura
3. Vrijeme održavanja
4. Brzina hlađenja (oko 30°C / satu)

Prednosti ovog uređaja su:

- Velika površina grijanja
- Velike mase
- Brzine zagrijavanja (od $20\text{-}30^{\circ}\text{C}$ / satu)
- Pristup predgrijanom mjestu (kod elektro otpornog ima mnogo kablova, pa je mogućnost prilaza puno teža)
- Brzina montaže
- Puno je efikasniji za valjkaste oblike

Nedostaci ovog uređaja su:

- Jedna kontrola temperature
- Nemogućnost grijanja malih površina
- Otežano grijanje limova različitih debljina

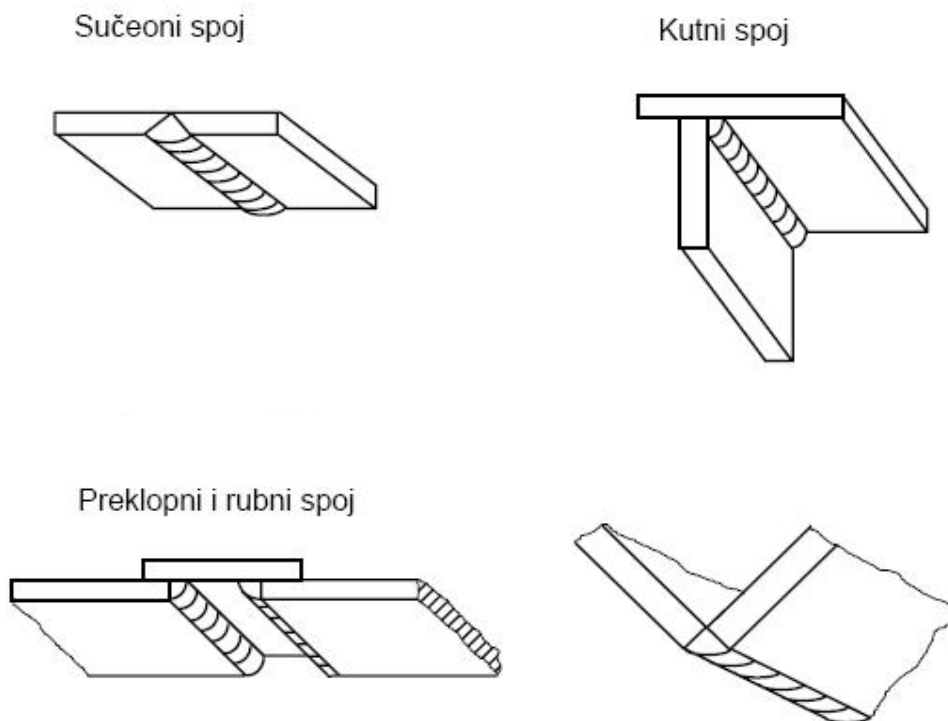


Slika 12 i 13. Uređaj za elektro induktivno predgrijavanje, te temperatura predgrijavanja odljevka [6]

2.3. TIPOVI ZAVARENIH SPOJEVA

U brodogradnji najčešće razlikujemo **tri tipa zavarenih spojeva** koji su prikazani slikom 14. a to su:

1. Sučeoni spoj
2. Kutni spoj
3. Preklopni rubni spoj



Slika 14. Osnovni tipovi spojeva [2]







Zavarivanja kopača broda koji će u daljnjem tekstu biti obrađen, po strukturi i osnovnim tipovima zavarenih spojeva ne razlikuje se od drugih brodova, i dalje najčešći tipovi spojeva su kutni spojevi kojim se zavaruju HP – profli, trake, koljena i ostali mali elementi dok se sučeoni spojevi koriste na panel linijama kada zavarujemo panele. Ono što je kod ovog broda specifično je što su debljine limova veće, i što se spajaju često limovi različitih debljina. Kod zavarivanja takvih spojeva

najvažnije je dobro napraviti korijen, i nakon toga polako i precizno popunjavati zavar.

Ono što se kod ovog broda da uočiti je da se zbog navedenih debljina limova češće koriste "K" i "X" spojevi kojima lakše stvaramo korijen zavara koji je od krucijalne važnosti kod ovakvih debljina.


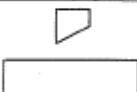
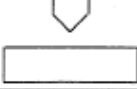
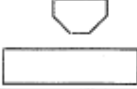
Svaki od tih osnovnih tipova spojeva ima svoje podtipove:

1. sučeljeni spojevi su spojevi kod kojih se elementi spajaju sučelice. Priakzani su slikom 15. gdje razlikujemo „I“ spoj, „V“ spoj, 1/2V spoj, „Y“ spoj, „K“ spoj, te „X“ spoj.

Spoj	Naziv	Spoj	Naziv
	Sučeljeni "I" - spoj		Sučeljeni "Y" - spoj
	Sučeljeni "V" - spoj		Sučeljeni "K" - spoj
	Sučeljeni "1/2V" - spoj		Sučeljeni "X" - spoj

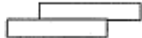
Slika 15. Vrste i oblici sučeljenih spojeva [2]

2. kutni spojevi su spojevi kod kojih se elementi spojeva spajaju pod određenim kutom – najčešće pod kutom od 90°. Slika 16. Prikazuje različite kutne spojeve kod kojih u brodogradnji u najvećem postotku spadaju kutni „T“ spojevi bez pripreme.

Spoj	Naziv	Spoj	Naziv
	Kutni "T" – spoj Bez pripreme		Kutni "T" – spoj Sa pripremom
	Kutni "T" – spoj Sa pripremom		Kutni "T" – spoj Sa pripremom

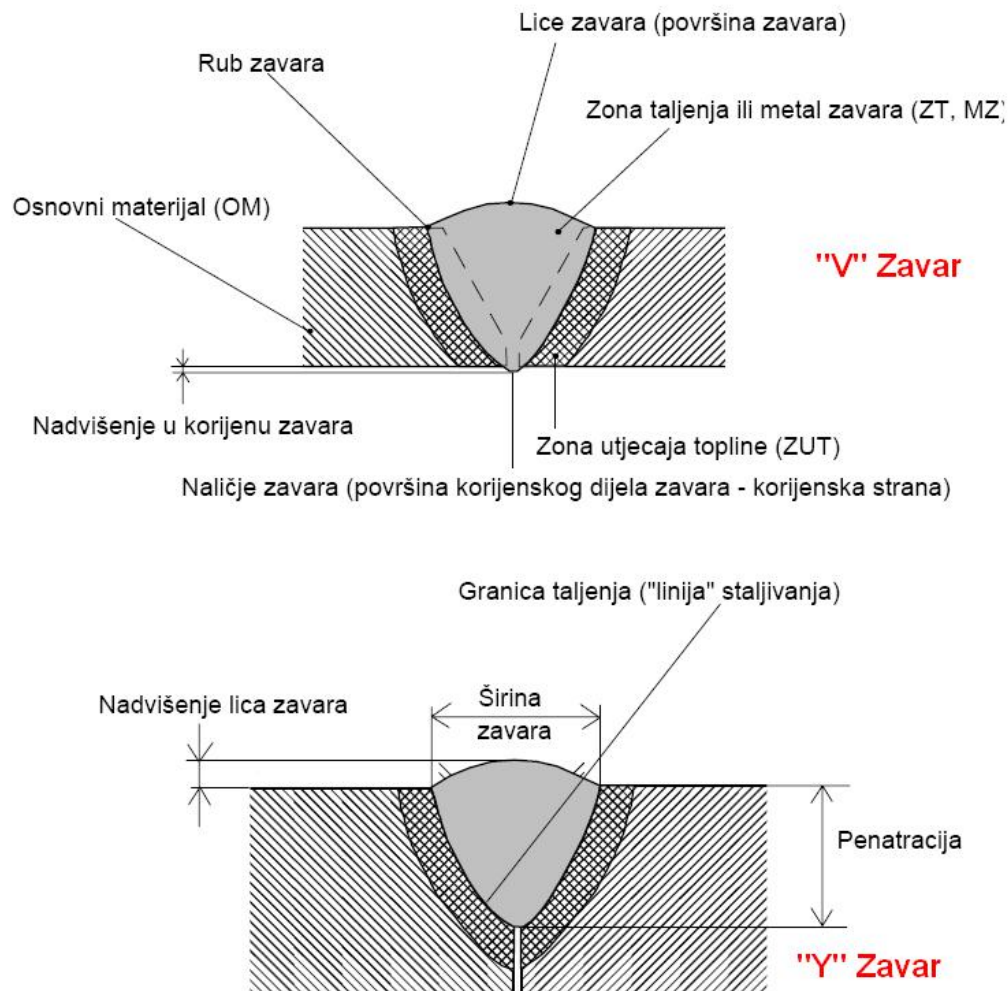
Slika 16. Vrste i oblici kutnih spojeva [2]

3. preklopni spojevi su spojevi kod kojih se elementi spoja spajaju u preklop i prikazani su slikom 17.

Spoj	Naziv		Naziv
	Preklopni spoj		

Slika 17. preklopni spoj [2]

Zavareni spoj predstavlja cjelinu koja nastaje nakon zavarivanja i obuhvaća dijelove radnih komada koji se zavaruju. Svojstva zavarenog spoja u pravilu su ista ili bolja od svojstva osnovnog materijala za zavarivanje. Slika 18. prikazuje neke osnovne elemente zavarenog spoja u koji spadaju: lice zavara, zona taljenja ili metal zavara, zona utjecaja topline, naličje zavara, nadvišenje u korijenu zavara, rub zavara, granica taljenja („linija“ staljivanja), penetracija, širina zavara, te nadvišenje lica zavara.



Slika 18. Osnovni elementi zavarenog „V“ i „Y“ spoja [2]

2.3.1. OBLICI ŽLJEBOVA I OZNAČAVANJE SPOJEVA NA NACRTIMA NA BRODU JARUŽARU

Priprema spojeva za zavarivanje (priprema žlijeba) podrazumjeva pripremu rubova elemenata koji će se spojiti zavarivanjem. Oblik žlijeba koji će se primjeniti ovisi o:

1. debljini osnovnog materijala
2. vrsti osnovnog materijala
3. postupku zavarivanja koji će se primjeniti
4. položaju zavarivanja
5. vrsti zavarenog spoja

Prilikom izvođenja žlijeba, postoje zahtjevi za kvalitetu spoja koje treba zadovoljiti:

1. izvesti ga onako kako je predviđeno standardom
2. bez udubljenja i izbočina
3. bez oksida i masnoća
4. bez vlage

Označavanje zavarenih spojeva propisano je Standardom ili Normom, bilo da se radi o međunarodnom Standardu ili međunarodnoj Normi. Za označavanje zavarenih spojeva u brodogradilištu se koristi standard SB 70569, ali posebno za ovaj tip broda napravio se potpuno obnovljen standard **SB 71271** koji uključuje dodatne postupke zavarivanja. U standardu su definirane oznake, dimenzije limova na osnovu kojih se koristi određeni postupak i žlijeb, te shematsko prikazivanje u brodogradnji. Oznaka zavarenog spoja u pravilu sadrži:

1. osnovnu oznaku
2. dopunsku oznaku
3. kombinacija osnovne i dopunske oznake
4. glavne mjere i način upisivanja na crtežima
5. mjesto označavanja na nacrtima
6. dimenzije zavarenog spoja
7. oznaku postupaka zavarivanja

U tablici (U PRILOGU) biti će prikazan standard SB 71271 (dostupan iz uljanikove arhive) koji se koristi u dokumentaciji GRADNJE 481 u kojem su definirani tipovi žljebova sa pripadnim načinom izvedbe, te oznakom na nacrtima. Tipovi žljebova (AI-1, AI-2, AY-1, AY-2, AX, AF-1, PAY, PAX, PA-1, PA-2, EGi) zavaruju se automatom ili kombinacijom automata i poluautomata, ali se razlikuju tipom žljeba i primjenjuju se za različite debljine. (PY-1, PY-2, PT-1, PT-2, PT3, PT-4, PT-5, PF-2, PVK-1, PVK-2, P XK-1, P XK-2, PK-1 I PK-2) zavaruju se poluautomatom, a primjena im je također određena debljinom lima. Kutni tip zavara „a“ može se zavarivati ručno, poluautomatski ili automatski i nije ograničen debljinom lima. Ručno se zavaruju tipovi (RV-1, RV-2, RX-1, RX-2).

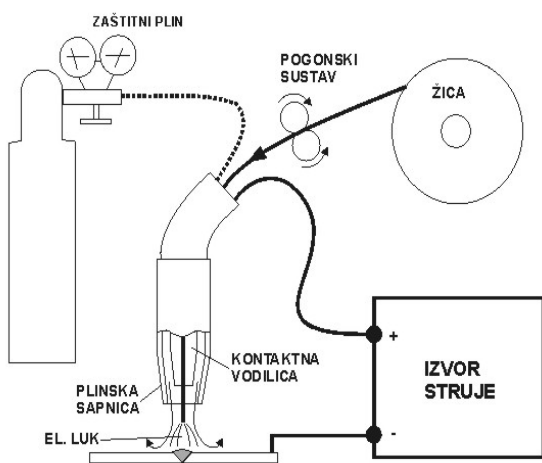
Određene tipovi žljebova definirani su dodatnim oznakama:

- Si – znači da je stanjenje ruba lima potrebno izvesti na strani gdje nema ukrepnih elemenata odnosno na strani suprotnoj strani trasiranja
- Su – znači da je stanjenje ruba lima potrebno izvesti na strani gdje ima ukrepnih elemenata odnosno na strani trasiranja
- i – znači da se lice žljeba mora izvesti na strani gdje nema ukrepnih elemenata odnosno na strani suprotnoj strani trasiranja
- U - znači da se lice žljeba mora izvesti na strani gdje ima ukrepnih elemenata odnosno na strani trasiranja

2.4. POSTUPCI ZAVARIVANJA U BRODOGRADNJI

2.4.1. ELEKTROLUČNO ZAVARIVANJE TALJIVOM ŽICOM U ZAŠTITI INERTNOG PLINA (MIG/MAG)

Elektrolučno zavarivanje taljivom elektrodom u zaštitnoj atmosferi plina je postupak zavarivanja taljenjem (prikzan slikom 19 i 20), gdje se električki luk uspostavlja i održava između taljive žice i radnog komada koji se zavaruje.



Slika 19 i 20. Princip rada MIG/MAG postupka zavrivanja, zavarivači koji izvode MIG zavarivanje u pogonu predmontaže Brodogradilišta Uljanik, Pula [6]

Zbog utjecaja topline električkog luka tali se žica (koja se dovodi konstantnom brzinom) i osnovni materijal na mjestu zavarivanja, čime se ostvaruje zavareni spoj. Proces se odvija u zaštitnoj atmosferi koju omogućuje plin ugljični dioksid (CO_2), argon (Ar) ili mješavine plinova. Ovim postupkom se mogu zavarivati svi komercijalno značajni materijali, kao npr. konstrukcijski čelici, nehrđajući čelici, vatrootporni čelici, aluminij i njegove legure, bakar i njegove legure, raznorodni metali itd.

Prilikom zavarivanja, može se koristiti puna ili praškom punjena žica. U brodogradilištu se ustanovilo da je praškom punjena žica bolji odabir budući da je količina nataljenog metala u jedinici vremena veća, smanjuje se mogućnost grešaka, manje je „prskanja“, te prilikom mjenjanja položaja nije potrebno mjenjati parametre zavarivanja. Praškom punjenoj žici je nedostatak što ima veću koncentraciju količine topline, te je količina plinova razvijenih iz praška veća.

2.4.1.1. OSNOVNI DIJELOVI UREĐAJA ZA MIG/MAG ZAVARIVANJE

Uređaji za MIG/MAG zavarivanje u principu se sastoje od izvora struje, sustava za dodavanje žice, sustava za upravljanje protokom zaštitnog plina, upravljačkog sustava, gorionika (pištolja za zavarivanje), sustava za hlađenje gorionika tekućinom. Po svojoj složenosti mogu biti vrlo jednostavni pa sve do programabilnih uređaja s ugrađenim računalom i velikom bazom podataka parametara zavarivanja. Odabir uređaja zavisi o primjeni, zahtjevima korisnika te naročito o financijskim mogućnostima .

Prema konstrukciji prikazanoj na slici 21. uređaji se dijele na:

- kompaktne uređaje, kod kojih su svi dijelovi smješteni u jednom kućištu
- modularne uređaje, kod kojih su izvor struje i uređaj za dodavanje žice s pripadajućim upravljanjima u odvojenim kućištima



Slika 21. Kompaktni i modularni uređaji [6]

2.4.1.2. VAŽNIJI PARAMETRI ZA ZAVARIVANJE MIG/MAG POSTUPKOM

Glavni parametri kod MIG/MAG zavarivanja su:

- napon zavarivanja (U), koji se tijekom zavarivanja orijentacijski kreće od 16 do 28V;
- jakost struje zavarivanja (I), koja se pri zavarivanju kreće ovisno o promjeru i brzini žice za zavarivanje (orijentacijske vrijednosti 80 do čak 250A)
- brzina zavarivanja (v), koja se kreće ovisno o primjenjenoj tehnici zavarivanja (povlačenje ili njihanje), promjeru žice za zavarivanje i parametrima zavarivanja orijentacijski od 2 do 4 mm/s

Napon praznog hoda je najčešće 60V. Stupanj iskorištenja energije za taljenje 0.75 – 0.85. Literatura navodi da postoji moderna varijanta MIG/MAG postupka, tzv. TIME postupak gdje su vrijednosti napona, struje i brzine zavarivanja (ali i promjera žice za zavarivanje) značajno veće u odnosu na klasični MIG/MAG. Tako su npr. za žicu promjera 2,5 mm registrirane srednje vrijednosti parametara zavarivanja: U= 40V, I= 420A. Ako MIG/MAG zavarivanje primijenimo na kopaču GRADNJE 481, te uz karakteristične žice (outershield 81Ni1-H, te outershield 71M-H) imamo okvirno parametre prikazane tablicom 3.:

Tablica 3. Parametri zavarivanja MIG/MAG postupkom [5]

ŽICA	NAPON zavarivanja	STRUJA zavarivanja	V _{žice}	V _{zavarivanja}
PPŽ Ø 1.2 mm Outershield 81Ni1-H	23-26 V	170-240 A	7-10 m/min	19-25 cm/min
PPŽ Ø 1.2 mm Outershield 71M-H	26-28 V	170-240 A	7-9 m/min	19-25 cm/min

2.4.1.3. SUSTAVI I UREĐAJI ZA DODAVANJE ŽICE

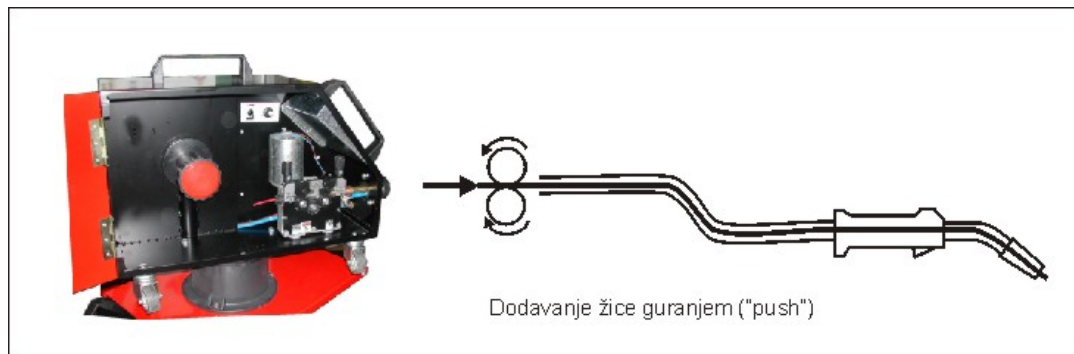
Za dodavanje žice se najčešće koriste dva načina:

- žica se kontroliranom brzinom gura pomoću pogonskih kotačića kroz vodilicu žice u gorioniku do samog mjesta zavarivanja. Ovaj sustav je poznat pod imenom «push», a komercijalno je kod nas poznat još i kao A10. Kontrolirana brzina osigurava se elektronički reguliranim istosmjernim motorom, siguran pogon osigurava sa 2 ili 4 pogonska kotačića (valjka), koji žicu vode i guraju

kroz kalibrirane utore (oblika V, U ili nazubljeni) čije dimenzije i oblik ovise o materijalu i promjeru žice. Pogonski sustav se kod kompaktnih uređaja ugrađuje u zajedničko kućište, a kod modularnih uređaja u posebno kućište uređaja za dodavanje žice.

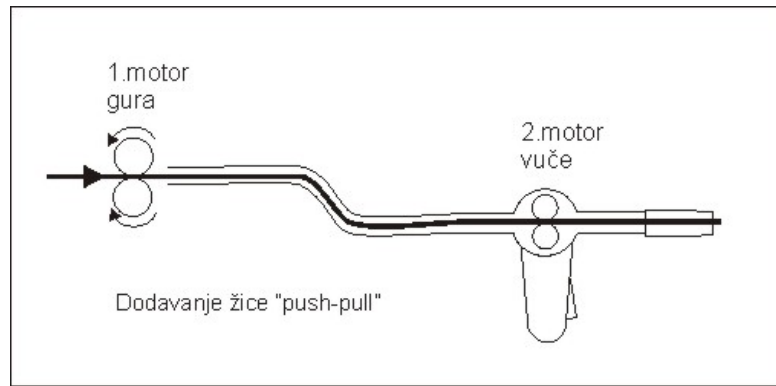
Ovaj način omogućava efikasan rad s žicama promjera 0,6 – 2,4mm za čelike, 1,2-2,4mm za aluminij i njegove legure, te 1,0-2,4mm za praškom punjene žice. Za čelične žice je vodilica u gorioniku čelična (spiralna), za nehrđajući čelik i aluminij su vodilice najčešće teflonske.

Dodavanje žice guranjem koja je prikazana slikom 22. omogućava sigurno dodavanje na udaljenostima 3-4m od izvora i danas se najčešće koristi u praksi.



Slika 22. Dodavanje žice guranjem [6]

- Slikom 23. prikazana je žica koja se kontroliranom brzinom gura («push») pomoću pogonskih kotačića kroz vodilicu žice do pogonskih kotačića u gorioniku, koji ih vuče («pull») do mjesta zavora. U ovom slučaju drugi pogonski motor se nalazi u ručki gorionika, a po svojoj izvedbi može biti električki ili zračni. Sustav je poznat pod imenom «Push-pull», a komercijalno kod nas kao A9. Prednost ovog sustava je stalna zategnutost žice u vodilici, što omogućava sigurno dodavanje i kod žica manjih promjera (0,8mm) i na udaljenostima do 15m od izvora. Mana postupka je njegova cijena i težina sustava gorionik/kabel, naročito kod većih struja i udaljenosti, stoga se on danas koristi uglavnom kod zavarivanja aluminija i njegovih legura na konstrukcijama gdje druga rješenja nisu moguća.



Slika 23. Dodavanje žice „push-pull“ [6]

Obzirom da je zavarivanje na većoj udaljenosti i od izvora jedan od standardnih tehnoloških problema u zavarivanju koji su vezani za sustav dodavanja žice, navode se samo neka od najčešće korištenih rješenja koja su prikazana slikom 24.:

- Odvajanjem uređaja za dodavanje žice od izvora, čime se bez problema postižu udaljenosti i do 30m. Problem predstavlja težak paket kablova koji je nezgodan za pomicanje i osjetljiv na mehanička oštećenja. Ovaj način je standardno u primjeni u brodogradnji i strojogradnji.
- Ugradnja tzv. «međustanice» između izvora i gorionika. Međustanica je ustvari još jedan dodavač koji povlači žicu iz dodavača na izvoru i gura je kroz gorionik. U ovom slučaju brzine iz dodavača izvora i međustanice moraju biti sinhronizirane, sustav omogućava udaljenosti i do 50m. Problem i ovdje predstavlja težak paket kablova koji je nezgodan za pomicanje i osjetljiv na mehanička oštećenja, te uređaj međustanice koji je i skup i zahtijeva poseban matični uređaj za dodavanje žice. Ovaj način je u primjeni uglavnom u brodogradnji.
- Korištenjem posebne izvedbe gorionika tzv. «spool gun», kod kojeg se pogon nalazi u ručki gorionika kao kod push-pull sustava, ali je i žica na manjem kolutu također smještena na ručki gorionika. Kolut sa žicom je promjera 100mm i može sadržavati najviše 1kg žice. Iz ovog je vidljivo da se ovaj način koristi samo za male promjere žice i to pretežno za aluminij (0,6-1,0mm). Ovim načinom postižu se udaljenosti od izvora do 15m bez većih problema, a i paket kablova nije težak.



Slika 24. Povećanje udaljenosti zavarivanja odvajanjem dodavača [6]

2.4.1.4. PIŠTOLJI ZA MIG/MAG ZAVARIVANJE

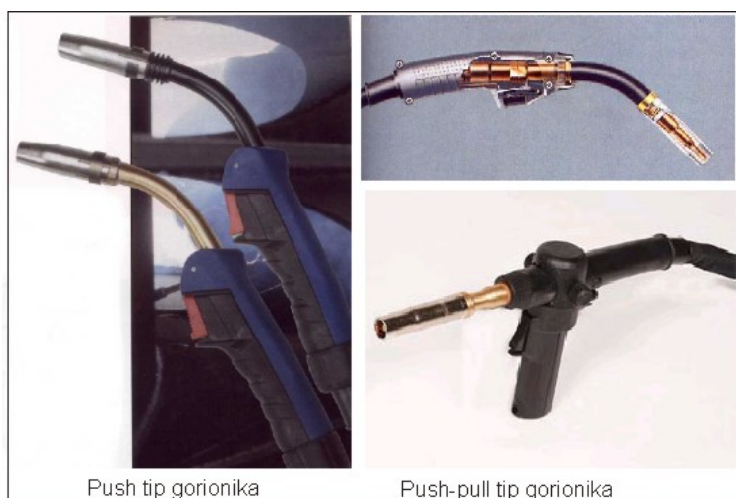
Uobičajeni nazivi dolaze iz njemačkog i engleskog govornog područja:

Gorionik za zavarivanje: Schweissbrenner, Welding torch

Pištolj za zavarivanje: Schweisspistole, Welding gun

Gorionik je zavarivačev osnovni alat kod MIG/MAG zavarivanja, vrh gorionika se praktično nalazi skoro u električnom luku, što znači da je on izložen vrlo velikim toplinskim naprezanjima. Sastoji se od ručke gorionika, paketa kablova i centralnog priključka na uređaj. Kroz gorionik prolazi žica za zavarivanje, struja, zaštitni plin, upravljački signali, a ponekad i rashladna tekućina, ukoliko je takva izvedba gorionika.

Gorionik kao element uređaja prikazan slikom 25. spada u opremni materijal, a kod njega samoga postoje potrošni dijelovi (kontaktna vodilica, plinski razdjelnik, plinska sapnica, vodilica žice) koji se mijenjaju po potrebi, ovisno o režimu rada i zavarivaču.



Slika 25. Tipovi gorionika [6]

2.4.1.5. DODATNI MATERIJAL ZA ZAVARIVANJE (ŽICE)

Dodatni materijali se u procesu zavarivanja rastaljuju , te zajedno s talinom osnovnog materijala čine zavareni spoj. Svojim kemijskim sastavom utječu na zavarivačke i metalurške procese, te osiguravaju odgovarajuću kvalitetu zavarenog spoja (ili navara).

Kod MAG zavarivanja, dodatni materijali su u obliku žica namotanih na kolutove standardiziranih oblika i dimenzija prikazano tablicom 4.:

Tablica 4. Standardizirani kolutovi žice za MIG/MAG postupak [5]

Oznaka koluta	Vanjski promjer (mm)	Širina koluta (mm)	Promjer rupe (mm)	Težina koluta žice (kg)
D100	100	45	16,5	1,0
D200	200	55	50,5	5
D300	300	103	51,5	15

Žice za MIG/MAG zavarivanje se izrađuju kao pune i praškom punjene, standardiziranih promjera (mm) kao što je definirano tablicom 5.:

Tablica 5. Standardizirani promjeri žica (u milimetrima) za MIG/MAG zavarivanje [5]

Pune žice	0,6	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4		
Punjene žice		0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	2,8	3,2

Žica mora biti posebnog kemijskog sastava. Tipično joj se dodaju 0,7-1,0% silicija (Si) i 1,3-1,6% mangana (Mn), koji sudjeluju kao dezoksidanti u kemijskoj reakciji s CO₂ i argonom koja se događa u električkom luku. Žice su kao i većina ostalih stvari u zavarivanju standardizirane međunarodnim i nacionalnim standardima, prema tim standardima su žice obično i prikazane u katalozima proizvođača dodatnih materijala. Način standardnog pakiranja žica za MIG/MAG zavarivanje prikazan je slikom 26, dok je kemijski sastav žica koje se koriste za brod jaružar prikazane tablicom 6.



Slika 26. Standardni oblici pakiranja žice za MAG postupak [6]

Tablica 6. Kemijski sastav žica u postocima [5]

ŽICA	C	Mn	Si	P	S	Ni
PPŽ Ø 1.2 mm Outershield 81Ni1-H ¹	0,05	1,4	0,2	0,013	0,01	0,95
PPŽ Ø 1.2 mm Outershield 71M-H ²	0,05	1,3	0,4	0,015	0,01	-

2.4.1.6. PRIMJENA MIG/MAG POSTUPKA ZAVARIVANJA

MIG/MAG postupak ima široke mogućnosti primjene: kod proizvodnih zavarivanja, navarivanja i reparaturnog zavarivanja većine metalnih materijala. Ima prednost pred REL zavarivanjem sa stajališta ekonomičnosti (više kilograma/depozita na sat budući da nema zastoja za izmjenu elektroda kao kod REL postupka, te manje čišćenje zavara). Primjenjuje se za zavarivanje limova i cijevi debljine od 1 mm obično do debljine 20 mm (u nekim slučajevima i daleko iznad tih debljina, kada je ekonomski i tehnološki opravdana primjena MIG/MAG postupka). Kod većih debljina osnovnog materijala i veće duljine zavarenih spojeva ekonomičnije je koristiti EP postupak (samostalno ili u kombinaciji sa MIG/MAG ili REL postupkom, npr. za provarivanje korijena). MIG/MAG postupak je izvorno poluautomatski postupak, ali se vrlo često koristi kao automatski i robotizirani postupak zavarivanja.

^{1,2} Outershield je žica punjena rutilnim praškom, oznake 81N1-H ili 71M-H, a naziv proizvođača je Lincoln Smithweld B.V.

Prednosti MIG/MAG zavarivanja:

- Razvijen dovoljno širok spektar dodatnih materijala za zavarivanje
- Manja cijena opreme za zavarivanje (uređaja za zavarivanje) u odnosu na EP postupak zavarivanja (ali ipak nešto veća u odnosu na REL postupak)
- Pogodan za pojedinačnu i masovnu proizvodnju, te reparaturna zavarivanja
- Mogućnost zavarivanja u svim položajima zavarivanja
- Manji gubici vremena zavarivača (nema izmjene elektrode kao kod REL zavarivanja, manje čišćenje zavara)
- Pogodan za automatizaciju i robotizaciju
- Kvalitetan zavar i dobra mehanička svojstva zavara

Nedostaci su:

- Kvaliteta zavara još uvijek ovisi o vještini zavarivača – čovjeka kod poluautomatskog zavarivanja (ali ipak ne toliko kao kod REL zavarivanja)
- Dolazi do jakog bljeskanja pri zavarivanju, pri zavarivanju se oslobađaju plinovi pa je potrebna dobra ventilacija prostora
- Dugotrajni rad može ostaviti štetne posljedice na zdravlje zavarivača (reuma, oštećenja dišnog sustava....)

Prednosti praškom punjene žice u odnosu na punu žicu:

- Velika količina nataljenog metala u jedinici vremena
- Mogućnost zavarivanja u svim položajima bez promjene parametara
- Manje „prskanje“ za vrijeme zavarivanja i bolji vizuelni izgled zavara
- Bolja stabilnost procesa zavarivanja
- Bolja mehanička svojstva zavarenog spoja, posebno svojstvo žilavosti

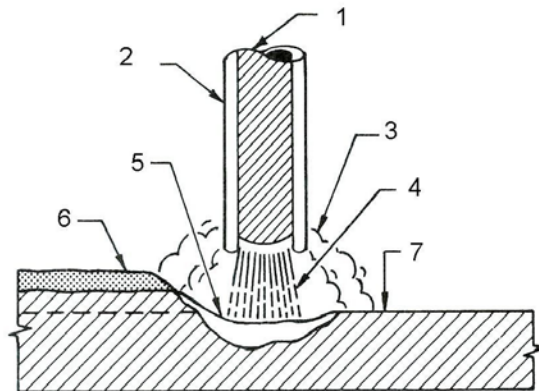
Nedostaci praškom punjene žice u odnosu na punu žicu:

- Preveliko zračenje topline prilikom zavarivanja
- Posebno jak električni luk
- Velika količina plinova razvijenih iz praška

2.4.2. RUČNO ELEKTROLUČNO ZAVARIVANJE (REL)

Ručno elektrolučno zavarivanje, ili skraćeno REL je postupak ručnog zavarivanja, gdje se između obložene elektrode i metala koji zavarujemo stvara električni luk. Električni luk daje energiju koja topi metal koji zavarujemo (osnovni materijal) i obloženu elektrodu (dodatni materijal), stvarajući zavareni spoj.

Princip postupka ručnog elektrolučnog zavarivanja sastoji se u tome da električni luk gori između metalne obložene elektrode, koja se tali i osnovnog materijala. Električna energija za ovaj postupak dolazi iz izvora koji može biti transformator, ispravljač (diodni, tiristorski ili invertorski) ili pretvarač. U el. luku električna energija se pretvara u toplinsku koja je potrebna za taljenje. Taljenjem jezgre i obloge elektrode stvara se odgovarajuća količina rastaljenog materijala, troske i plina. Tekuća troska pokriva metalnu kupku za vrijeme prolaza kapi kroz električni luk, a dodatnu zaštitu metalne kapi stvaraju dimni plinovi koji nastaju iz komponenata obloge. Zbog ovakvog dvostrukog načina zaštite ovaj postupak je vrlo siguran za zavarivanje, čak i na otvorenom. Slikom 27. prikazani su osnovni elementi REL zavarivanja.



- | | |
|---------------------|---------------------|
| 1. Jezgra elektrode | 5. Rastaljeni metal |
| 2. Obloga elektrode | 6. Skrutnuta troska |
| 3. Zaštitni plinovi | 7. Osnovni metal |
| 4. Električni luk | |

Slika 27. Osnovni elementi REL postupka [2]

2.4.2.1. PARAMETRI ZAVARIVANJA I UTJECAJNI ELEMENTI REL POSTUKA

Za razliku od nekih automatskih i poluautomatskih postupaka utjecaj zavarivača na kvalitetu zavarenog spoja je vrlo velik. Razlog tomu leži u tome da veći broj utjecajnih elemenata i parametara ovisi o uvježbanosti zavarivača, te kod ovog postupka valja posebnu pažnju posvetiti stjecanju znanja i vještine zavarivača.

Utjecajni parametri su:

- Jakost i vrsta struje
- dužina el. luka
- brzina zavarivanja
- nagib elektrode
- poprečna kretanja elektrode
- uspostavljanje i prekidanje el. luka
- položaj zavarivanja
- temperatura predgrijavanja

Jakost struje zavarivanja ovisi o tipu i promjeru elektrode, vrsti spoja, debljini osnovnog materijala i položaju zavarivanja. Povećanjem dimenzije (promjera) elektrode povećava se i jakost struje zavarivanja, jer je potrebna veća količina topline za taljenje elektrode. Ako je točka taljenja obloge elektrode viša, potrebna je veća jakost struje za zavarivanje. Obično se za elektrode normalnog stupnja iskorištenja uzima jakost struje oko 40 A/mm promjera elektrode. Visokoučinske elektrode trebaju veću jakost struje nego elektrode normalnog stupnja iskorištenja. Jakost struje koja će biti potrebna za neku visokoučinsku elektrodu ovisi o količini željeznog praha u oblozi elektrode. Pri zavarivanju u prisilnim položajima uzima se 10 do 20 % manja jakost struje nego pri zavarivanju u horizontalnom položaju. Razlog tome je neprirodan položaj vertikalnog zavarivanja pri kojem bi zbog jednake struje kao u horizontalnom došlo do otjecanja dodatnog materijala. Pri zavarivanju visokolegiranih čelika također je potrebna manja jakost struje zbog visokog omskog otpora visokolegiranih čelika. Zbog toga se visokolegirane elektrode lakše pregrijavaju nego elektrode za zavarivanje nelegiranih i niskolegiranih čelika.

Vrsta struje ovisi o tipu obloge elektrode. Bazične elektrode najčešće se upotrebljavaju na istosmjernu struju, plus (+) pol. Ostali tipovi elektroda mogu se upotrebljavati na izmjeničnu i istosmjernu struju. Pogrešno odabrana vrsta struje ili polaritet dovode do pojave poroznosti u zavaru, povećanog prskanja materijala i manje stabilnosti električnog luka.

Dužina električnog luka je udaljenost jezgre elektrode od osnovnog materijala, a ovisi o vrsti elektrode. Kod kiselih i rutilnih elektroda dužina električnog luka je približno jednaka promjeru elektrode. Kod bazičnih elektroda, visokolegiranih elektroda i elektroda za zavarivanje obojenih metala dužina električnog luka je nešto manja. Pri prekomjernom povećanju dužine električnog luka zagrijavanje materijala je slabije, slabija je i zaštita rastaljenog metala, a povećava se gubitak materijala zbog prskanja. Kratak električni luk dobro zagrijava osnovni materijal i daje dubok uvar.

Brzina zavarivanja ovisi o tehnici rada, vrsti i dimenzijama spoja, vrsti osnovnog materijala i tipu obloge. Ako se za vrijeme zavarivanja izvode poprečna kretanja elektrode, brzina zavarivanja je manja. Pri zavarivanju rutilnim i mineralno kiselim elektrodama postižu se veće brzine zavarivanja nego pri radu bazičnim elektrodama. Zavarivanje visokolegiranih Cr-Ni čelika izvodi se u većim brzinama zavarivanja, jer se tako manje topline unosi u osnovni materijal.

Nagib elektrode utječe na dužinu električnog luka i penetraciju. Ako je elektroda više nagnuta, dužina električnog luka je veća, što naročito štetno utječe pri radu bazičnim elektrodama. Ako je elektroda okomitija luk je kraći, snaga luka je veća, pa je veća i penetracija. Pri zavarivanju u prisilnim položajima, npr. u vertikalnom položaju, nagibom elektrode pridržava se talina i time utječe na oblik zavara. Poprečna kretanja elektrode su ona okomito na smjer zavarivanja. Veličina poprečnih kretanja utječe na širinu zavara i količinu unesene topline u osnovni materijal. Ako su poprečna kretanja veća, veća je širina zavara i više se topline unosi u osnovni materijal.

Temperatura predgrijavanja je faktor koji u prvom redu ovisi o zavarljivosti osnovnog materijala i njegove debljine. U pravilu, povećanjem sadržaja ugljika u čeliku, odnosno povećanjem postotka drugih legiranih elemenata smanjuje se zavarljivost čelika što zahtjeva višu temperaturu predgrijavanja. Pri zavarivanju

debljih radnih komada, tj. kada je debljina osnovnog materijala 30 mm i više također treba predvidjeti predgrijavanje osnovnog materijala, a ponekad čak i dogrijavanje.

Najčešće greške kod zavarivanja, naročito bazičnim elektrodama pojavljuju se kod nepropisnog uspostavljanja i prekidanja el. luka. Kod uspostavljanja el. luka u završnom krateru prve kapljice još nedovoljno zaštićenog metala elektrode padaju na hladni metal inače problematičnog završnog kratera. Zato je osnovno pravilo u izvođenju nastavaka da se el. luk nikad ne uspostavlja u završnom krateru.

2.4.2.2. FUNKCIJA OBLOGE ELEKTRODE

Obloga elektrode u procesu zavarivanja vrši tri složene funkcije: električnu, fizikalnu i metaluršku.

Električna funkcija sastoji se u tome da osigura dobro uspostavljanje i stabilan električni luk. U tu svrhu dodaju se tvari (spojevi natrija i kalija) u oblogu elektrode koje kod taljenja stvaraju plinove s velikom sposobnošću ionizacije i na taj način čine dobru provodljivost.

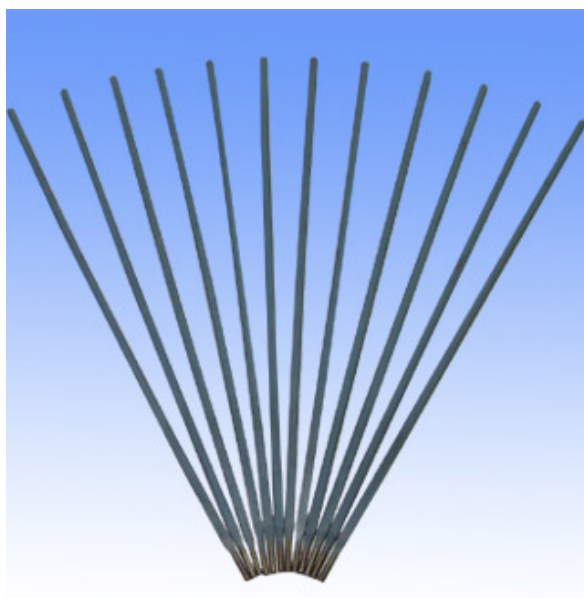
Fizikalna funkcija sastoji se u tomu da olakša i omogući zavarivanje u prisilnom položaju, te da izvrši zaštitu taline i kapljica u prelazu te da zaštiti zavar od prenaplog hlađenja. Sastav obloge utječe na napetost površine i viskozitet (prionjivost), što utječe na oblik svakog pojedinog sloja zavara i moguće je zavarivati u prisilnim položajima. Druga fizikalna funkcija je zaštita rastaljenog metala od štetnih plinova iz zraka.

Metalurška funkcija je u njenom metalurškom djelovanju na zavareni spoj u procesu zavarivanja. Razlikuju se tri načina toga djelovanja: legiranje, otplinjavanje i rafinacija. Legiranje iz obloge je nadoknađivanje legirajućih elemenata koji izgaraju u toku procesa zavarivanja. Otplinjavanje je uklanjanje kisika i vodika iz taline zavara, preko dezoksidanata, odnosno kalcijeva fluorida koji uklanja vodik, dok rafinacija podrazumijeva uklanjanje sumpora i fosfora, putam kalcijeva i manganova oksida. Svi ovi štetni elementi se vežu i izlaze u trosku.

2.4.2.3. RUKOVANJE ELEKTRODAMA

U rukovanju elektrodama važna su slijedeća pravila:

Elektrode na slici 28. se moraju uskladištiti u suhoj prostoriji koja se zimi treba zagrijavati. Zahrđale, masne, oštećene ili nepoznate elektrode ne smiju se upotrebljavati u zavarivanju.



Slika 28. Elektrode [6]

Elektrode dobro zatvorene od pristupa zraka, u nepoderanoj najlonskoj vrećici ili u limenoj zalemljenoj kutiji ne treba prije upotrebe sušiti, naročito pri zavarivanju konstrukcija koje zahtijevaju visoke kvalitete zavarenog spoja. Ako se zavarivanje obavlja u vlažnom prostoru, elektrode treba držati na suhom mjestu. Bazične elektrode koje su u otvorenoj kutiji više od 4 sata smatraju se vlažnima i treba ih sušiti. Sušenje elektroda vrši se u posebnim pećima za sušenje s mogućnosti regulacije temperature sušenja. Osim tih peći, zavarivač bi, pri zavarivanju s bazičnim elektrodama, trebao imati na radnom mjestu posebnu prenosnu peć (tobolac). U toj peći održava se jednaka temperatura (60-100 °C), tako da za vrijeme rada ne dođe do vlaženja elektrode. Elektroda se ne smije uzimati masnim rukavicama. Masnoća na elektrodi uzrokuje poroznost u zavarenu spoju. Temperaturu sušenja elektroda preporučuje proizvođač elektroda. Kisele i rutilne elektrode sušimo na temperaturi 100-120 °C a bazične 200-300 °C. Obložene elektrode s vremenom ostare. Ako su elektrode (svih tipova) jako stare mogu se

primijetiti na površini obloge bijeli mali kristali, kao rezultat kemijskih reakcija sastavnih dijelova obloge. S takvim se elektrodama ne smiju zavarivati važni spojevi. Vlažne elektrode prepoznamo po zvuku udara jedne o drugu: suhe elektrode daju oštar i visok zvuk, vlažne dubok. Kada počnemo zavarivati, promatramo taljenje elektrode. Kod vlažnih elektroda čuju se male eksplozije i pucketanja. Katkad se primijeti na površini obloge vlaga koja se isparava u vidu bijele pare.

Bazične elektrode koje se koriste na „GRADNJI 481” pod nazivom kryo 1 i conarc 49C drugačijeg su kemijskog sastava od uobičajeno korištenih conarc 49 zbog potrebe za što boljim i kvalitetnijim zavarom. U tablici 7. prikazan je kemijski sastav u postocima određenih elemenata između uobičajenih elektroda i gore navedenih, dok su u tablici 8. prikazani parametri zavarivanja elektrodom conarc 49C ovisno o debljini.

Tablica 7. Kemijski sastav elektroda u postocima [5]

ELEKTRODA	UGLJIK	MANGAN	SILICIJ	FOSFOR	SUMPOR	NIKAL
Bazična elektroda (Conarc 49) ³	0,09	1,1	0,6	0,015	0,01	-
Bazična elektroda (Conarc 49C) ⁴	0,06	1,4	0,3	0,015	0,01	-
Bazična elektroda (Kryo 1) ⁵	0,05	1,5	0,4			0,9

Tablica 8. Parametri zavarivanja elektrodom Conarc 49C [5]

ELEKTRODA	NAPON zavarivanja	STRUJA zavarivanja	V _{zavarivanja}
∅ 5 mm	23-26 V	180-240 A	15-20 cm/min
∅ 4 mm	22-24 V	140-150 A	8-13 cm/min
∅ 3.2 mm	20-22 V	115-120 A	10-15 cm/min

2.4.2.4. PRIMJENA REL POSTUKA ZAVARIVANJA

Pravi početak ručnog elektrolučnog zavarivanja, možemo smatrati 1907. godinu kad je Oscar Kjellberg izradio prvu elektrodu s oblogom. Od tada pa do danas REL postupak postaje jedan od najrasprostranjenijih, a obložene elektrode počinju se

^{3, 4, 5} Bazične elektrode za REL zavarivanje, a naziv proizvođača je Lincoln Smitweld B.V.

primjenjivati za zavarivanje gotovo svih vrsta metala i njihovih legura koje se mogu zavariti taljenjem. Gotovo sve prve zavarene čelične konstrukcije zavarene su u potpunosti ili pretežno REL postupkom prikazan slikom 29 i 30 . Reparatura zavarivanja su i danas teško zamisliva bez ovog postupka. Zbog jednostavne i jeftine opreme svaka veća radionica, pa i ona hobi, koristi ovaj postupak. U posljednjih tridesetak godina ručno elektrolučno zavarivanje postaje potiskivano od strane poluautomatskog postupka zavarivanja u zaštiti plina (MIG/MAG), no zbog svoje prilagodljivosti svim uvjetima rada i obliku osnovnog materijala, te mobilnošću još će dugo odolijevati, čak i u isključivo zavarivačkim granama industrije, kao što je npr. brodogradnja.



Slika 29. Zavarivanje REL i MIG postupkom, gdje se zavaruje „glava” kopača praškom punjenom žicom Ø 1.2 mm, te elektrodom Ø 5 mm. Debljina materijala koji se zavaruje je 30 mm, te se za te debljine koristi žica i elektroda koje sadrži veći postotak nikla radi bolje zavarljivosti. Prilikom zavarivanja, lim se predgrijava elektro – induktivnim predgrijavanjem na temperaturu od 160°C , Brodogradilište Uljanik, Pula, svibanj 2010.

Prednosti su:

- razvijen širok spektar dodatnih materijala za zavarivanje
- manja cijena opreme za zavarivanje (uređaj za zavarivanje) u odnosu na MIG/MAG I EP postupka zavarivanja
- pogodan za manja proizvodna I reparaturna zavarivanja
- mogućnost zavarivanja u svim položajima zavarivanja
- pogodan za rad na terenu, naročito tamo gdje nema električne energija, moguća primjena agregata
- vrlo jednostavno rukovanja opremom
- dobra mehanička svojstva zavara

Nedostaci su:

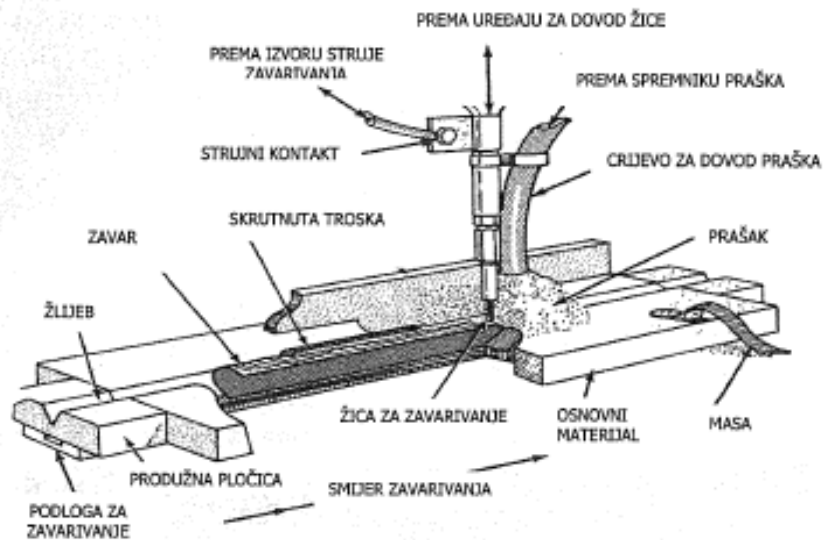
- mala brzina zavarivanja i niska produktivnost u odnosu na MIG/MAG i EP postupak
- kvaliteta zavara značajno ovisi o vještini zavarivača – čovjeka
- vrijeme za izobrazbu dobrog zavarivača je dugo
- naizbježan je otpad elektrode – “čik” (8 – 10%), te gubitak materijala zbog prskanja u okolinu
- teže čišćenje troske nakon zavarivanja I gubitak vremena zbog čišćenja troske
- dolazi do jakog bljeskanja pri zavarivanju, razvijaju se štetni plinovi (potrebna dobra ventilacija prostora)
- dugotrajni rad može ostaviti štetne posljedice na zdravlje zavarivača (reuma, oštećenja dišnog sustava....)



Slika 30. Zavarivanje kutnih spojeva REL postupkom, detalj iz Brodogradilište Uljanik, Pula, svibanj 2010.

2.4.3. ELEKTROLUČNO ZAVARIVANJE POD ZAŠTITNIM PRAŠKOM (EPP)

Princip postupka sastoji se u tome da se metalna elektroda, koja služi i kao dodatni materijal, tali ispod sloja praška zbog topline koja se oslobađa u električnom luku. Električni luk gori između osnovnog materijala i metalne elektrode, koja je u obliku žice namotana na kolut i koja se pomoću pogonskog mehanizma dovodi na mjesto zavarivanja. Za vrijeme zavarivanja električni luk je pokriven zaštitnim slojem praška za zavarivanje, koji se tali. Taljenjem praška nastaje troska koja obavlja niz funkcija isto kao i troska koja nastaje taljenjem obloge elektrode. Nakon zavarivanja, prašak se uklanja, a troska se odvaja. Slika 31. prikazuje osnovne elemente principa EPP postupka zavarivanja.



Slika 31. Osnovni elementi EPP postupka [2]

Za zavarivanje se najviše upotrebljava kombinacija jedne žice i praška, ali mogu se upotrijebiti dvije ili više žica, te kombinacija izmjenične i istosmjerne struje. Takvim varijantama postupka postiže se mogućnost većih strujnih opterećenja i rad većim brzinama zavarivanja. Slikom 32 i 33. Prikazan je uređaj za EPP zavarivanje kutnih zavara.



Slika 32. Stroj za kutno EPP zavarivanje, Brodogradilište Uljanik, Pula, svibanj 2010.

2.4.3.1. PARAMETRI ZA EPP POSTUPAK ZAVARIVANJE

Glavni parametri kod EPP postupka zavarivanja su:

- napon zavarivanja (U), koji se tijekom zavarivanja orijentacijski kreće od 26 do 40 V
- Jakost struje zavarivanja (I), koja se pri zavarivanju kreće ovisno o promijeru žice od 100 A do 1200 A. Zbog manje duljine slobodnog kraja žice moguće je iste promjere žice za zavarivanje opteretiti puno većim strujama nego kod REL postupka
- Brzina zavarivanja (v), je značajno veća u odnosu na REL i MIG/MAG postupak (od 600 do 2000 cm/min)
- Napon praznog hoda je 42 V I veći je od REL postupka budući da se teže uspostavlja električni luk

2.4.3.2. DODATNI MATERIJAL ZA ZAVARIVANJE EPP-OM

Kao dodatni materijal za zavarivanje EPP-om upotrebljava se puna ili punjena žica i traka. Površina elektrodne žice je pobakrena zbog zaštite od korozije i boljeg provođenja električne struje.

Prema načinu proizvodnje prašci se dijele na:

- Taljene
- Aglomerirane (keramičke)
- Miješane

Taljeni prašci proizvode se tako da se sirovine za njihovu proizvodnju zagrijavaju do temperature taljenja u elektrolučnim ili kupolnim pećima. Nakon završenog procesa taljenja prašak se granulira, najčešće u vodi i, ako je potrebno, prisilno suši.

Proizvodnja aglomeriranih prašaka je slična proizvodnji elektroda. Priprema sirovina za proizvodnju aglomeriranih prašaka u potpunosti odgovara pripremi sirovina za proizvodnju obloge elektroda. Zbog homogeniziranja materijala vrši se suho miješanje. Mokro miješanje vrši se uz dodatak vodenog stakla u količini od oko

15%. Nakon granulacije praška, koja je obično automatska, prašak se suši na temperature od oko 150°C. Zatim se prašak peče na temperaturi od 500 - 900°C, ovisno o vrsti praška. Pri tome se ne tale komponente koje ulaze u sastav praška. Alomerirani prašak je heterogen produkt u kojem su pojedine komponente jedna prema drugoj ostale nepromijenjene. Zrno jednog alomeriranog praška je homogeno. Značajna prednost tih prašaka je u tome da pojedine komponente za vrijeme zavarivanja reagiraju. Zbog niže temperature proizvodnje mogu sadržavati dezoksidirajuće i legirajuće elemente, što omogućuje da se za vrijeme zavarivanja između rastaljenog metala i troske odvijaju vrlo intenzivne kemijske reakcije oksidacije, redukcije i legiranja. Prisutnost dezoksidirajućih elemenata u prašku omogućuje postizanje čistijeg metala zavara i manjih segregacija pri zavarivanju debljih limova. Glavni nedostatak ovog praška je osjetljivost na vlagu.

Miješani prašci proizvode se miješanjem dviju ili više vrsta praška pri čemu moraju nasipna težina i granulacija pojedinih praška biti približno jednake.

2.4.2.3. PREDNOSTI I NEDOSTACI EPP-A

Prednosti EPP postupka su:

- Velike brzine zavarivanja i daleko veća produktivnost u odnosu na MIG/MAG i REL postupak zavarivanja
- Budući da se radi o automatskom postupku zavarivanja, kvaliteta ne ovisi o čovjeku (jednom uspostavljeni parametri zavarivanja daju konstantnu kvalitetu zavarenih spojeva)
- Visok stupanj iskorištenja energije za taljenje (0,9 – 0,95)
- Kvalitetan estetski izgled zavara
- Nema otpada žice („čik-a“), te gubitka zbog prskanja kapljica u okolinu
- Lako čišćenje troske i mogućnost recikliranja troske
- Vrijeme za izobrazbu operatera je puno kraće od izobrazbe dobrog zavarivača za REL postupak

Nedostaci postupka su:

- Veća cijena opreme za zavarivanje (uređaja za zavarivanje) u odnosu na MAG i REL postupak zavarivanja
- Slabija mehanička svojstva zavarenog spoja u odnosu na MIG/MAG i REL zavarivanje, brže je hlađenje veće količine deponiranog materijala
- Nema vizualnog nadzora električnog luka tijekom zavarivanja (velike jakosti struje daju svjetlost velike intenzivnosti pa u obzir dolazi nadzor X- zrakama i video kamerama)
- U tehnološkoj liniji koja koristi EP automate obično je potrebna dodatna mehanizacija (okretaljke, okretno – nagibni stolovi, pozicioneri, konzole)



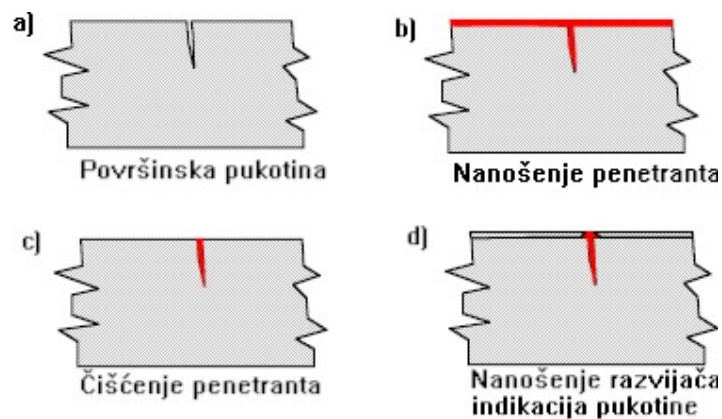
Slika 33. Dio opreme za reguliranje parametara i upravljanje strojem za EPP zavarivanje, Brodogradilište Uljanik, Pula

2.5. METODE KONTROLE ZAVARA NA BRODU JARUŽARU

Kontrola kvalitete zavara na jaružaru se dijeli na kontrolu metodama bez razaranja (KBR) i kontrolu metodama sa razaranjem (KSR). Prije bilo koje druge metode kontrole zavara provodi se vizualna kontrola.

Ta metoda kontrole relativno je jeftina, ne oduzima puno vremena, a može dati vrlo korisne informacije kako o kvaliteti zavarenih spojeva, tako i o potrebi kontrole nekom drugom metodom. Za pomoć kod vizualne kontrole u skućenim i nepristupačnim dijelovima konstrukcije koriste se različita povećala - lupe uz osvjetljenje. Sljedeća po redu je dimenzionalna kontrola kod koje se koriste uređaji – naprave za mjerenje debljine zavara.

Kontrola penetrantima često se koristi kod kontrole zavarenih spojeva na konstrukcijama. Na slici 34. prikazan je shematski princip kontrole penetrantima.



Slika 34. Shematski princip kontrole zavara penetrantima [1]



Na prethodno očišćenu i odmašćenu površinu nanosi se penetrant (obično crvene boje). Nakon penetriranja u eventualnu pukotinu, vrijeme penetriranja, tj. prodiranja u pukotine ovisi o vrsti penetranta i o dimenzijama pukotine, ali se približno uzima 10 do 15 minuta, odstranjuje se penetrant na odgovarajući način (vodom, suhom krpom). Kod penetranta koji se odstranjuju

Slika 35. Sprejevi za penetrantsku kontrolu, brodogradilište Uljanik, Pula

vodom treba biti pažljiv i mlaz vode usmjeriti paralelno sa površinom lima, kako mlaz vode ne bi istisnuo penetrant iz pukotine. Nakon sušenja površine lima (suha krpa) nanosi se razvijač (obično je bijele boje), koji izvlači penetrant iz pukotine, pa je na bijeloj površini lima lako uočljiva crvena linija od penetranta iz pukotine. Kod tanjih limova na jednu se stranu nanosi penetrant, a na drugu razvijač. Ukoliko postoji pukotina kroz cijelu debljinu lima, tada će razvijač izvući penetrant na svoju stranu, što će se detektirati kao lako uočljiva crvena linija od penetranta iz pukotine na bijeloj (od razvijača) površini lima. Slikom 35. Prikazani su sprejevi za ispitivanje penetrantima. Dok je slikama 37 i 38 prikazano nanošenje penetranta i razvijača.

Ovom je metodom moguća detekcija pukotine, ali ne i dimenzije i ostale karakteristike pukotine. Kontrola tekućim penetrantima ne primjenjuje se kod zavarenih spojeva gdje postoji sklonost prema koroziji (posebno koroziji uz naprezanje). Na slici 36. Prikazano je nekoliko karakterističnih indikacija za kontrolu penetrantima.

a) Koncentracija crvenih točkica - poroznost i piting



b) naglo crvenjenje, kontinuirano ravno - velike pukotine i otvaranja



c) slomljene linije od točkica koje se pojavljuju nakon nekoliko minuta - sitne pukotine



d) niz crvenih točkica formiran u nepravilnu liniju - pukotine od umaranja



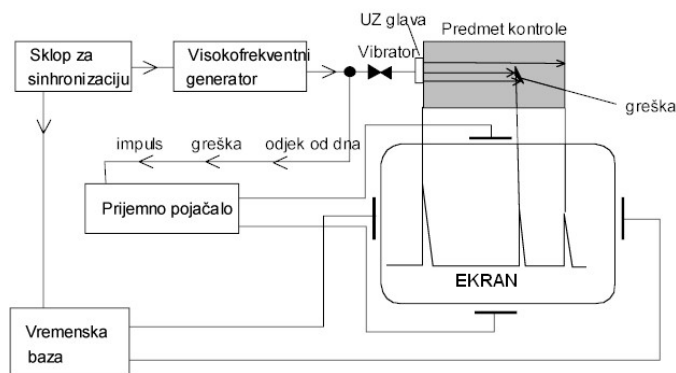
Slika 36. Primjeri indikacija kod kontrole penetrantima [1]



Slika 37 i 38. Nanošenje „crvenog” penetranta, te potom „bijelog” razvijaača, Brodogradilište Uljanik, Pula

Ultrazvučna metoda kontrole kvalitete zasniva se na svojstvu ultrazvuka da se širi kroz homogene materijale i da se odbija na granici materijala različitih akustičkih osobina (otpornosti), odnosno od nehomogenosti (grešaka) u materijalu. Od izvora ultrazvuka šire se ultrazvučni valovi kroz materijal koji se kontrolira. Ako u materijalu postoji greška, iza nje će, ovisno o vrsti greške, ultrazvučni valovi oslabiti ili se neće pojaviti (odbiju se od greške).

Ultrazvuk je vrsta mehaničkih valova frekvencije 20 KHz do 10 GHz, a kod ispitivanja materijala najčešće se koriste frekvencije od 0,5 MHz do 10 MHz. Iako postoje



različite tehnike ultrazvučnog ispitivanja, obično se u praksi koristi metoda impuls - odjek i metoda prozvučavanja, pri čemu se koriste ravne i/ili kutne ultrazvučne glave. Na slici 39. prikazan je shematski princip ultrazvučnog ispitivanja.

Slika 39. Shematski prikaz ultrazvučne metode kontrole kvalitete [1]

Iako je ultrazvučna metoda posebno prikladna za otkrivanje grešaka tipa pukotina, ovom je metodom moguće detektirati i druge greške (uključke troske, plinske mjehuriće, mjehuriće u nizu). Slikom 40. Prikazan je uređaj za ispitivanje zavora ultrazvukom



Pri kontroli kvalitete **metodama zračenja** u praksi se koriste X - zrake (Rendgenske) i γ - zrake.

Rendgenske ili X - zrake nastaju pri naglom kočenju ubrzanog snopa elektrona na metalnoj ploči (antikatodi u rendgenskoj cijevi), dok γ (gama) - zrake nastaju prilikom spontanog raspada nestabilnih

Slika 40. Uređaj za ispitivanje zavara ultrazvukom, Brodogradilište Uljanik, Pula, travanj 2010.

atomskih jezgri (prirodnih radioaktivnih materijala i radioaktivnih izotopa). Oba su zračenja u biti elektromagnetska zračenja.

Atomi nekog elementa koji se razlikuju po broju neutrona u jezgri nazivaju se izotopi, razlikuju se po atomskoj težini ali su im kemijska svojstva jednaka. Danas se stvaraju na umjetni način "bombardiranjem" neutronima, protonima, X-zrakama ili nekim drugim subatomskim česticama. Neke jezgre od tako dobivenih izotopa nisu stabilne već se raspadaju, pri čemu takav izotop koji se još naziva i radioizotop zrači energiju (radioaktivan je). Jedan dio oslobođene energije zrači se u obliku gama zraka koje se koriste u defektoskopiji. Najčešći radioizotopi su Co-60 (vrijeme poluraspada 5,3 godine), Ir-192 (vrijeme poluraspada 74,4 dana) i Cs-137 (vrijeme poluraspada 30 ± 3 godine).

Intenzitet zračenja opada po dubini prozračavanog materijala po sljedećoj formuli:

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu d}, \text{ gdje je:}$$

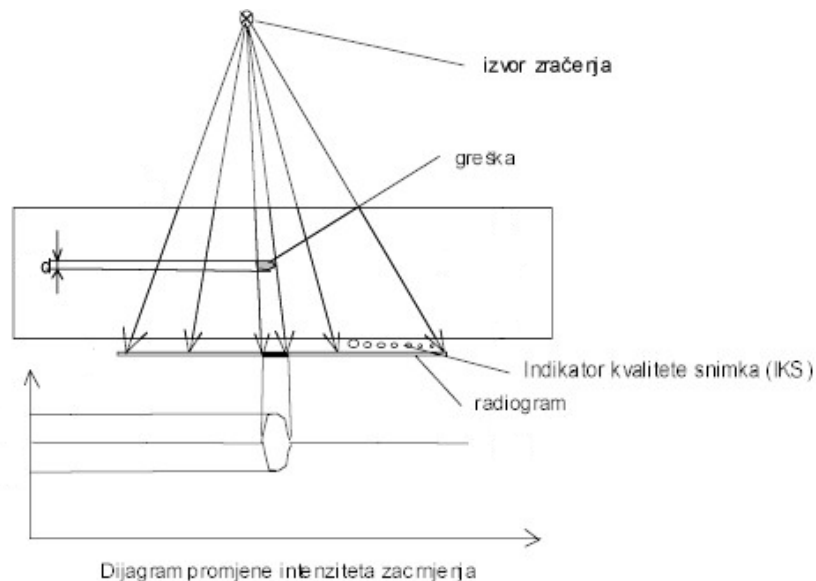
I_0 ...ulazni intenzitet zračenja

I ... intenzitet zračenja na izlazu iz materijala

d ... debljina prozračavanog materijala

η ... linearni koeficijent apsorpcije zračenja (slabljenja zračenja)

Ovisno o načinu registracije promjene intenziteta zračenja govori se o ionizacijskoj (informacije o grešci u obliku elektroničkih signala), radioskopskoj (informacije o prisutnosti greške na monitorima zatvorenih televizijskih sistema) i o radiografskoj kontroli (informacije o kontroli bilježe se na rendgenskom filmu). Na slici 41. Prikazan je shematski prikaz radiografske kontrole kvalitete.



Slika 41. Shematski prikaz radiografske kontrole kvalitete zavarenog spoja [1]

Interpretacija rezultata kontrole zračenjem u prvom redu ovisi o kvaliteti snimke. Kod radiografske kontrole za ocjenu kvalitete radiograma koriste se različiti oblici indikatora kvalitete snimka (penetrametri). Postavljaju se ispod prozračavanog predmeta, sa gornje strane radiografskog filma. Najčešće su to žičice standardiziranih različitih promjera ili provrti standardiziranih različitih dimenzija, ovisno o propisima koji se primjenjuju kod kontrole. Npr. penetrametar prema DIN 54109 napravljen je tako da se između folija od plastične mase nalaze pravilno raspoređenih sedam kalibriranih žica različitih dimenzija (ovi se indikatori izrađuju sa tri područja debljina) od materijala koji približno odgovara materijalu koji se prozračuje. Iznad i ispod žica nalaze se informacije o materijalu (Fe, Al, Cu) i o području debljina. Kvaliteta snimke iskazuje se preko promjera žice koja se vidi na radiogramu. Slikom 42. prikazan je uređaj za za ispitivanje zavara radiografijom



Slika 42. Uređaj za ispitivanje zavara radiografijom, Brodogradilište Uljanik, Pula, travanj 2010.

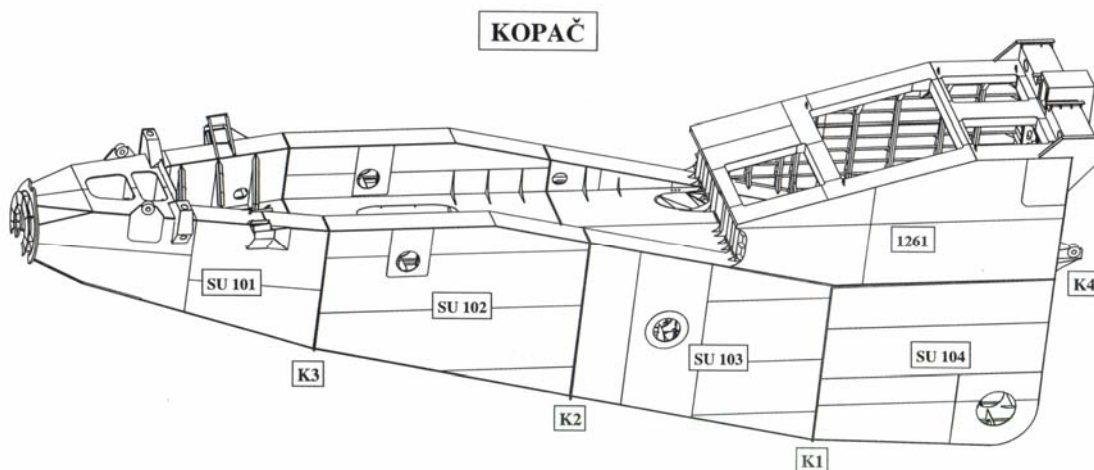
U tablici 9. navedene su orijentacijske vrijednosti minimalnih dimenzija greške koju je moguće detektirati pojedinim metodama kontrole bez razaranja

Tablica 9. Minimalne dimenzije greške na različitim metodama kontrole zavara [5]

Metoda KBR	Širina pukotine, mm	Dužina pukotine, mm	Dubina pukotine, mm	Primjedba
Penetranti	0,1	2	-	Ovisno o stanju površine i optičkim pomagalima
Ultrazvuk	0,01	1	0,2	Samo za feromagnetske materijale
Radiografija	0,3	5	0,3	-

3. PRIKAZ ZAVARIVANJA KRUŽNOG ZAVARENOG SPOJA ODLJEVKA – KOPAČA

Na brodu jaružaru koji se u brodogradilištu gradi pod internom oznakom "GRADNJA 481", odabrane su specifične sekcije koje spojene predstavljaju "ruku" broda koja mrvi morsko dno, te zatim usisava kamenje i pijesak na brod ili baržu. Slika 43. prikazuje skup sekcija koje čine "ruku" broda, odnosno kopača, dok slika 44 prikazuje kopač prilikom porinuća u brodsku krmu.



Slika 43. Prikaz kopača broda jaružara [5]

Brod jaružar je sam po sebi specifičan, i predstavlja iskorak iz standardne tehnologije koja je do sada vladala u većini gradnji, tako da je brodogradilište moralo osmisliti niz novih rješenja kako bi bili spremni za takav izazov. Sam brod u većini dijelova potpuno je isti kao i svi ostali koji su se prije gradili, ali na određene detalje kad je u pitanju zavarivanje ipak je trebalo obratiti pozornost, naći rješenje u skladu za zahtjevima brodovlasnika, te upotrijebiti svo znanje unutar brodogradilišta.

Ono od čega počinje gradnja svake sekcije, pa tako i onih specifičnih vezanih za kopač broda je skladište limova. Na njega se slažu limovi koji dođu u brodogradilište po prioritetima. Prioriteti se pak slažu u numerici, te po njima limovi redom ulaze na obradu prije samog postupka zavarivanja sekcije. Početak „života“ svakog lima počinje na ravnanju na kojem lim poprima ravan oblik nakon što se naslagan na hrpe iskrivio prilikom stajanja. Nakon što lim izravnamo slijedi njegovo sačmarenje u automatskom postorjenju prilikom kojeg lim čistimo od okujine, produkata korozije i drugih nečistoća do stupnja čistoće Sa 2.5. Stupanj čistoće Sa 2.5 definiran je po ISO normi 8501-1 :1988 kao strojno čišćenje čelika kojim se skida

sva okujina do samog sjaja čelika nakon čega se nanosi privremena radionička zaštita, shopprimer tvorničke oznake Hempadur 1589 ZS u debljini suhog filma od 10-15 μm , koji čelik štiti od negativnih utjecaja atmosfere tokom daljnje obrade i zavarivanja sekcije. Kada se lim zaštititi, potrebno ga je na rezačicama izrezati po nacrtu koji je dala numerika, čime se pokušava iskoristiti sav mogući materijal koji nam je na raspolaganju kako bi ostalo što manje škarta.

Kada su svi djelovi za sklapanje sekcija gotovi, na sekcijama je potrebno izvršiti zavarivanje. Prije svakog zavarivanja, pa tako i onog na specifičnoj sekciji SU 104, potrebno je poznavati sve podatke o materijalu. Prilikom isporuke materijala, valjaonica čelika izdaje ateste materijala gdje su definirana sva njegova svojstva. U slučaju sekcije SU 104 na kojoj će se obraditi okretna točka kopača, potrebno je imati ateste osnovnih materijala sekcije, odljevka (čelični lijev), praškom punjene žice kojom ćemo zavarivati spoj, te atestaciju postupaka zavarivanja kružnog spoja dva navedena materijala. Prije samog zavarivanja spoja, odjel za zavarivanje, morao je



poslati svoje zavarivače na obuku u školu zavarivanja, nakon čega se provela njihova provjera atestacijom kojom se provjerilo da li imaju dovoljno iskustva za zavarivanje materijala sa takvim svojstvima. Prije samih uputa za radionicu kako zavarivati navedeni spoj odljevka i čelika kopača, odjel za zavarivanje je proveo zavarivanje spoja tih dvaju materijala u školi zavarivanja pomoću prije atestiranih radnika, te je zavareni uzorak poslan na ispitivanje u laboratorij kako bi se ustanovilo da li je zadovoljio zahtjeve klasifikacijskog društva

Slika 44. Prikaz kopača broda jaružara prilikom porinuća u krmu broda, Brodogradilište Uljanik, Pula, travanj 2010.

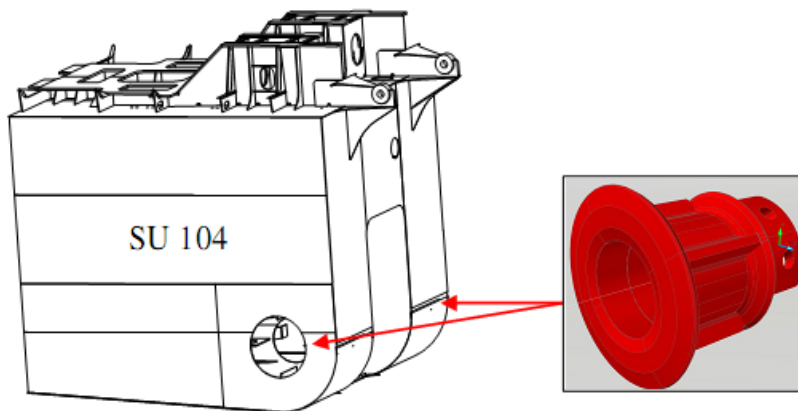
(u ovom slučaju je to Bureu Veritas). Sama atestacija postupka zavarivanja definirana je kao evidentirano provođenje postupka zavrivanja na standardnom uzorku na kojem se izvode standardna ispitivanja.

Tek nakon što se provedu sve potrebene atestacije koje su navedene, moguće je otvoriti radni list s kojim se ulazi u radionicu, te po njoj radnici imaju parametre i način na koji se zavaruje određeni spoj. U ovom slučaju, slika 45 pokazuje osnovne značajke radnog lista u radionici vezanog za spoj lima i odljevka.

Priprema spoja/Weld preparation		Zavareni spoj/Welding sequence						
Parametri zavarivanja/Welding parameters								
zavar run no.	postupak w. process	dimenzije dod.mat. dimension	struja/polaritet current/polar.	U _{ZAV} (V) voltage	I _{ZAV} (A) current	V _{zice} (m/min) feed speed	V _{ZAV} (cm/min) travel speed	Unos topline (KJ/cm) Heat Input
1	136	Ø 1,2	DC +	22-24	160-185	6-7	11-14	15,5-18
2-n-1	136	Ø 1,2	DC +	25-26,5	225-245	8-9	17-30	13-17
n-m	136	Ø 1,2	DC +	25-26	180-195	7,5-8	30-40	7-10

Slika 45. Parametri zavarivanja spoja lima i odljevka [5]

Nakon što se dobiju sva odobrenja registra i odjela za zavarivanje može se pristupiti zavarivanju u radionici. Kada je sekcija formirana i namještena u hali, teodolitom se mjeri njen smještaj, te se nakon toga u nju smještaju lijevi i desni odljevak kako što je prikazano na slici 46.



Slika 46. Smještaj odljevaka u sekciju SU 104 [5]

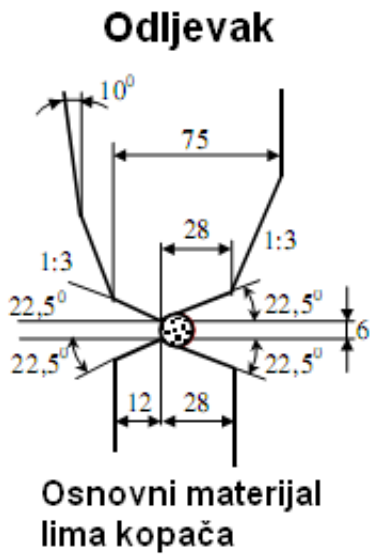
Odljevke brodogradilište naručuje u češkoj ljevaonici pod oznakom Gs20Mn5N koja označava čelični ljev koji ima C-ekvivalent 0.45, granicu razvačenja 300 N/mm² te žilavost od 30 J. Odljevci se pomoću teodolita smještaju u sekciju SU 104 na točno propisano mjesto, te se pomoću naprave „klavirska žica“ kontrolira pomak od centra osi u tijeku zavarivanja. U radnom listu zavarivanja prikazan je redoslijed zavarivanja odljevka za strukturu kopača, ali se isto tako napominje da u slučaju pomaka od osi rotacije više ne vrijede dane upute, već ih radnici određuju na licu mjesta prema stvarnim pomacima. Pomaci se dešavaju zato što prilikom zavarivanja unosimo velike količine topline u strukturu koja postaje podložna deformiranju.

Budući da su debljine limova koji se zavaruju velike, mora se provesti predgrijavanje kojim će se onemogućiti zaostala naprezanja unutar zavara. U slučaju odljevka i okolnog lima, spoj se sastoji od osnovnog materijala - lima od 40 mm i odljevka od 75 mm koji se predgrijavaju na temperaturu od 160°C pomoću elektro – induktivnog stroja za predgrijavanje, te imaju pripremu spoja – X. Kutevi skošenja na odljevku i limu su 45° a zračnost u korijenu je 6 mm. Na slici 47 i 48 prikazani su detalji pripreme spoja na odljevku, te predgrijavanje odljevka prilikom zavarivanja, dok je slikom 49 prikazana skica pripreme spoja.



Slika 47 i 48. Skošnje rubova žlijeba, te induktivno predgrijavanje odljevka, Brodogradilište Uljanik, Pula

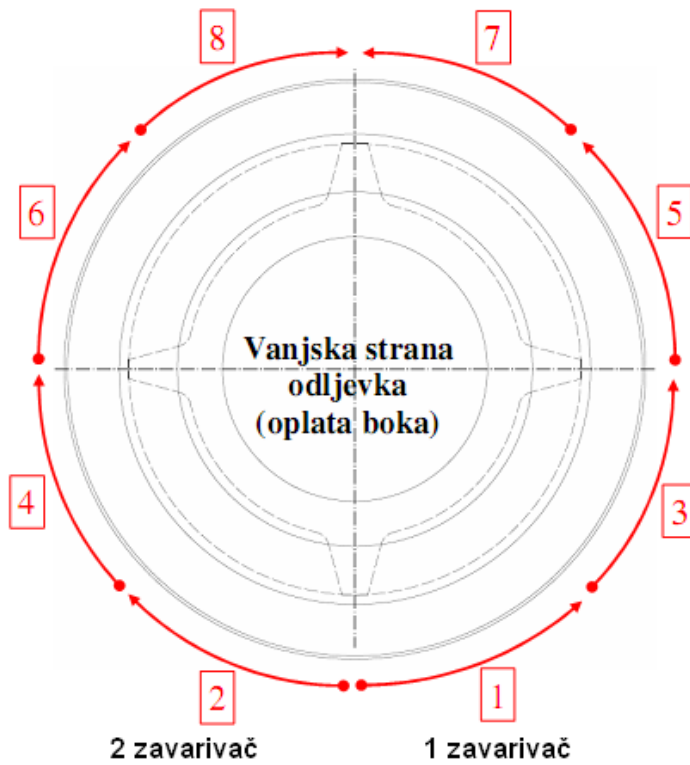
Proces zavarivanja odljevka za sekciju SU 104 počinje tako da se MIG/MAG postupkom pomoću praškom punjene žice promijera 1.2 mm tvorničkog naziva Outershield 81Ni1-H koja u sebi ima 1% nikla radi bolje zavarljivosti prvo zavaruju



četiri koljena odljevka, te se nakon toga zavaruje „glava“ odljevka. Prilikom popunjavanja žljeba „glave“ odljevka koristi se kružna keramika, a njen promjer usklađuje radnik na licu mjesta kako bi mogao napraviti što kvalitetniji korijen zvara. Nakon što se odabere keramika počinje zavarivanje sa već navedenom praškom punjenom žicom promijera 1.2 mm (Outershield 81Ni1-H) kojom popunjavamo zavar sa onoliko prolaza koliko je potrebno da bi dobili zadovoljavajuću debljinu zvara. Najčešće je za popunjavanje potrebno od 50 - 60 prolaza. Zavar se izvodi sa dva

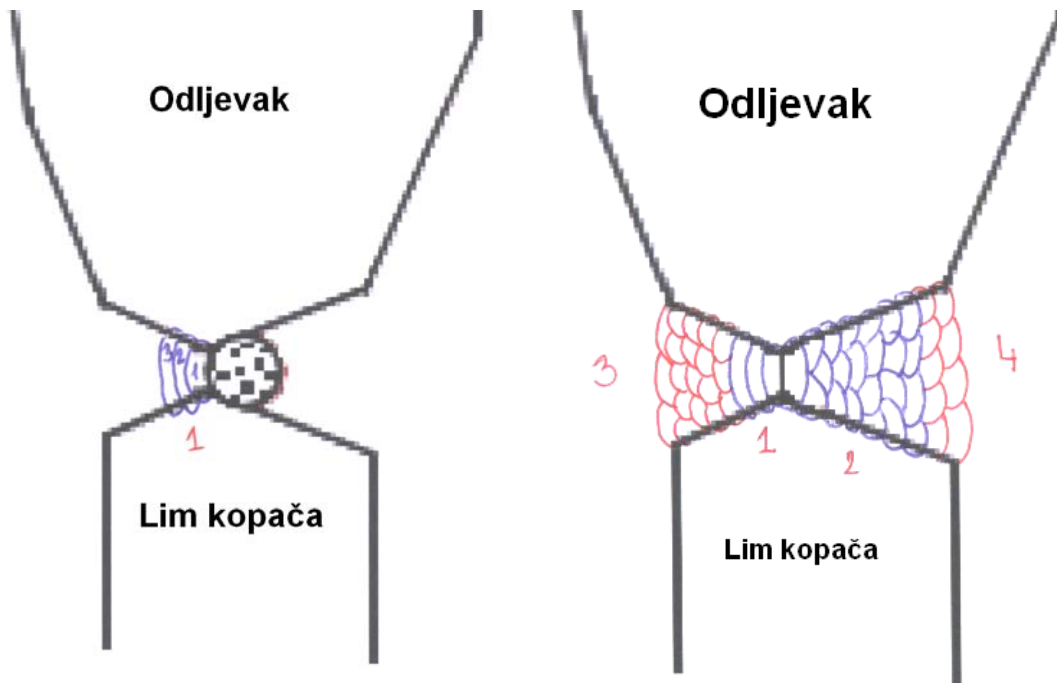
Slika 49. Priprema spoja „glave“ odljevka i lima sekcije [5]

zavarivača koji zavaruju na slici 50. prikazanim redosljedom, ali ako kojim slučajem odljevak zbog unošenja topline tokom zavarivanja pobjegne iz centra osi, tada se



zavarivanje vrši drugačijim redosljedom kojim će se odljevak na kraju zavarivanja vratiti u centar osi. Kao što je vidljivo na slici 50, oba zavarivača počinju zavarivanje od donjeg dijela odljevka, samo što jedan zavaruje zavar od donjeg centra odljevka na desno što je na sici prikazano brojkom 1, dok drugi zavaruje od donjeg centra odljevka na lijevo što je prikazano na slici brojkom 2.

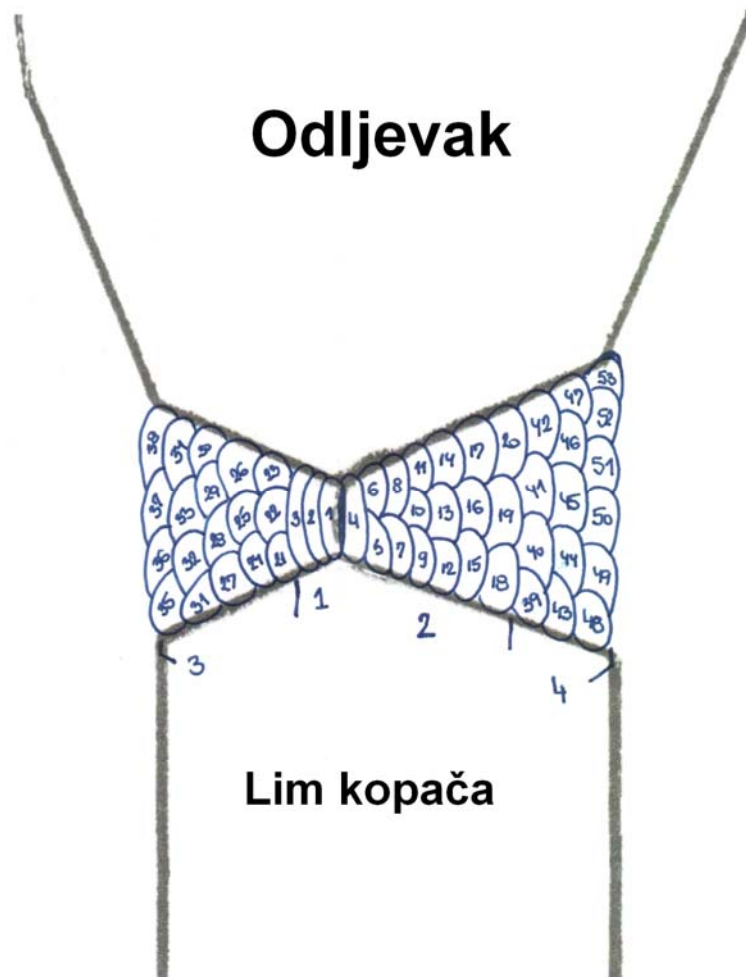
Slika 50. Redolijed zavarivanja vanjske strane odljevka, zavarivanje izvode 2 zavarivača [5]



Slika 51 i 52. Zavarivanje korijena sa unutarnje strane odljevka (slika lijevo), te zatim prikaz redoslijeda polaganja zavara nakon obavljenog cijelog procesa zavarivanja [5]

Opis redoslijed zavarivanja po fazama koje su prikazane na slici 51 i 52 su:

1. Postavljanje keramičke podloge u obliku "perle"
2. Zavarivanje korijena sa unutrašnje strane odljevka pomoću tri prolaza zavarivanja, područje 1
3. Uklanjanje keramičke podloge, pregled korijena vizualno i eventualno brušenje i priprema za nastavak zavarivanja
4. Zavarivanje korijena sa vanjske strane, te dodatno popunjavanje zavara do 2/3 žlijeba, područje 2
5. Nastavak zavarivanja sa unutarnje strane odljevka, te zavarivanje do popunjavanja žlijeba, područje 3
6. Zavarivanje vanjske strane odljevka do popunjavanja žlijeba, područje 4



Slika 53. Redoslijed zavarivanja i broj slojeva karakterističnog spoja odljevka i kopača [5]

Važnije karakteristike zavarivanja spoja koji je prikazan slikom 53:

- Osnovni materijal odljevka je čelični ljev oznake Gs20Mn5N debljine 75 milimetara u spoju
- Osnovni materijal kopača je čelik povišene čvrstoće EH – 36 debljine 40 mm
- Predgrijava se na 160° sa elektro – induktivnim uređajem
- Žica kojom zavarujemo je praškom punjena žica \varnothing 1.2 mm sa većim postotkom nikla tvorničke oznake Outershield 81Ni1-H
- Parametri zavarivanja; napon 22-26 V, jakost struje od 160-245 A, brzina žice 6-9 m/min, brzina zavarivanja 11-40 cm/min
- Zaštitna smjesa plina je omjera 82:18 u korist CO₂ u odnosu na argon

Kada cijeli process zavarivanja završi, potrebno je pomoću stroja za predgrijavanje uključiti odžarivanje kako ne bi prilikom naglog hlađenja došlo do razvijanja prevelikih zaostalih naprezanja. Nakon što je odljevak zavaren, brodogradilište pomoću svojeg kontrolnog odjela zavar provjerava prvo vizualno, zatim penetrantima, te na kraju ultrazvukom. Slika 54 prikazuje unutarnje zavarivanje odljevka



Slika 54. Detalji unutarnjeg zavarivanja odljevka, Brodogradilište Uljanik, Pula, svibanj 2010.

Kada analiziramo pripreme spoja na navedenoj sekciji kopača, 55% ima pripremu spoja PVK, 10% zauzima RV, dodatnih 10% RK, dok 25% otpada na P XK što je prikazano u tablici 10.

Tablica 10. Postotak karakterističnih priprema spoja [5]

Pripreme spoja ⁶	u %
PVK	55%
RV	10%
RK	10%
P XK	25%

Debljine limovi konkretne sekcije variraju od 10 – 80 mm, i svi su limovi povećane čvrstoće oznake EH-32, osim odljevaka i HARDEX 450 limova od 80 mm koji imaju posebnu strukturu i zadovoljavaju dodatne uvjete koje je

brodovlasnik tražio kako bi brod mogao što više biti u službi bez potrebnih popravaka na glavi kopača. Za sve limove preko 30 mm potrebno je predgrijavanje, te posebne

⁶ Pripreme spoja objašnjene su u prilogu na kraju rada

elektrode i praškom punjene žice sa većim postotkom nikla čime se postiže bolja zavarljivost pri tako velikim debljinama. Analizirajući trake koje se ugrađuju u sekciju, a čije dimenzije variraju od 150*15 do 150*25 mm, dolazi se do podatka da trake čiji iznos u duljini zavara predstavlja 20% dosta utječu na tako veliki postotak PVK preipreme spoja na promatranoj sekciji.

Što se tiče postupaka zavarivanja koji se danas koriste u suvremenoj brodogradnji prikazanih tablicom 11., oko 20% zavarivanja vrši se REL postupkom, 5-10% predstavlja EPP, dok 70% zavarivanja vrši se MIG postupkom, sa posebnom žicom koja u sebi sadrži veću količinu nikla. Tendencija rasta MIG zavarivanja u tako velikom postotku naspram REL zavarivanja pokazuje tehnološku razvijenost samog brodogradilišta, te i sam cilj zavarivačkog odjela koji na svakom mogućem dijelu strukture pokušava REL zamijeniti efikasnijim MIG-om postupkom sa praškom punjenom žicom.

Tablica 11. Postotak uporabe karakterističnih postupaka zavarivanja [5]

Tehnike Zavarivanja	u %
MIG/MAG postupak (praškom punjena žica)	70%
REL postupak	20%
EPP postupak	5-10%

4. ZAŠTITA OD KOROZIJE SPECIFIČNIH SEKCIJA BRODA JARUŽARA

Brod kao izrazito složena cjelina, izložen je agresivnom djelovanju različitog korozijskog okoliša. Osim, naravno, morskoj vodi (koja je i sama vrlo agresivna), brod je izložen i mikroorganizmima, ultraljubičastom zračenju, niskim i povišenim temperaturama, agresivnim medijima koji se prevoze i sl., o čemu ovisi sustav zaštite koji će biti primijenjen tijekom gradnje broda. Na slici 55. Prikazan je zaštićeni trup broda jaružara.



Slika 55. Zaštićeni trup broda jaružara, Brodogradilište Uljanik, Pula, dan prije isporuke, svibanj 2010.

Korozija je nepoželjno trošenje materijala uslijed kemijskog djelovanja okoliša. Ona uzrokuje razaranja konstrukcija, postrojenja, gubitak vrijednih izvora, onečišćenje proizvoda, smanjenje djelotvornosti, te velike troškove održavanja. Posebno su znatne štete u brodogradnji odnosno štete koje se javljaju u eksploataciji najrazličitijih plovila. Zaštita od korozije takvih objekata i konstrukcija čini veliki dio cijene izrade. Kako je tehnologija zaštite premazima najzastupljenija i još uvijek najvažnija metoda zaštite od korozije u modernoj brodogradnji, neophodno je osvrnuti se i detaljnije opisati ovaj način zaštite od korozije koji se primjenjuje i na brodu jaružalu.

4.1. VRSTE ZAŠTITNIH PREMAZA PRIMJENJIVIH U BRODOGRADNJI

Alkidi se često nazivaju još i uljnim alkidima. Upotrebljavaju se za površinsku zaštitu nastambi iznutra i površinsku zaštitu brodske strojarnice.

Svojstva alkida su:

- dobra postojanost na atmosferske uvjete,
- dobro zadržavanje površinskog sjaja,
- dobro zadržavanje boje,
- relativno blago otapalo,
- slaba alkalna otpornost,
- slaba otpornost na vodu,
- kritično međupremazivanje.

Epoksi smole mogu otvrdnjavati pri sobnoj temperaturi dodavanjem otvrdnjivača (amidi, poliamidi ili izocijanati). Amidi su najsvestraniji otvrdnjivači koji daju dobru otpornost na vodu i olakšavaju nanošenje premaza. Zbog svojih prednosti epoksi premazi imaju najveću primjenu u brodogradnji. Jedini nedostatak je kredanje koje šteti kozmetičkom izgledu, ali nema nikakav utjecaj na zaštitnu vrijednost premaza. Kako bi se kredanje izbjeglo, kao završni premaz se nanosi neki drugi premaz, npr. poliuretan.

Svojstva epoksi premaza su:

- dobra kemijska otpornost,
- adhezija,
- mehanička svojstva (žilavost, otpornost na habanje i abraziju),
- dobra otpornost na različite temperature.

Poliuretanske premaze karakterizira visokokvalitetna zaštita i estetika. Imaju bolju otpornost na atmosferske uvjete, a otvrdnjavaju pri nižim temperaturama od epoksida. Zbog toga se poliuretan najviše koristi za vanjske završne premaze dijelova broda.

Svojstva poliuretanskih premaza su:

- odlično zadržavanje površinskog sjaja kao i zadržavanje nijanse boje,
- odlična otpornost na atmosferilije uz izuzetnu tvrdoću,
- izuzetno dobra mehanička svojstva i dobra kemijska otpornost,
- slabo temperaturno otvrdnjavanje,
- zahtjevnost kod aplikacije, međupremazivanja,
- relativno visoka cijena.

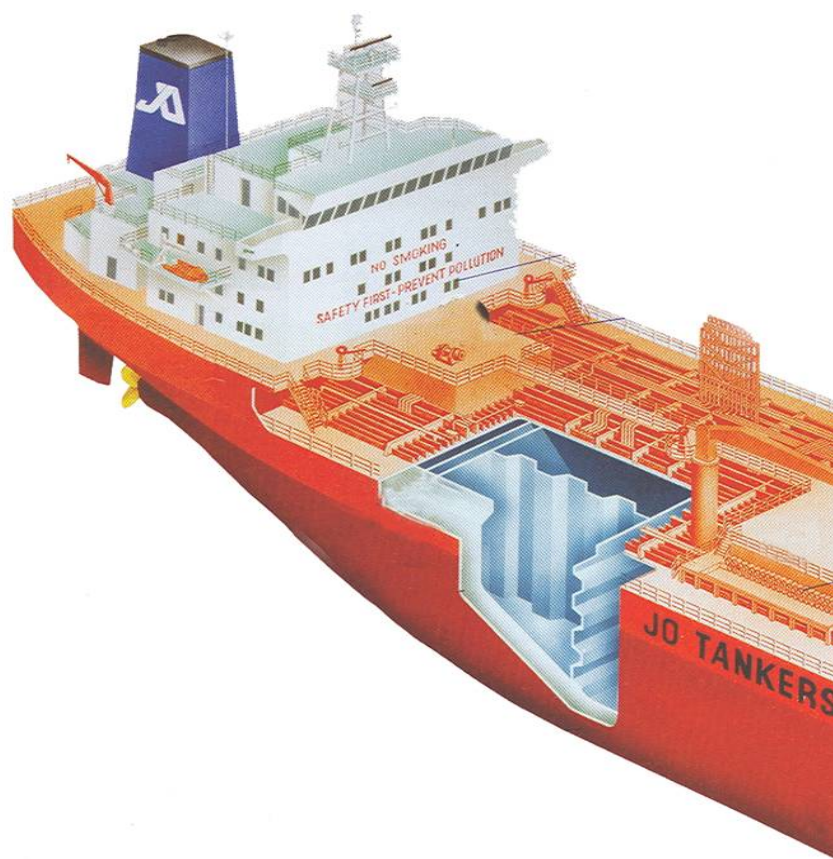
Epoksi katran kamenog ugljena nastaje miješanjem katrana kamenog ugljena s epoksi smolom. Dodatak katrana kamenog ugljena smanjuje troškove i poboljšava otpornost na vodu. Karakterizira ga visoka korozijska otpornost, ali danas se sve manje koristi zbog štetnog djelovanja katrana na ljudsko zdravlje. Koristi se još samo za zaštitu podvodnog dijela broda i u balastnim spremnicima ali vrlo rijetko.

Cinksilikati su boje koje stvaraju film kemijskim otvrdnjavanjem uz prisustvo vlage iz zraka. Najčešće se koristi kao radionička zaštita (shopprimer), jer podnosi visoke temperature zavarivanja i imaju odlična antikorozivna svojstva.

Svojstva cinksilikata su:

- izuzetna otpornost na atmosferilije,
- otpornost na organska otapala,
- izuzetna tvrdoća,
- temperaturna otpornost do + 400°C,
- visoki su zahtjevi za pripremu površine,
- visoki zahtjevi kod nanošenja premaza odnosno međupremazivanja,
- neotporni su na kiseline i lužine (postojani su za medije s pH od 6 do 9).

Slikom 56 prikazan je presjek trupa broda dok su tablicom 12 prikazane osnovne karakteristike premaza za svaki dio broda



Slika 56. Trup broda koji detaljno prikazuje sve dijelove broda na koji se nanose premazi [5]

Tablica 12. Osnovne karakteristike premaza za svaki dio broda

	Dio broda	Sustav premaza	Premaz	Broj slojeva	Ukupna debljina suhog filma
1	Podvodni dio broda: - dno broda - usisi mora	Epoxy	Epoxy AC boja	2	250
			Međupremaz	1	50
			AF boja	2	200
1	Podvodni dio broda: - bokovi	Epoxy	Epoxy AC boja	2	250
			Međupremaz	1	50
			AF boja	2	300
2	Nadvodni dio broda: - paluba, nadgrađe, dimnjaci	Epoxy	Epoxy AC boja	2	200
			Poliuretan	1	50
3	Nadgrađe iznutra	Alkid	Alkid primer	1	70
			Alkid finish	1	40
4	Brodsko strojarnica	Alkid	Alkid primer	1	70
			Alkid finish	1	40
5	Teretni prostor	Epoxy	Epoxy AC boja	2	250
6	Spremnici tereta	Epoxy	Epoxy boja	3	240 - 300
		Fenol - Epoxy	FE boja	3	300
		Cinksilikati	Cinksilikati boja	1	75 -100
7	Spremnici pitke vode	Epoxy	Epoxy boja	3	300
8	Spremnici napojne vode	Epoxy	Epoxy boja	2	250
9	Neporopusne pregrade	Epoxy	Epoxy boja	1	125 - 150

4.2. PRIPREMA METALNE POVRŠINE

Priprema površine je od vitalne važnosti za optimalan vijek trajanja premaza, jer što je podloga kvalitetnije pripremljena, to je vijek trajanja premaza duži.

Za postizanje dobre zaštite nužna je dobra predobrada metalne površine prije nanošenja zaštitne prevlake. Ona se sastoji u uklanjanju hrđe, okujine, vlage, prašine i svega ostalog što bi moglo spriječiti dobro prianjanje prevlake na metalnu površinu, odnosno proizvesti defekte u kontinuitetu filma.

Specifičnost pripreme metalne površine kod broda jaružara je što se svi limovi i profili moraju provući kroz liniju za čišćenje i konzerviranje, zatim očistiti do stupnja Sa 2.5 ili 3, te nakon toga zaštititi radioničkim premazom debljine suhog filma 25 μm .

Primjenjuju se slijedeće metode čišćenja površine:

- **Mehaničko čišćenje brušenjem**, kao i čekićarenjem su metode koje se obično koriste za popravke oštećenih površina ili u zaštiti manjih površina.
- **Mlazom abraziva**. Obično se koristi kremenij pijesak, zrnca elektrokorunda, čelične sačme, sječene hladno vučene čelične žice, loma tvrdog lijeva, staklenih perli i sl. Mlaz se dobiva obično komprimiranim zrakom, a pjeskarenje se izvodi i mlazom vodene emulzije. U ocjenjivanju stanja površine koristi se vizualni standard ISO 8503. Stupanj površinske hrapavosti ovisi o zahtjevima prevlake. Ovaj je postupak visokoproduktivan.
- **Čišćenje plamenom**. Metoda se koristi uglavnom za popravke oštećenja. Radi se u kombinaciji s mehaničkim čišćenjem (nakon spaljivanja nečistoća se uklanja četkom ili nekim drugim postupkom mehaničkog čišćenja). Daje toplu i suhu površinu podesnu za nanošenje prevlaka.
- **Kemijska predobrada**. Obično se izvodi u industrijskom pogonu, uronjavanjem u inhibiranu otopinu solne ili sumporne kiseline. Fosfatiranje obično slijedi ovaj proces. Metoda se koristi u ograničenom opsegu.

Priprema površine se sastoji od:

- primarnog,
- i sekundarnog postupka.

4.2.1. PRIMARNA ZAŠTITA POVRŠINE

Primarna zaštita površine je priprema limova i profila (ili dijelova prostora, konstrukcija...) koji prije nisu bili ni na koji način antikorozivno zaštićeni. Uglavnom se provodi u automatskim postrojenjima. Slika 57. prikazuje limove i profile na skladištu čelika.



Slika 57. Limovi i profili na skladištu prije same predobrade, Brodogradilište Uljank, Pula

Izgled površine čeličnih limova pristiglih u brodogradilište definira se standardom ISO 8501-1 u četiri kategorije, a kategorije A, B C i D prikazane su slikom 58:

- **A** – površina je kompletno pokrivena sa okujinom i korozijom u malim količinama,
- **B** – površina je počela korodirati, okujina se počela odvajati,
- **C** – okujina se odvojila, površina je prekrivena korozijom, vidljiva je rupičasta korozija u malim količinama,
- **D** – okujina se odvojila, površina je prekrivena korozijom, vidljiva je rupičasta korozija po cijeloj površini.

A



B



C



D



Slika 58. Izgled limova A, B, C i D kategorije prema standardu ISO 8501-1, Brodogradilište Uljanik, Pula

U brodogradilištima, na novogradnjama se smiju koristiti samo limovi kvalitete A i B. Slikom 59. Prikazana je sačmarilica brodogradilišta u eksploataciji.



Slika 59. Sačmarilica u eksploataciji, Brodogradilište Uljanik, Pula

Odmah nakon primarne pripreme površine, na čelični lim se kao što je prikazano slikom 60. Aplicira radionički temeljni premaz ili shopprimer, koji treba privremeno štititi čelični lim od korozije tijekom gradnje broda. Kao abrazivno sredstvo se kod primarne pripreme uglavnom koristi kuglasta čelična sačma, pri čemu se dobije oblik površine koja nema oštih vrhova.



Slika 60. Lim zaštićen "shopprimerom", Brodogradilište Uljanik, Pula

4.3. SUSTAVI ZAŠTITE PREMAZIMA – NAMJENA POJEDINIH PREVLAKA KOD BRODA JARUŽARA

Svaka prevlaka mora štiti podlogu, ali glavna svrha prevlačenja može biti različita ovisno o namjeni prevlake.

Sprječavanje korozije postiže se pomoću učinka barijere, učinka inhibitora, te galvanskog učinka.

Učinak barijere se postiže primjenom debelih premaza (od 250 do 500 μm) vrlo niske propusnosti na vodu, čime se stvara barijera. Dodavanjem pigmenata u listićima, npr. Aluminijska u listićima, može se postići učinak barijere i pri manjim debljinama zaštitnog filma. Pigmenti u listićima orijentirani su paralelno s površinom čelika, tako da voda ima duži i kompliciraniji prolaz oko pigmenata do površine koja se štiti. Zbog svojih svojstava nepropusnosti, učinak barijere je prvi i često jedini izbor zaštite premazima za čelik koji je neprekidno uronjen.

Učinak inhibitora postiže se uporabom temeljnih boja koje sadrže inhibitore što usporavaju ili sprječavaju proces korozije. Zbog toga što su topivi u vodi, nisu pogodni za zaštitu površina koje su duže vrijeme uronjene. Takvo izlaganje bi rezultiralo pojavom mjehurića i ranom uništavanju zaštitnog premaza.

Galvanski učinak može se postići bojama koje sadrže velike količine metalnog cinka. U ovom slučaju cink je neplemenitiji materijal i on će biti izložen koroziji, dok će čelik biti zaštićen. Kako su produkti korozije cinka malo topivi u vodi, prevlake s cinkovim prahom nisu pogodne za površine koje su neprestano uronjene u vodi, ali cinkov silikat se zbog svoje dobre otpornosti na otapala primjenjuje kao zaštita u spremnicima za otapala.

Premaze se prema namjeni može podijeliti na:

- Temeljne boje ili „primere“,
- antikorozijske boje,
- premaze za zaštitu od obraštanja („anti – fouling“).

4.3.1. RADIONIČKI TEMELJNI PREMAZI – "SHOPPRIMERI"

Shopprimeri su specijalna brzosušeća premazna sredstva prikazana tablicom 13. koja služe za privremenu zaštitu čeličnih limova i profila u periodu gradnje broda, tj. do faze nanošenja specificiranog sustava premaza.

Nanosu se u razmjerno malim debljinama filma, obično u debljini suhog filma (D.S.F.) od 10 do 25 µm. Kod broda jaružala, koristi se hempelov cink – epoksi shopprimer tvorničkog naziva Hempadur 1589 ZS, a debljina suhog filma postavljena je na najvišu granicu, te iznosi 25 µm. Veća debljina filma od navedene može imati negativan učinak na brzinu - kvalitetu rezanja i zavarivanja te uzrokovati slabu koheziju, dok nedovoljna debljina premaza neće zaštititi materijal od korozije u predmontažnoj fazi.

Posebni zahtjevi za ovakve temeljne premaze su:

- adekvatna zaštita od korozije tijekom gradnje broda,
- trebaju biti primjenjivi u raznim automatskim postrojenjima,
- vrijeme sušenja premaza mora biti vrlo kratko,
- ne smiju imati veliki utjecaj na brzinu zavarivanja ili rezanja,
- ne smiju stvarati štetne ili otrovne pare za vrijeme procesa zavarivanja ili plamenog rezanja,
- ne smije negativno utjecati na svojstva zavarenog spoja,
- moraju izdržati grubo rukovanje u pogonskim i transportnim uvjetima,
- moraju biti otporni na vodu,
- moraju imati sposobnost tvorbe dobre podloge za sve vrste premaznih sustava (kompatibilnost s naknadnim sustavima premaza).

Uobičajena je podjela shopprimera na slijedeće najvažnije skupine:

- **Shopprimeri na bazi P.V.B. (polivinil butiral)** imaju nisku otpornost na lužine i sklonost stvaranju mjehura na uronjenim površinama, sa i bez sistema katodne zaštite narintim naponom te pruža ograničenu trajnost premaza.
- **Cink - epoksi shopprimeri** pružaju zaštitu čeliku svojim žrtvovanim učinkom, a veliku pažnju treba posvetiti otklanjanju cinkovih spojeva prije nego se nanese specificirani zaštitni premaz. Cinkovi spojevi su teško topivi u vodi i teško se

odstranjuju sa površine, što se obavezno treba učiniti. Zbog ovih nepoželjnih svojstava cinkovih oksida više se koriste željezno - oksidni shopprimeri.

- **Epoksi željezni - oksid shopprimeri** pružaju relativno kraću zaštitu od cink - epoksi shopprimera. Prednost mu je u tome što se na površini ne stvaraju soli koje štetno djeluju na premazni sistem i koje je potrebno dodatno čistiti. Jeftiniji je od cink - epoksi shopprimera i razvija manje štetnih plinova za vrijeme rezanja i zavarivanja, te je i brzina rezanja i zavarivanja dijelova zaštićenih ovom vrstom primera znatno veća.
- **Cinksilikatni shopprimer** je najtrajniji i ima najbolja antikorozivna svojstva. Premazno sredstvo je na bazi etilsilikatnog veziva, otapala, a kao pigment se koristi cink. Nedostatak im je što se s vremenom na površini stvaraju cinkovi oksidi, što zahtjeva visok stupanj čišćenja površina prije završnog premaza.

Tablica 13. Usporedni prikaz svojstava „shopprimera“ [5]

SVOJSTVA	TIP SHOPPRIMERA			
	CINK - EPOKSI	CINK - SILIKAT	ŽELJ. - OKSID.	PVB
IZVEDBA	dvokomponentno	dvokomponentno	dvokomponentno	jednokomponentno
OTAPALO	esteri, ketoni	voda	esteri, ketoni	alkohol
RAZRIJEĐIVAČ	aromati	alkohol	aromati	ketoni
D.S.F. (µm)	12 - 25	12 - 25	20 – 25	15 - 25
ANTI-KOROZIVNA SVOJSTVA	vrlo dobra	odlična	dobra	zadovoljavajuća
MEHANIČKA ČVRSTOĆA	dobra	odlična	vrlo dobra	dobra
UTJECAJ NA ZDRAVLJE	pojava cinkove groznice	pojava cinkove groznice	neznatan	neznatan
MEĐUPREMAZNI INTERVAL	kritičan	kritičan	ponekad kritičan	dobar
OTPORNOST NA KATODNU ZAŠT.	dobra	dobra	dobra	ograničena

U cilju optimalnih karakteristika nanesenog sloja radioničkog premaza svemu valja pridodati još i stupanj hrapavosti površine. Iskazano kroz veličinu Rz, koja u pravilu nebi trebala biti viša od 70 μm , dok konfiguracija površine ne smije imati oštre vrhove koji bi mogli probiti mokri premaz shopprimeru. Razlog za takvu površinu jest taj što će se s minimumom dobro raspoređenog metala, metalnog oksida ili soli metala koji se kao pigment nalaze u shopprimeru, postići maksimalnu zaštitu čiste površine čelika (lima/profila). Slikom 61. prikazani su spremnici shopprimeru za automatizirano nanošenje, čime je dokazana bolja iskoristivost boje, te bolja ekonomičnost od tradicionalnih kanti.



Slika 61. 1000 litreni spremnici “shopprimeru”, Brodogradilište Uljanik, Pula

4.4. SEKUNDARNA ZAŠTITA POVRŠINE

Sekundarna zaštita površine je priprema oštećenih ili propalih dijelova površine, koji su ranije bili primarno zaštićeni, shopprimerom. Zbog te razlike, različiti su i primjenjivi standardi koji se odnose na primarnu i sekundarnu pripremu površine. Osim sekundarne pripreme površine za bojenje, ranije opisane, često se prije te faze vrši i tzv. "steel work", na zavarima, oštrim bridovima što je prikazano slikom 62. To nije priprema površine za boju, već priprema čelika. Ovaj je postupak izuzetno zahtjevan dodatni rad na čeliku, koji ima zadatak popraviti i doraditi oštećena ili loša



područja na traženi standard, prije sekundarne pripreme površine za bojenje. Steel work obuhvaća popravke svih nedostataka na čeliku, a propisan je tehničkim opisom broda .

Slika 62. Obrada i čišćenje montažnog spoja "steel work", Brodogradilište Uljanik, Pula

Sekundarna zaštita površine vrši se:

- abrazivnim čišćenjem (sačmom, pijeskom, gritom, korundom),
- mehaničkim čišćenjem (čišćenje mehaničkim alatima - brusilicama, luftricama, pneumatskim pištoljima).

Za različite vrste sekundarne pripreme površine, različiti su i standardi pripreme. Abrazivno čišćenje opisuje se standardom Sa 1-3, a mehaničko čišćenje standardom St 1-3, te su oba ISO standardi.

Abrazivno čišćenje primjenjuje se uglavnom kod rada na brodskim sekcijama, u tankovima tereta i tankovima pitke vode, te u doku. Za sve ostale pozicije i radove na brodu, uglavnom se primjenjuje mehanička priprema površine.

Osim ISO standarda (International standard) za pripremu površine u brodogradilištima se koriste još i:

- SPSS - Japanski standard (Japanese Standard) koji spada u standarde sekundarne pripreme površine, prethodno zaštićene radioničkim temeljnim premazom (sa stupnjem pripreme Pt 1-3),
- NACE - (National Association of Corrosion Engineers) specifikacija pripreme prema nacionalnoj asocijaciji inženjera za zaštitu od korozije,
- SIS 05 59 00 - (Swedish Pictorial Standards) treće izdanje Švedske norme, prijevod međunarodne norme ISO 8501-1,
- SSPC - (Steel Structures Painting Council, SAD) specifikacija pripreme površine prema Američkom vijeću bojanja čeličnih konstrukcija,
- BS 4232 - (British Standards Institution) specifikacija za pripremu površine čelika mlazom, prema Britanskom institutu standarda.

I najbolji sistemi premaza aplicirani na nedovoljno očišćenu površinu vrlo brzo pokazuju defekte, te tako, kvalitetno zaštićenu površinu definira jednakovrijedno priprema površine kao i kvalitetan izbor sistema zaštite.

4.4.1. NANOŠENJE – APLIKACIJA PREMAZA (BOJENJE)

Dobar rezultat procesa bojenja (nanošenje premaza) ovisi o pomnom planiranju svih aktivnosti, odgovarajućim radnim uvjetima, povoljnim mikroklimatskim uvjetima, ispravnom odabiru metode primjene te vještine radnika.

Dokumentacijom bojenja su razrađeni svi procesi pripreme i zaštite površine, sustavima premaza s točno specificiranim tipovima premaza, pri čemu treba uzeti u obzir vrijeme potrebno za montažu i demontažu skela, sušenje, otvrdnjavanje i za međupremazne intervale te mikroklimatske uvjete, temperaturu podloge, rosište, okolnu temperaturu, relativnu vlažnost i temperaturu boje.

U radnim uvjetima u zatvorenom ili ograničenom prostoru potrebno je predvidjeti jaku ventilaciju zbog opće sigurnosti, a isto tako i zbog sušenja premaza. Sve površine na

koje se nanosi premaz moraju biti pristupačne i odgovarajuće osvijetljene, čiji bi intenzitet trebao biti od 500 – 1000 luxa.

Temperatura podloge je bitna, jer da bi spriječili kondenziranje koje je uzrok naknadnom odvajanju boje, temperatura površine mora biti minimalno 3°C iznad točke rosišta. Odgovarajuća **temperatura okoliša** za nanošenje premaza ovisi o tome radi li se u zatvorenom ili otvorenom prostoru. U spremnicima tereta i pitke vode, boje i emulzije koje otvrdnjavaju kemijskim putem ne smiju se nanositi pri temperaturama nižim od 10°C. Oplata broda i vanjske pozicije mogu se bojati i pri temperaturama nižim od 10°C. Tada se koristi otvrdnjivač za zimske uvjete koji omogućuje kvalitetno nanošenje boja i pri temperaturama nižim od -5°C. Nadalje, premaz se nanosi kod relativne vlažnosti manje od 85%, jer previsoka relativna vlažnost može uzrokovati rošenje površina.

Temperatura boje je također važna, jer se kod neke temperature dvokomponentne boje neće stvrdnuti, zato što kemijska reakcija između veziva i otvrdnjivača gotovo prestaje. Također, kod opadanja temperature, viskoznost boje raste, što rezultira slabom raspršljivošću boje, tj. boja se teško nanosi.

4.4.2. NAČINI NANOŠENJA PREMAZA

U brodogradnji se najviše koriste postupci nanošenja premaza četkom (kistom), valjkom i štrcanjem (zrakom ili bezračno) pri čemu izbor postupka utječe na brzinu i kvalitetu izvođenja radova.

Bojenje četkom (kistom) najčešće se primjenjuje za postupak flekanja (tzv. Stripe coating) tj. primjenjuje se kod zaštite slabo dostupnih područja, područja na kojima se ne mogu postići zadovoljavajući rezultati (grube i rupičaste površine) i na malim dijelovima. Sa ekonomskog stajališta ova je metoda vrlo spora a time i skupa ali i dalje nezamjenjiva. Općenito se



Slika 63. Nanošenje boje kistom, Brodogradilište Uljanik, Pula

smatra da se kod grubih i rupičastih površina, ispravnom primjenom četke omogućava bolja penetracija boje od bilo koje druge metode nanošenja premaza. Slika 63. prikazuje nanošenje boje kistom

Bojenje valjkom je metoda koja je posebno povoljna za premazivanje većih površina koje je iz nekog razloga nemoguće špricati. Budući da su se specifične sekcije jaružara sastavljale u posebno napravljenoj hali koja se nalazila na navozu, bojenje valjkom bila je jedina opcija pristupanju određenim djelovima kopača. Koristi



se za popravke na završnom premazu i ne preporuča se za aplikaciju primera. Ova je metoda otprilike do 5 puta brža od metode bojenja četkom. Nedostatak je taj što dobivamo tanki neravni sloj, obično sa prazninama i malim rupicama, zbog čega je penetracija vrlo slaba a i teško je postići deblje

Slika 64. Nanošenje vezivne boje Hempasil nexus 27302, Brodogradilište Uljanik, Pula

premaze. U usporedbi s kistom, gubitak boje je značajno manji pa je u modernoj brodogradnji ova metoda prikazana slikom 64. i dalje optimalna.

Nanošenje premaza štrcanjem zasniva se na raspršivanju boje u obliku sitnih kapljica koje se talože na radni dio. Osnovni princip ove operacije je da komprimirani zrak dovodi boju iz spremnika boje do šprice - "pištolja". Pištolji mogu biti opremljeni različitim dimenzijama sapnica koju određuje vrsta boje (viskoznost boje i sama vrsta boje) i zahtjevi u odnosu na površinu špricanja (širina štrcanja boje - kut pod kojim boja izlazi iz pištolja). Nanošenje premaza štrcanjem izvodi se mnogo brže od

bojenja četkom ili valjkom, no s druge strane imamo veće gubitke boje što naravno ovisi o niz faktora između ostalog i sposobnosti samog špricera.

U brodograđevnoj industriji je najzastupljenije **bezračno štrcanje** zbog svojih prednosti a i tehnički je najefikasnije. Osnovni princip je da komprimirani zrak pokreće cilindar ili tlačni vijak u bezračnoj pumpi koji stvara visoki tlak (75 - 300 bara). Većinu tih pumpi pokreće komprimirani zrak ali postoje i drugačije pokretane pumpe kao npr. elektromehaničke, elektrohidraulične itd. Prednost nad zračnim pumpama je što nisu potrebne dvije dovodne cijevi (boja - zrak) već je dovoljna jedna. Kako se boja ne miješa sa zrakom postoji mala mogućnost kontaminacije boje raznim uljima ili vodom, dok kod zračnih štrcaljki uvijek postoji taj rizik. Kapacitet im je do 10 puta veći od običnih zračnih. Bezračno štrcanje je metoda koja je najzastupljenija u brodogradnji jer omogućuje brzu primjenu boje na širokim površinama (vrlo visok učinak i mogućnost nanošenja debljih slojeva, dobra penetracija - što je posebno važno pri nanošenju temeljnog premaza). Koristi se za aplikaciju punog premaza.

Neke od prednosti bezračne šprice prikazane slikom 65.:

- visoka produktivnost,
- mogućnost nanošenja debljih slojeva,
- mogućnost aplikacije premaza visokog viskoziteta,
- mogućnost aplikacije premaza visokog sadržaja suhe tvari,
- manje spreja u odnosu na zračne šprice,
- jednolika debljina nanesenog filma,
- dobra penetracija.



Slika 65. Bojenje završnim premazom glavne palube broda jaružara, detalj iz Brodogradilišta Uljanik, Pula, svibanj 2010.

Popravak („touch up“) – provodi se kada se prilikom montaže premaz ošteti. Tada je potrebno očistiti površinu, zaštititi okolni premaz, te uništeni dio ponovno premazati. Uništeni premaz na unutarnjem dijelu kopača prikazan je na slici 66.



Slika 66. Uništeni premaz na kopaču, detalj iz Brodogradilišta Uljanik, Pula

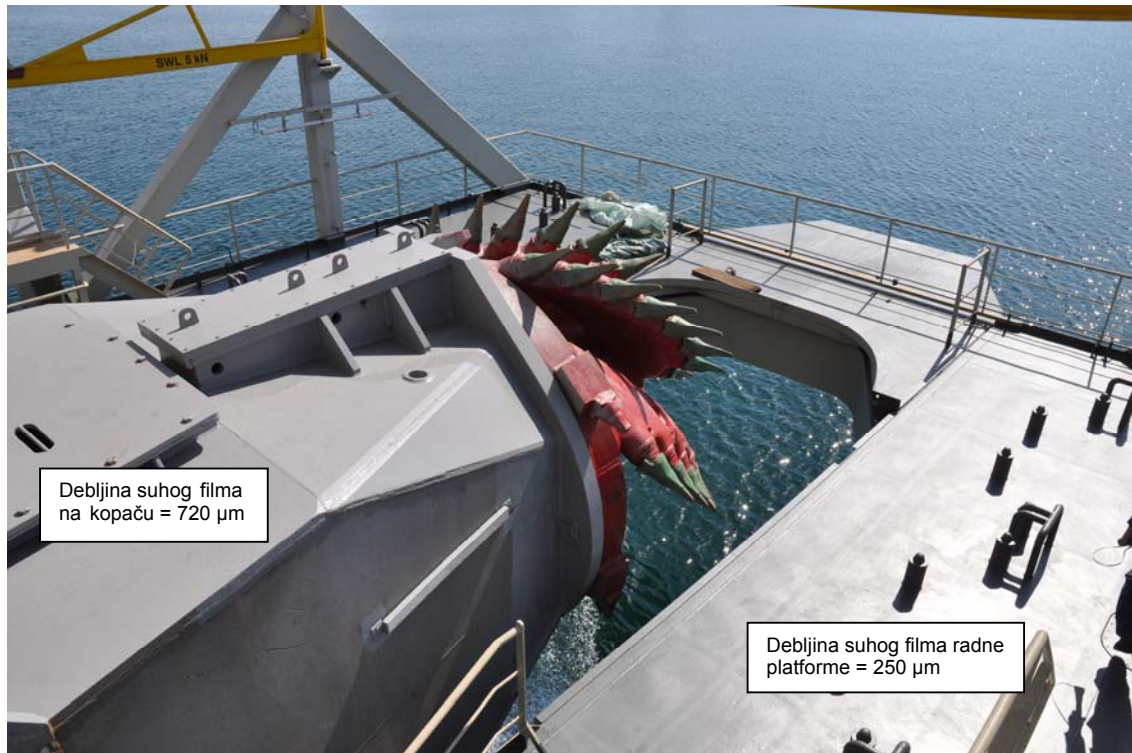
4.5. TEHNOLOGIJA ZAŠTITE OD OBRAŠTANJA (ANTIVEGETATIVNI PREMAZI) NA BRODU JARUŽARU

Podvodni dio broda se, pored antikorozijskih premaza, štiti i premazima za zaštitu od obraštanja biljnim i životinjskim organizmima, koji su uzrok neprikladnoj hrapavosti broskog trupa. U brodogradnji se takvi premazi za zaštitu od obraštanja nazivaju **antifouling - premazi**. Premazi u sebi sadrže biocide (otrove) koji smetaju biološkim procesima obraštajućih organizama. Klasificiramo ih prema načinu na koji se biocid izlučuje sa površine premaza.

To su:

- premazi sa topljivom matricom (nepolirajući),
- premazi sa netopljivom matricom (nepolirajući),
- samopolirajući premazi.

Biocidni premazi nanose se u najmanje dva premaza koji je svaki debljine 150 μm . Ta dva premaza koja se nanesu na dno broda u debljini od 300 μm eksploatacijom broda troše se, te su dovoljni za otprilike 3 godine dok brod ne ode u dok na novo nanošenje premaza. Ono što je karakteristično kod broda jaružala je specifičan

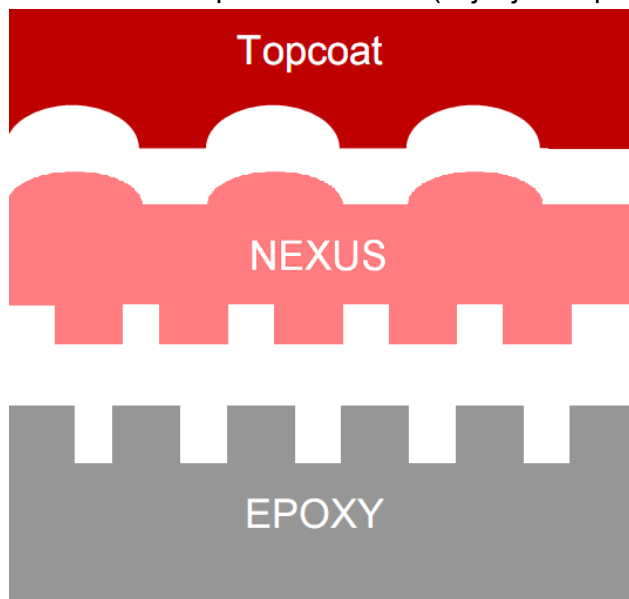


Slika 67. Kopač zaštićen silikonskim premazom, Brodogradilište Uljanik, Pula, svibanj 2010

silikonski premaz kojim je premazan samo kopač broda. Silikonski premaz omogućuje brodovlasniku lako održavanje i veću trajnost, te da premazani dio konstrukcije više tijekom eksploatacije broda ne bude premazan bojom. Kopač premazan silikonskim premazom prikazan je na slici 67.

U trenutku kada je brodovlasnik tražio silikonski premaz brodogradilište je bilo potpuno neupućeno u tehnologiju zaštite ove vrste premaza, te je od dva najčešća dobavljača (Hempela i Sige) zatražilo da im ponudi boju tih karakteristika. Budući da su do tada surađivali sa tvrtkom Hempel d.d. iz Umaga, odlučili su se na hempelov silikonski premaz. Ovaj je premaz po mnogočemu specifičan, počevši od pripreme površine pa sve do završnog premaza.

Prije nanošenja silikonskog antivegetativnog premaza trgovačkog naziva Hempasil 77500 potrebno je napraviti detaljnu pripremu površine. Nakon što su se u hali nanijeli dva antikorozivna sloja boje, kopač se premazuje Hempadurum 15570 koji služi kao međupremaz koji je prilikom nanošenja silikonskog premaza potrebno ponovno aktivirati. Treba naglasiti da se silikonski premaz sastoji od dva premaza od kojih prvi Hempasil nexus 27302 služi kao vezivno sredstvo između Hempadura 15570 i Hempasila 77500 (koji je zapravo pravi silikonski premaz). Ovaj



antivegetativni premaz kao novitet ima svoje pozitivne i negativne strane, pa tako vrijedi spomenuti da je to premaz koji se sastoji od tri komponente, te da su intervali bojenja između nexus-a 27302 i Hempasila 77500 toliko mali da je potrebno odmah nakon prolaska nexusom u roku od 2 sata cijelu površinu zaštititi i hempasilom. Slika 68 prikazuje redoslijed premaza.

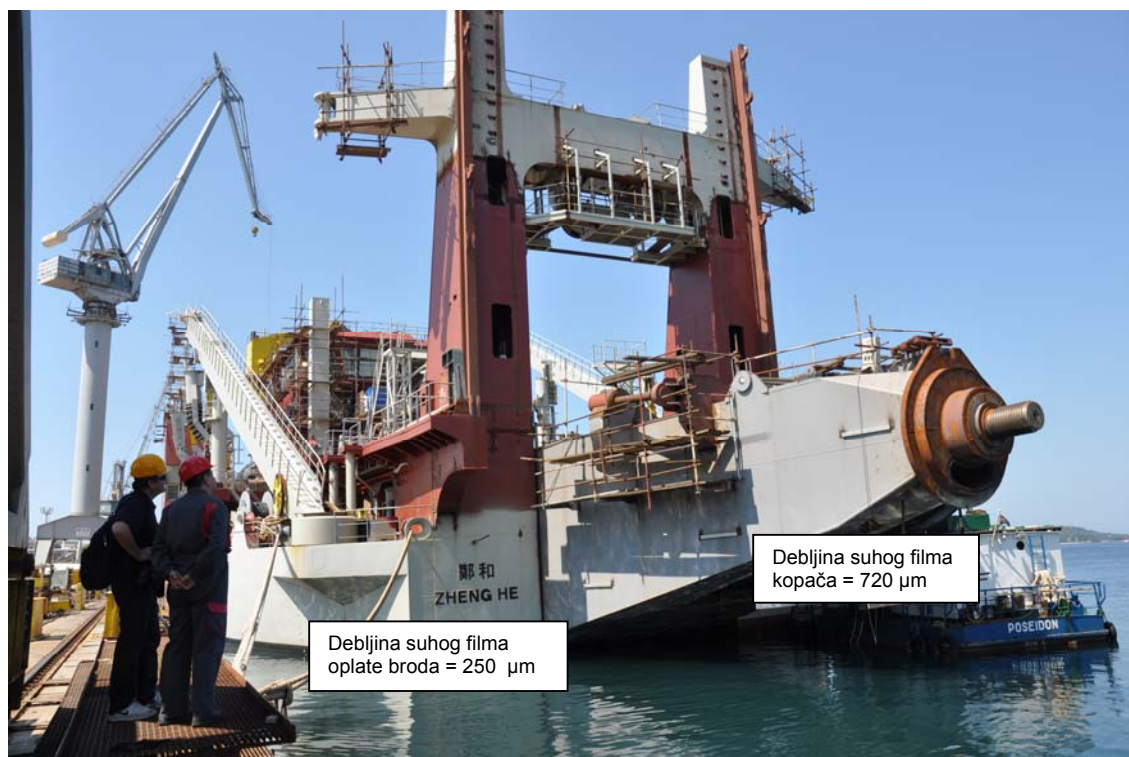
Slika 68. Shematski prikaz redoslijeda nanošenja premaza i mehanizam povezivanja [10]

Ovaj je premaz gotovo nemoguće popravljati jer nakon dodatnih popravaka novi silikonski premaz više ne prijanja, te otpada vrlo brzo, što je veliki problem budući da se prilikom porinuća kopača u brod dešava niz oštećenja koje treba sanirati prije

primopredaje broda. Silikonski sloj, trebao bi omogućiti njegovoj posadi lako čišćenje kopača na licu mjesta.

Budući da je ovaj premaz namjenjen kako bi brod imao što manje obraštanje, te samim time uštedu goriva i manji broj odlazaka u dok, još uvijek nije jasno zašto je brodovlasnik htio da se samo kopač broda premaže silikonskim premazom. Uzimajući u obzir da će brod prilikom drobljenja morskog dna stajati gotovo na istom mjestu, te da će se morski organizmi „hvatati“ za kopač istim intenzitetom kao i za trup broda, bilo je za očekivati da će brodovlasnik zahtjevati cijeli podvodni dio broda u tom specifičnom premazu.

Ovaj je premaz skuplji 2-3 puta od klasičnog antivegetativnog premaza, te je samim time isplativiji uzimajući u obzir da nakon njegove aplikacije brod ima zaštitu tijekom cijelog životnog vijeka, dok je prilikom nanošenja običnog antivegetativnog premaza potrebno svake 3 godine biti u doku zbog nanošenja novog premaza. Slikom 69. Prikazan je potpuno obojan brod jaružar.



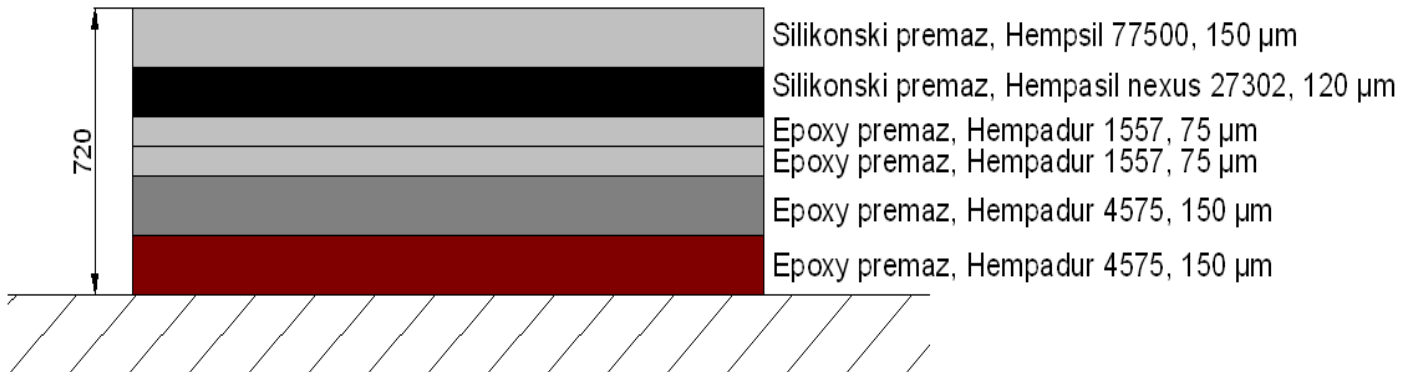
Slika 69. Obojan brod jaružar, Brodogradilište Uljanik, Pula

Temeljni parametri pomoću kojih se dolazi do optimalne debljine antivegetativnog premaza:

- odnos vremena u službi i u luci,
- period između dva dokiranja,
- područje plovidbe,
- brzina broda,

- kompatibilnost antivegativnog premaza sa antikorozijskim premazom,
- adhezija antivegativnog premaza na antikorozijski premaz,
- stupanj glatkoće/hrapavost substrata,
- pravilna aplikacije premaza,
- namjena broda.

Slika 70 prikazuje sve vrste i slojeve boje, te debljine suhog filma koje se nanose na kopač broda.



Slika 70. Slojevi boje, te debljina suhog filma boje koji se nanosi na kopač broda

4.6. NADZOR I KONTROLA PRI BOJANJU “KOPAČA” BRODA JARUŽARA

Prije svakog bojanja, potrebno je izvršiti pripremu površine na koju ćemo nanositi premaz. To znači korištenje St 1-3 ili Sa 1-3 (zavisi od tehnoloških i eksploatacijskih zahtjeva), nakon čega u provjeru kontrole dolaze predstavnik brodogradilišta, predstavnik proizvođača boje, te predstavnik brodovlasnika. Na licu mjesta vrši se kontrola pripremljene površine, ali i stanje vremenskih uvijeta, tek nakon što sva tri organa odobre nanošenje boje, proces bojanja može započeti. Što se tiče vremenskih uvijeta, potrebno je obratiti pozornost na brzinu vjetra, vlagu, te temperature koji uvelike utječu na kvalitetu procesa bojanja. Vjetar zbog svoje brzine može boju odnositi prilikom špricanja što za posljedicu daje neravnomjerni film boje na obojanom mjestu, dok vlaga i temperatura pak onemogućuju brzo i kvalitetno sušenje, te prijanjanje boje za strukturu. Nakon što je konstrukcija premazana, potrebno je vizualno, te nakon toga mjernim instrumentom provjeriti debljinu boje koja je nanosena na čelik, te provjeriti je li u granicama prihvatljivog.

Za svaki postupak kontrole, postoji adekvatan mjerni instrument, tako za vlagu imamo vlagomjer, za temperaturu termometar, dok za debljinu sloja boje imamo mikrotest. Na slici 71 prikazan je mikrotest prositector 6000. **Mikrotest** je



digitalni instrument za mjerenje debljine suhog filma boje. Svakodnevno kad se koristi mikrotest, potrebno ga je baždariti kako ne bi pokazivao krive rezultate. Samo baždarenje mikrotesta provodi se u nekoliko faza pomoću metalne i plastične pločice. Prvo se koristi metalna pločica na kojoj rezultat mora biti nula, ako to nije 0, mjerni instrument se umjerava na nulu. Odmah nakon toga, na metalnu pločicu dodaje se plastična pločica koja je najbliža vrijednostima koje ćemo tog dana

Slika 71. Mikrotest Prositector 6000, Brodogradilište Uljanik, Pula

očitatavi. Mjerenje se vrši ponovno, te se na osnovu zadanih parametara debljine plastične pločice ustanovi da li je mikrotest spreman za rad. Nakon samog baždarenja, instrument je spreman za rad, te je njime moguće mjeriti debljinu mikrofilma.

Vlagomjer je instrument kojim mjerimo vlagu u zraku. Razlikuju se digitalni i



mehanički instrumenti za mjerenje vlage. I njega, kao i svaki instrument treba provjeriti prije upotrebe. On se sastoji od dva termometra, te je svaki od njih potrebno prokontrolirati prije upotrebe instrumenta, te obratiti pažnju na vlažnost pamučnog izdanka mokrog termometra i po potrebi ga navlažiti. Kontrola se može vršiti i usporedbom rezultata dobivenih mjerenjem sa ostalim sudionicima kontrole u promatranom prostoru, te se od od tih vlagomjera koriste oni vlagomjeri koji su dobili isti rezultat. Na slici 72. Prikazan je digitalni vlagomjer i termometar

Slika 72. Digitalni vlagomjer i termometar, Brodogradilište Uljanik, Pula

Termometar je instrument kojim mjerimo temperature zraka i temperature lima. Pogotovo kad je u pitanju silikonski premaz, proizvođači za njegovo nanošenje zahtjevaju idealne uvijete, pa tako i temperature mora biti u granicama, dok je idealna navedena 20°C što je naravno nemoguće postići na montaži brda koja je na otvorenom, te temperature varira iz sata u sat, ali zato odijel bojanja pokušava naći što je moguće idealnije uvijete, te na taj način organiziraju i smjene bojanja. I ovaj se instrument treba kontrolirati, ali je jedini način njegove kontrole međusobna usporedba dobivenih rezultata uspoređujući među sobom instrumente u istim uvjetima. Zbog toga se kod svakog mjerenja koriste barem 2-3 termometra, I kod malih odsutpanja (do 2°C) uzima kao rezultat srednja dobivena vrijednost očitavanja.

5. ANALIZA ANTIKOROZIVNE ZAŠTITE SPECIFIČNE SEKCIJE “KOPAČA” BRODA JARUŽARA

Prije samog početka nanošenja antikorozivne zaštite, cijeli je kopač u za to posebno napravljenoj hali (vidi sliku 77 u prilogu) potrebno sačmariti na kvalitetu Sa 2,5 prema normi HRN EN ISO 8501-1. Time se sekcija čisti od prije nanešenog shopprimer premaza HEMPADUR 1589 ZS do čistog čelika. U slučaju sekcije kopača, koristi se III stupanj pripreme čelika prije bojenja koji uljučuje:

1. Izbrusiti preostale dijelove, te zavariti i izbrusiti preostale utore
2. Odstraniti oštre rubove reza i bubuljice od zavarivanja
3. Glatko izbrusiti oštre rubove, te zavariti i izbrusiti otvorene utore (pore) u skladu s preporukama boje koje ne mogu biti drugačije tretirane

Nakon što smo sekciju očistili do zadovoljavajućeg stupnja, priprema se površina za nanošenje boje:

1. Boja se nanosi na potpuno čistu i suhu površinu
2. Sa površine treba ukloniti: ulje, masnoće i grube nečistoće. Veće naslage ručnim alatom, manje naslage razjeđivačem ili površinski aktivnim otapalom prema preporuci proizvođača boje

Kada se površina očisti do standardima određenog stupnja, može se pristupiti bojenju. Prva tri premaza koja se nanose na kopač, vrše se u hali. Ono što je važno napomenuti je da prije samog bojenja uzimamo tzv. **Lot. No.** odnosno kod na kanti boje koji označava broj uzorka koji je spremljen u arhivi tvrtke Hempel i koji proizvođaču služi da u slučaju reklamacije od brodogradilišta ili brodovlasnika može ustanoviti da li je boja prilikom proizvodnje imala neku grešku. Nakon što se evidentira kod boje, može se prijeći na aplikaciju boje. Da bi se aplikacija mogla provesti potrebni su određeni vremenski uvjeti. Proizvođač uvjetuje da je maksimalna moguća vlažnost 85% dok temperatura može varirati od 5°C do 40°.

Prvi premaz koji se nanosi na sekciju kopača predstavlja epoxy boju tvorničkog naziva Hempadur 45751 koja kao dodatak u imenu ima (50630) što označava crvenkasti pigment. Boja se sastoji od dvije komponente od kojih je jedna baza 45755 dok je druga komponenta sredstvo za otvrdnjavanje 97652 koje se mješaju u omjeru 3:1. Tablicom 14. prikazana je specifikacija boje HEMPADUR 45751 – RED-GREY.

Tablica 14. Osnovne karakteristike boje HEMPADUR 45751 [10]

HEMPADUR 45751 – CRVENI - SIVI		
Pokrivna moć sa 1 litrom boje	m ² /lit	2,7
Idealna temperatura	°C	27
Trajnost zamještane boje	h	1
Otvor sapnice	(")	0.021 - 0.023
Izlazni pritisak	bar	250
Minimalno vrijeme sušenja na 20°C	h	6

Navedena boja nanosi se u hali, a debljina mokrog filma joj je 240 µm, dok je debljina suhog filma 175 µm. Nakon što se aplicira prvi premaz slijedi sušenje koje zavisi od vremenskih uvijeta, ali u standardnim uvjetima, vrijeme varira od 6-12 sati. Kada se premaz osuši, potrebno je pregledati obojanu površinu,

vizualno prekontrolirati, te popraviti mjesta koja ne zadovoljavaju standarde. Prije nanošenja slijedećeg premaza mora se provjeriti debljina suhog filma pomoću mikrotesta na mjestima na kojima su kritične točke (teško pristupačna mjesta konstrukcije).

Slijedeći premaz je također epoxy premaz koji ima isti naziv i specifikaciju kao i prethodni, samo što je razlika u pigmentu unutar boje, te kako bi se mogli razlikovati prilikom aplikacije, proizvođač koristi sivu boju. Debljina mokrog filma koji se nanosi je 240 µm dok je debljina suhog filma 175 µm. Nakon sušenja, opet slijedi vizualna, a potom i kontrola pomoću mikrotesta.

Tablica 15. Osnovne karakteristike boje HEMPADUR 15570 [10]

HEMPADUR 15570 - SIVI		
Pokrivna moć sa 1 litrom boje	m ² /lit	4,3
Idealna temperatura	°C	25
Trajnost zamještane boje	h	2
Otvor sapnice	(")	0.019 - 0.021
Izlazni pritisak	bar	175
Minimalno vrijeme sušenja na 20°C	h	8

Treći premaz koji se nanosi zapravo je i zadnji koji se u potpunosti nanosi unutar hale, a razlog njegove aplikacije je tvrdoća Hemapdura 4575, odnosno nemogućnost aktiviranja površine brušenjem, a to je od krucijalne važnosti budući da je za nanošenje predpremaza za silikon važna

glatka podloga. Navedeni premaz je također epoxy premaz koji se sastoji od dvije komponente od kojih jedna čini bazu 15579 dok je druga komponenta sredstvo za otvrdnjavanje 95570 koji se mješaju u omjeru 3:1. Bojanje se vrši sa bezzračnom špricom a debljina mokrog filma je 140 µm, dok je debljina suhog filma 75 µm. Tablica 15. Prikazuje specifikaciju boje HEMPADUR 15570 – GREY. Nakon što je treći premaz apliciran ponovno je potrebno provesti prvo vizualnu kontrolu, te potom kontrolu debljine filma mikrotestom. Specifičnost Hempadura 15570 je u tome što se njega jednostavno pomoću ručnog brušenja može aktivirati. Aktivacija se može izvršiti u bilo kojem trenutku tako što se površina opere pod tlakom, zatim ručno izbrusi, te potom ponovno opere. Nakon što se površina na taj način aktivira, aplicira se još jedna „ruka“ Hempadura 15570 u debljini suhog filma od 75 µm. Specifičnost četvrtog premaza je što se mora aplicirati na hempadur 15570 u roku od 24 sata, jer u slučaju da se premaz ne nanese u zadanom roku, jednostavno ne postoji adhezija koja bi spojila ta dva premaza.

Četvrti premaz je silikonski premaz tvorničkog imena Hempasil nexus 27302

Tablica 16. Osnovne karakteristike boje HEMPASIL NEXUS 27302 [10]

HEMPASIL NEXUS 27302		
Pokrivna moć sa 1 litrom boje	m ² /lit	3,5
Idealna temperatura	°C	30
Trajnost zamještane boje	h	1
Otvor sapnice	(")	0.019 - 0.021
Izlazni pritisak	bar	150
Minimalno vrijeme sušenja na 20°C	h	6

koji se nanosi na Hempadur 15570 u roku od 24 sata. Njegova specifičnost je što se sastoji od 3 komponente i što se mora paziti da se za njega koristi posebno crijevo i posebna šprica kako ne bi došao u kontakt sa ostalim bojama, te se kontaminirao, jer u tom slučaju on više nema svoju svrhu. Baza

ove boje je Hempasil nexus 27302, dok je sredstvo za otvrdnjavanje 98100, a aditiv 99701 koji se mješaju u omjeru 14.8:4.2:1. Tablica 16 prikazuje specifikaciju boje Hepasil nexus 27302. Premaz se također nanosi špricom, a debljina mokrog filma je 180 µm, dok je suhi film 120 µm. Kao i nakon svake aplikacije premaza, tako i nakon ovog premaza potrebno je vizualno i pomoću mikrotesta provjeriti sloj boje.

Zadnji ili peti premaz je također silikonski premaz koji ima tvornički naziv Hempasil 77500, a nanosi se odmah nakon aplikacije Hempasil nexusa 27302. Premaz je dvokomponentni od kojih je baza 77509 dok je aditiv 97080 koji se

Tablica 17. Osnovne karakteristike boje HEMPASIL 77500 [10]

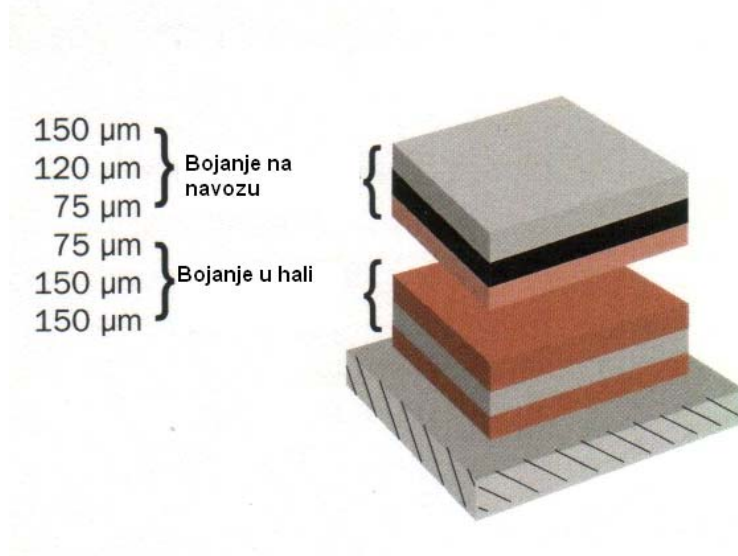
HEMPASIL 77500		
Pokrivna moć sa 1 litrom boje	m ² /lit	2,8
Idealna temperatura	°C	28
Trajnost zamještane boje	h	2
Otvor sapnice	(")	0.019 - 0.021
Izlazni pritisak	bar	150
Minimalno vrijeme sušenja na 20°C	h	2

mješaju 7:1 u korist baze. Vremenski rok za nanošenje Hempasila 77500 je vrlo kratak pa se u brodogradilištu koriste drugačijom tehnikom aplikacije od one koja je opisana u tehnološkim uputama boje, tako da špriceri čim se aplicira Hempasil nexus odmah po prolazu apliciraju hempasil

77500. Ovaj se premaz nanosi u debljini mokrog filma 220 µm, dok je debljina suhog filma 150 µm. Tablica 17. prikazuje specifikaciju boje Hempasil 77500.

Prilikom aplikacije svakog od navedenih 5 premaza, vrši se inspekcija koju provode predstavnik brodo vlasnika, isporučioac boje i osobe zadužene od strane brodogradilišta. Propisano je pravilo kojim se vrši kontrola suhog filma boje koje se

naziva pravilo 85/15, a znači da od cijelokupne površine koja se predaje, 85% površine mora zadovoljavati zadanu debljinu suhog filma dok drugih 15% može biti manji od zadane debljine suhog filma za 15%. Slika 73 prikazuje svih 5 slojeva boje koji se nanose na sekciju



Slika 73. Svi premazi kojima se štiti sekcija kopača [10]



kopača, dok slika 74 prikazuje dio površine kopača premazan silikonskim premazom. Prilikom svakog popravka, potrebno je skinuti staru boju, te popravak vršiti tako da rubove prekrijemo 5-10 cm novom bojom. Treba napomenuti da se cijeli kopač boja spomenutim premazima ne samo izvana, već i unutar svoje konstrukcije. Budući da su popravci komplicirani i

Slika 74. Segment kopača premazan silikonskim premazom, Brodogradilište Uljanik, Pula

zahtjevni, pokušalo se na svakoj gradnji drugačiji postupak bojanja. Tako su na prvoj gradnji dijelatnici odjela boje pokušali silikonski premaz nanijeti na unutarnji dio konstrukcije dok su vanjski dio bojali samo na mjestima koja će biti nedostupna nakon smještaja kopača u krmu broda. Druga je gradnja imala sasvim drugačiji pristup, te je na njoj samo podvodni dio kopača na kojem se više neće vršiti popravci bio obojan silikonskim premazom. Zaključak je bio da je silikonski premaz na dijelovima koji će se na montaži dodatno popravljati, zavarivati i vršiti neki radovi nepotrebno štiti silikonskim premazom, budući da je na tim dijelovima kasnije



nemoguće vršiti popravke u uvjetima koje zahtjeva ta vrsta premaza. Slika 75 prikazuje poziciju na brodu koja je djelom zaštićena hempaduram 15570, a dijelom silikonskim antivegetativnim premazom Hempasil 77500.

Slika 75. Razlika između Hempadura 15570 i Hempasila 77500 (lijevi dio slike), Brodogradilište Uljanik, Pula

6. OCJENA STANJA I PRIJEDLOG POBOLJŠANJA

Brodogradilište je prilikom ugovaranja projekta poput broda jaružara moralo restrukturirati niz svojih odjela, te kako ovakve tipove brodova radi samo nekoliko brodogradilišta u svijetu, bilo je potrebno umijeće i znanje svakog čovjeka unutar brodogradilišta. Budući da kod ovakvih brodova greške moraju biti svedene na minimum, brodogradilište je moralo napraviti selekciju kadra, te tako samo najboljim radnicima omogućiti rad na ovakvom projektu. Samim time, smanjilo je mogućnost grešaka, te nizom proračuna i zaključaka odlučilo investirati u novu tehnologiju koja će biti prijeko potrebna u daljnjim godinama poslovanja. Tako je brodogradilište investiralo u uređaje za predgrijavanje, podiglo novu halu za kopač broda, dodatno osposobilo kadar i slalo ga diljem svijeta kako bi upoznali karakteristične dijelove tog broda, te izbjegli greške koje su imali njihovi kolege u svijetu.

Kao i u svakom procesu, tako i prilikom zavarivanja i zaštite od korozije mogućnost unaprijeđenja procesa postoji. Ono što u našim okvirima razmišljanja još ne postoji, a na zapadu "živi" već dugi niz godina, je to da samo investicijama u tehnologiju, znanje, red i disciplinu svaki proizvodni proces može pozitivno poslovati. Primarno rješenje svakog procesa, pa tako i gore navedenih je da se investira u gore navedeno, te tako dobiju sekundarna poboljšanja koja mogu dovesti do savršenog procesa bez grešaka.

Kod **zavarivanja**, napredak se vidi u predgrijavanju limova pomoću butan plina tamo gdje je moguće, te pomoću njega zamjenimo skupu struju jeftinijim plinom. Uz to, borba za veću edukaciju kadra, te daljnje investiranje u nove tehnologije zavarivanja, način je kako smanjiti potrošnju sati i smanjiti greške koje čovjek stvara svojom nepreciznošću naspram stroja.

U odjelu **zaštite od korozije** poboljšanje procesa vidi se u daljnjem školovanju kadra, ubrzavanjem procesa pomoću korištenja novih, brže sušećih boja, boljom koordinacijom, te komunikacijom između proizvodnje i sektora tehnologije, projekta i konstrukcije.

7. ZAKLJUČAK

Ono što je uočljivo iz obrađenih poglavlja je da se procesi zavarivanja i zaštite od korozije ne razlikuju u mnogočemu naspram onih uobičajenih, ali isto tako vidljivo je da se inovacije u bojenju i zavarivanju itekako razvijaju, te omogućuju kvalitetnije zavare i bolje antikorozivne premaze koji će brodu omogućiti duži period obavljanja posla, a manji period remonta po dokovima.

Analizom koja je provedena kroz prethodna poglavlja, vidljivo je da su se oba navedena procesa unaprijeđivala kroz godine. U odjelu zavarivanja, velika se pozornost posvetila debelim limovima gdje je potrebno voditi računa o redosljedu zavarivanja, deformacijama i toplinskoj obradi koja uključuje predgrijavanje prije zavarivanja, te odžarivanje poslije zavarivanja. U brodogradilištu se po prvi puta u velikoj mjeri koristilo predgrijavanje u okviru tehnologije zavarivanja zbog čega je nabavljena posebna oprema i provedena obuka kadrova. Prilikom zavarivanja, 70% zavara na brodu proveden je praškom punjenom žicom zbog velike učinkovitosti koju ta vrsta žice pruža. Što se tiče odjela boje, on se prvi put na jednoj gradnji susreo sa tehnologijom zaštite od korozije na principu silikonskog premaza koja predstavlja veliku revoluciju po pitanju ekologije, te troškova održavanja budući da je njegov vijek trajanja jednak vijeku trajanja broda.

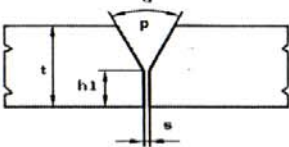

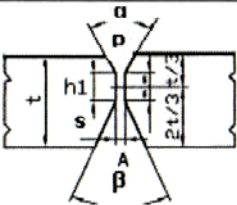

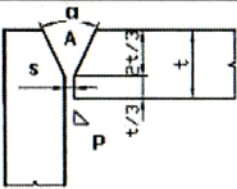

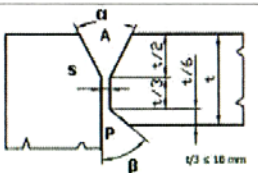

U trenutku kada globalna kriza drma cijeli svijet, znanje koje je cijelo brodogradilište steklo na jednom ovako kompleksnom projektu od iznimne je važnosti za daljnju konkurentnost na tržištu. Sama činjenica da je ovim projektom Uljanik brodogradilište postalo jedno od 5 brodogradilišta svijeta koje gradi ovakve brodove dovoljna je da pokaže veličinu našeg znanja i mogućnosti. Ono što ostaje, je da se u daljnjem vremenskom razdoblju počne razmišljati o „teoriji sitnih brojki“ koje pomnožene sa okvirno 260 radnih dana stvara milijune izgubljene na sitne jedinične gubitke, ali ogromne kroz određeno vrijeme.

Već je odavno poznato da je u današnje vrijeme globalno tržište pokazalo neka druga viđenja poslovanja od onih koja su nekad bila aktualna. Dok su u prošlosti velika poduzeća "jela" mala, danas ona brza "jedu" spora. Tim zaključkom zapravo dolazimo do jedine teorije uspješnosti u današnjem svijetu, te dajemo naglasak na znanje i tehnologiju koju moramo upotrebljavati da bi bili brži i efikasniji od konkurenata, te tako prije njih omogućili svoj opstanak na svjetskom tržištu.

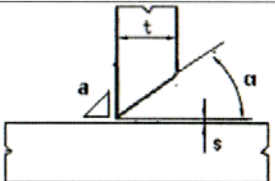

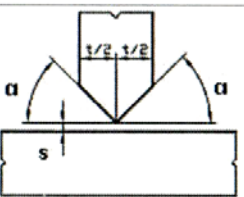

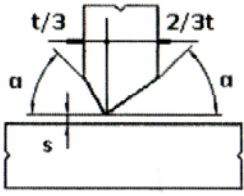

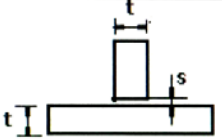

LITERATURA

- [1] Pavelić A.: Tehnologija gradnje brodskog trupa, Školska knjiga, Zagreb, 1986.
- [2] Lončar Đ., Bezjak V.: Priručnik za zavarivanje, Školska knjiga, Zagreb, 1987.
- [3] Rakin M.: Zavarivanje i srodni postupci, Tehnička knjiga, Beograd, 1976.
- [4] Andrić Š., Beara L.J., Gracin M., Grubić K., Kralj S., Živčić M.: Elektrolučno zavarivanje, Društvo za tehniku zavarivanja Hrvatska, Zagreb, 1977.
- [5] Uljanik brodogradilište: - tehnička dokumentacija
- tehnološke upute
- redosljedi zavarivanja
- transformatorske stanice/uređaji
- kontrolna lista zavara
- [6] Samardžić I.: Predavanja, Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, SFSB, Slavonski Brod, 2003.
- [7] Sladoljev Ž.: Osnove tehnologije, Fakultet storjarstva i brodogradnje,FSB, Zagreb, 2003.
- [8] Kjernsmo D., Kleven K., Scheie J.: Corrosion protection, Inspector`s book of reference, Hempel A/S, Danska, 2003.
- [9] De Maia P., Maintenance of Silicone Anti Fouling, Marine Coatings Conference, SMM, Hamburg, 2008.
- [10] Hempel, Product Data Manual 2010.

PRILOG

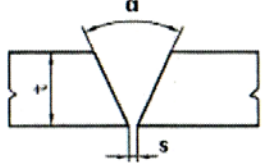

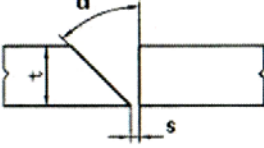

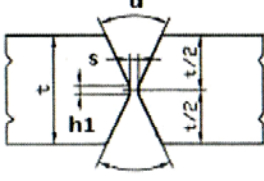

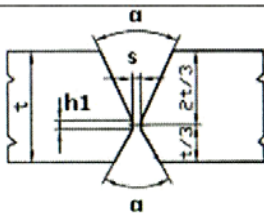

															SB 71271			
oznaka	postupak zavariv.	način izvedbe	naziv spoja	priprema spoja - žlijeba	dimenzije žlijeba – tolerancije u izvođenju prije zavarivanja												napomena	
					t	tol	s	tol	h_1	tol	h_2	tol	α	tol	β	tol		
PAY	136+121 MAG + EPP	P + A	sučeljeni Y-spoj		15	-	0	+2	6	-				50°	+5°			- zavariti dvostrano
																		
PAX	136+121 MAG + EPP	P + A	sučeljeni X-spoj nesimetričan		$\geq 20,5$	-	0	+1						50°	+5° - 0°	60°	+5° - 0°	- zavariti dvostrano
																		
PA-1	136+121 MAG + EPP	P + A	rubni Y-spoj		10	-	0	+2						50°	+5°			- zavariti dvostrano - DP djelomično protaljen
																		
PA-2	136+121 MAG + EPP	P + A	rubni Y-spoj nesimetričan		$\geq 20,5$	-	0	+2						50°	+5°	50°	+5°	- zavariti dvostrano - DP djelomično protaljen
																		

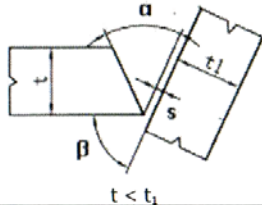
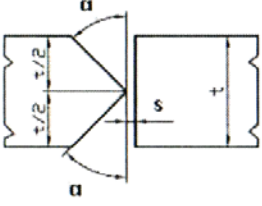
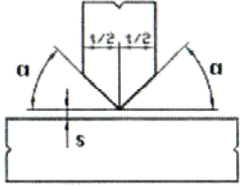
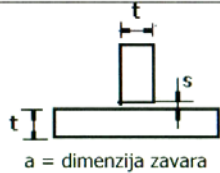
														SB 71271				
oznaka	postupak zavariv.	način izvedbe	naziv spoja	priprema spoja - žlijeba	dimenzije žlijeba – tolerancije u izvođenju prije zavarivanja										napomena			
					t	tol	s	tol	h_1	tol	h_2	tol	α	tol		β	tol	
PY-1	136 MAG	P	rubni Y-spoj		≥ 20	-	0	+2					50°	+5°				- zavariti dvostrano - DP djelomično protaljen
	PY-1 																	
PY-2	136 MAG	P	rubni Y-spoj		15 do 20	-	0	+2					50°	+5°				- zavariti dvostrano - DP djelomično protaljen
	PY-2 																	
PT-1	136 MAG	P	kutni T-spoj		≥ 18	-	6	-					50°	+5°				- zavariti dvostrano - DP djelomično protaljen
	PT-1 																	
PT-2	136 MAG	P	kutni T-spoj		≥ 18	-	6	-					45°	+5°	50°			- zavariti dvostrano - DP djelomično protaljen
	PT-2 																	

															SB 71271			
oznaka	postupak zavariv.	način izvedbe	naziv spoja	priprema spoja - žlijeba	dimenzije žlijeba – tolerancije u izvođenju prije zavarivanja											napomena		
					t	tol	s	tol	h ₁	tol	h ₂	tol	α	tol	β		tol	
PT-3	136 MAG	P	kutni T-spoj		≥ 20	-	6	+2 -2					45°	-				- zavariti jednostrano - FP potpuno protaljen
	PT-3 																	
PT-4	136 MAG	P	kutni T-spoj		20 do 40	-	6	+2 -2					45°	-				- zavariti dvostrano - FP potpuno protaljen
	PT-4 																	
PT-5	136 MAG	P	kutni T-spoj nesimetričan		20 do 40	-	6	+2 -2					45°	-				- zavariti dvostrano - FP potpuno protaljen - veći otvor žlijeba s pristupačnije strane
	PT-5 																	
PF-2	136 MAG	P	kutni T-spoj		sve	-	0	+2										- zavariti dvostrano ili jednostrano - sve debljine lima - a = dimenzija zavara
																		

															SB 71271		
oznaka	postupak zavariv.	način izvedbe	naziv spoja	priprema spoja - žlijeba	dimenzije žlijeba – tolerancije u izvođenju prije zavarivanja												napomena
					t	tol	s	tol	h ₁	tol	h ₂	tol	α	tol	β	tol	
PVK-1	136 MAG	P	sučeljeni V-spoj		5,5 do 25	-	6	+2 -2					40°	-	180°	+10 - 20	<ul style="list-style-type: none"> - zavariti jednostrano - FP potpuno protaljen - može se primijeniti i za t > 25 mm ako nije moguć pristup sa druge strane - za t > 15 mm α = 45°
	PVK-1 																
PVK-2	136 MAG	P	sučeljeni 1/2 V-spoj		5,5 do 25	-	6	+2 -2					40°	-	180°	+10 - 20	<ul style="list-style-type: none"> - zavariti jednostrano - FP potpuno protaljen - može se primijeniti i za t > 25 mm ako nije moguć pristup sa druge strane - za t > 15 mm α = 45°
	PVK-2 																
PXK-1	136 MAG	P	sučeljeni X-spoj		> 25	-	6	+2 -2					45°	+5			<ul style="list-style-type: none"> - zavariti dvostrano - FP potpuno protaljen
	PXK-1 																
PXK-2	136 MAG	P	sučeljeni X-spoj nesimetričan		> 25	-	6	+2 -2					45°	+5			<ul style="list-style-type: none"> - zavariti dvostrano - FP potpuno protaljen
	PXK-2 																

																	SB 71271
oznaka	postupak zavariv.	način izvedbe	naziv spoja	priprema spoja - žlijeba	dimenzije žlijeba – tolerancije u izvođenju prije zavarivanja												napomena
					t	tol	s	tol	h_1	tol	h_2	tol	α	tol	β	tol	
PK-1	136 MAG	P	sučeljeni K-spoj		>	-	6	+2 -2						45°	-		- zavariti dvostrano - FP potpuno protaljen
	PK-1 																
PK-2	136 MAG	P	sučeljeni K-spoj nesimetričan		>	-	6	+2 -2						45°	-		- zavariti dvostrano - FP potpuno protaljen
	PK-2 																

														SB 71271			
oznaka	postupak zavariv.	način izvedbe	naziv spoja	priprema spoja - žlijeba	dimenzije žlijeba – tolerancije u izvođenju prije zavarivanja										napomena		
					t	tol	s	tol	h ₁	tol	h ₂	tol	α	tol		β	tol
RV-1	111 REL	R	sučeljeni V-spoj		0 do 25	-	2	+2 -2					50°	+5° -5°			<ul style="list-style-type: none"> - zavariti dvostrano - korijenski zavar žlijebiti - FP potpuno protaljen
																	
RV-2	111 REL	R	sučeljeni 1/2V-spoj		0 do 25	-	2	+2 -2					50°	+5° -5°			<ul style="list-style-type: none"> - zavariti dvostrano - korijenski zavar žlijebiti - FP potpuno protaljen
																	
RX-1	111 REL	R	sučeljeni X-spoj		>25	-	2	+2 -2	0	+2			50°	+5° -5°			<ul style="list-style-type: none"> - zavariti dvostrano - korijenski zavar žlijebiti - FP potpuno protaljen
																	
RX-2	111 REL	R	sučeljeni X-spoj nesimetričan		≥ 25,5	-	2	+2 -2	0	+2			50°	+5° -5°			<ul style="list-style-type: none"> - zavariti dvostrano - korijenski zavar žlijebiti - FP potpuno protaljen
																	

														SB 71271			
oznaka	postupak zavariv.	način izvedbe	naziv spoja	priprema spoja - žlijeba	dimenzije žlijeba – tolerancije u izvođenju prije zavarivanja										napomena		
					t	tol	s	tol	h_1	tol	h_2	tol	α	tol		β	tol
RV-3	111 REL	R	sučeljeni V-spoj	 <p>$t < t_1$</p>	> 6	-	2	+ 2						45° do 50°	+5 - 0	45° do 90°	<ul style="list-style-type: none"> - zavariti dvostrano - korijenski zavar žlijebiti - FP potpuno protaljen
	RV-3 ▽																
RK-1	111 REL	R	sučeljeni K-spoj		>20	-	2	+ 2						45° do 50°	+5 - 0		<ul style="list-style-type: none"> - zavariti dvostrano - korijenski zavar žlijebiti - FP potpuno protaljen
	RK-1 ▽																
RK-2	111 REL	R	sučeljeni K-spoj nesimetričan		>25	-	2	+ 2						45° do 50°	+5 - 0		<ul style="list-style-type: none"> - zavariti dvostrano - korijenski zavar žlijebiti - FP potpuno protaljen
	RK-2 ▽																
RF-3	111 REL	R	kutni T-spoj	 <p>a = dimenzija zavara</p>	sve	-	0	+2									<ul style="list-style-type: none"> - zavariti dvostrano ili jednostrano - sve debljine lima - a = dimenzija zavara
	a ▽																



Slika 76. Brod jaružar na dan primopredaje, Brodogradilište Uljanik, Pula, svibanj 2010.



Slika 77. Novo sagrađena hala za izradu kopača broda, Brodogradilište Uljanik, Pula



Slika 78. Priprema predgrijavanja na okretnoj točki kopača, Brodogradilište Uljanik, Pula



Slika 79. Predgrijavanje prije privarivanja HARDOX ploča, Brodogradilište Uljanik, Pula



Slika 80. Glava kopača prije montiranja bušećeg svrdla, Brodogradilište Uljanik, Pula



Slika 81. Brod jaružar na opremnoj obali , Brodogradilište Uljanik, Pula



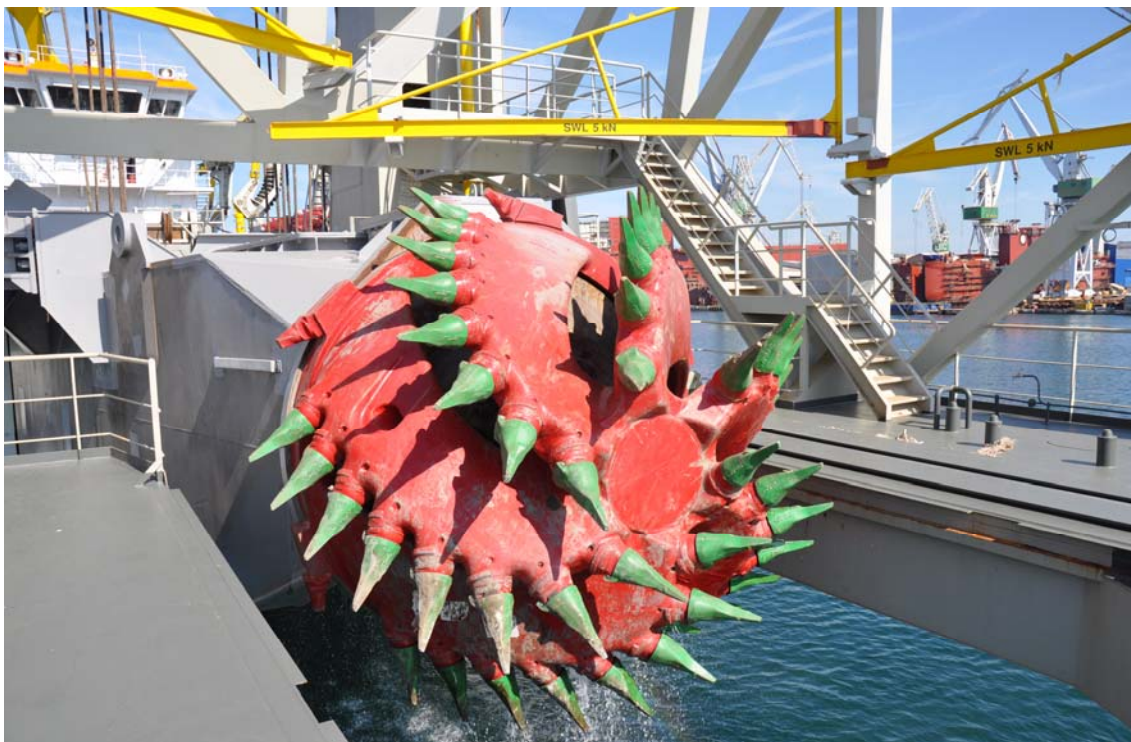
Slika 82. Glava kopača u poziciji u kojoj se nalazi kada nije u funkciji, Brodogradilište Uljanik, Pula



Slika 83. Kopač u trenutku popravka silikonskog premaza, Brodogradilište Uljanik, Pula



Slika 84. Kopač u poziciji u kojoj se nalazi kada nije u funkciji, Brodogradilište Uljanik, Pula



Slika 85. Bušeće svrdlo kopača, Brodogradilište Uljanik, Pula