

Zavarivanje raznovodnih čelika - MAG postupkom zavarivanja

Grudić, Samir

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Pula / Sveučilište Jurja Dobrile u Puli**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:137:067126>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-17**



Repository / Repozitorij:

[Digital Repository Juraj Dobrila University of Pula](#)



Sveučilište Jurja Dobrile u Puli
Odjel za Tehničke studije



SAMIR GRUDIĆ

**ZAVARIVANJE RAZNORODNIH ČELIKA – MAG POSTUPKOM
ZAVARIVANJA**

Završni rad

Pula, rujan, 2019. godine

Sveučilište Jurja Dobrile u Puli
Odjel za tehničke studije

SAMIR GRUDIĆ

**ZAVARIVANJE RAZNORODNIH ČELIKA – MAG POSTUPKOM
ZAVARIVANJA**

Završni rad

JMB: 0145035043, izvanredni student

Studijski smjer: Proizvodno strojarstvo

Predmet: Tehnologija III

Znanstveno područje: Tehničke znanosti

Znanstveno polje: 2.11. Strojarstvo

Znanstvena grana: 2.11.03 Proizvodno strojarstvo

Mentor: doc. dr. sc. Marko Kršulja

Pula, rujan 2019. godine

Doc. dr. sc. Marko Kršulja
(Ime i prezime nastavnika)



Odjel za tehničke studije

Tehnologija III
(Predmet)

Sveučilište Jurja Dobrile u Puli
ODJEL ZA TEHNIČKE STUDIJE
ZADATAK TEME ZAVRŠNOGA RADA

Pristupniku Samiru Grudiću **MBS:** 0145035043

Studentu stručnog studija Odjela za tehničke studije, izdaje se zadatak za završni rad – tema završnog rada pod nazivom:

NASLOV
ZAVARIVANJE RAZNORODNIH ČELIKA – MAG POSTUPKOM
ZAVARIVANJA

Sadržaj zadatka:

Izvršiti ispitivanje zavarivanja raznorodnih čelika. Objasniti i prikazati zavarivanje MAG postupkom na praktičnom primjeru. Prikazati i objasniti zavarivanje na sučeljenim spojevima u zidnoj poziciji. Provesti vizualnu kontrolu spoja, penetranstsku kontrolu, ultrazvučnu kontrolu te ispitati mehanička svojstva spoja. Provesti mjerenje brzine zavarivanja te unosa topline u zavareni spoj. U slučaju pojave grešaka objasniti iste te definirati koje mjere treba poduzeti kako bi se osiguralo kvalitetu zavara.

Rad obraditi sukladno odredbama Pravilnika o završnom radu Sveučilišta u Puli.

Izvanredni student, proizvodno strojarstvo
(status, smjer)

Datum: 04.02.2019

Potpis nastavnika _____



IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Ja, dolje potpisani Samir Grudić, kandidat za prvostupnika _____ovime izjavljujem da je ovaj Završni rad rezultat isključivo mogega vlastitog rada, da se temelji na mojim istraživanjima te da se oslanja na objavljenu literaturu kao što to pokazuju korištene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da niti jedan dio Završnog rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz kojega necitiranog rada, te da ikoji dio rada krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za koji drugi rad pri bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili radnoj ustanovi.

Student

U Puli, _____, _____ godine



IZJAVA
o korištenju autorskog djela

Ja, Samir Grudić, dajem odobrenje Sveučilištu Jurja Dobrile u Puli, kao nositelju prava iskorištavanja, da moj završni rad pod nazivom „Zavarivanje raznorodnih čelika – MAG postupkom zavarivanja“ koristi na način da gore navedeno autorsko djelo, kao cjeloviti tekst trajno objavi u javnoj internetskoj bazi Sveučilišne knjižnice Sveučilišta Jurja Dobrile u Puli te kopira u javnu internetsku bazu završnih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice (stavljane na raspolaganje javnosti), sve u skladu s Zakonom o autorskom pravu i drugim srodnim pravima i dobrom akademskom praksom, a radi promicanja otvorenoga, slobodnoga pristupa znanstvenim informacijama. Za korištenje autorskog djela na gore navedeni način ne potražujem naknadu.

U Puli, _____ (datum)

Potpis

ZAHVALA:

Zahvaljujem se svojem mentoru doc.dr.sc. Marku Kršulji na pomoći i stručnim savjetima prilikom izrade završnog rada. Veliko hvala svim mojim kolegama iz Uljanik brodogradilišta, posebno iz odjela za tehnologiju zavarivanja.

Srdačno hvala gospodinu Frani Cvitiću iz tvrtke Dragon Bajun d.o.o. na ukazanoj pomoći prilikom izrade završnog rada.

Na kraju najveće hvala mojoj supruzi, sinu i cijeloj obitelji koji su mi davali podršku tijekom studiranja.

SAŽETAK

U radu je dokazana mogućnost zavarivanja raznorodnih čelika. Prikazano je zavarivanje MAG postupkom praškom punjenom žicom AISI 316L čelika sa DH36 čelikom. Zavarivanje je izvedeno na sučeljenim spojevima u vertikalnoj i zidnoj poziciji na keramičkoj podlozi. Provedena je vizualna kontrola spoja, penetrantska kontrola, ultrazvučna kontrola te ispitivanje mehaničkih svojstava spoja.

Provedeno je mjerenje brzine zavarivanja, te unos topline u zavareni spoj.

Ključne riječi : MAG postupak zavarivanja, AISI 316, DH 36, sučeljeno zavarivanje, nerazorna i razorna ispitivanja.

SUMMARY

This paper work presents possibility of welding dissimilar steels. Here is shown welding with MAG welding procedure with flux cored wire AISI 316L steel with DH36 steel. Welding is performed on butt weld joints in vertical and horizontal position with ceramic backup. Visual control of the joint, penetrant control, ultrasonic control and examination of the mechanical properties of the joint were performed. Measurement of the welding speed was performed, and heat input into the welding joint.

Key words: MAG welding procedure, AISI 316L, DH 36, butt welding, non-destructive and destructive testing.

Sadržaj

| | |
|--|----|
| 1. UVOD..... | 1 |
| 1.1 Problem, predmet i objekt istraživanja..... | 1 |
| 1.2 Hipoteza | 2 |
| 1.3 Ciljevi rada:..... | 2 |
| 1.4 Metode znanstvenog istraživanja..... | 2 |
| 1.5 Struktura rada..... | 3 |
| 2. MAG POSTUPAK ZAVARIVANJA | 4 |
| 3. ČELIK AISI 316L EN: X2CrNiMo18-14-3, m. no. 1.4435..... | 6 |
| 4. ČELIK DH 36 EN 10025..... | 7 |
| 5. DODATNI MATERIJAL ZA ZAVARIVANJE KISWEL K-309LT | 8 |
| 6. ZAVARIVANJE SUČELJENOG SPOJA U ZIDNOJ POZICIJI..... | 10 |
| 7. MJERENJE BRZINE ZAVARIVANJA I IZRAČUN UNOSA TOPLINE | 19 |
| 8. ISPITIVANJE RAZNORODNOG SPOJA NERAZORNIM METODAMA | 22 |
| 9. ISPITIVANJE RAZNORODNOG SPOJA RAZORNIM METODAMA..... | 28 |
| 10. ZAKLJUČAK..... | 39 |
| POPIS LITERATURE | 41 |
| POPIS SLIKA | 42 |
| POPIS TABLICA | 43 |
| POPIS SIMBOLA | 43 |

1. UVOD

Nekoliko tisuća godina unatrag počelo je spajanje materijala, odnosno zavarivanje. Svako spajanje dvaju ili više materijala, bilo to pritiskom ili taljenjem, bez ili sa dodavanjem dodatnog materijala u svrhu dobivanja homogenog spoja zove se zavarivanje. Kroz povijest zavarivanje iz jednostavnih kovačkih i ljevačkih zavarivanja napreduje u elektrolučne postupke zavarivanja. Postupci koji koriste električni luk kao izvor energije za taljenje osnovnog i dodatnog materijala nazivaju se elektrolučni postupci zavarivanja.

U počecima elektrolučnog zavarivanja, spajali su se isključivo istoimeni čelici. Zbog napretka tehnologije dolazi do potrebe zavarivanja raznorodnih materijala. Najčešće zavarivanje raznorodnih materijala dešava se prilikom spajanja austenitnih nehrđajućih (CrNi) čelika i feritnih (konstrukcijskih) čelika. Postupak je specifičan i zahtjeva dobro poznavanje tehnologije zavarivanja. Moguće ga je izvoditi sa svim elektrolučnim postupcima zavarivanja.

1.1 Problem, predmet i objekt istraživanja

Predmet i objekt istraživanja ovog rada je MAG postupak zavarivanja praškom punjenom žicom raznorodnih čelika. Zbog sve više zahtjevnih brodskih konstrukcija, u proizvodnji se teži ka spajanju različitih vrsta čelika u jednu cjelinu. Zavareni spoj raznorodnih čelika na brodu mora zadovoljavati određena mehanička svojstva. Dobra mehanička svojstva zavareni spoj raznorodnih čelika može imati isključivo ako se kontrolira unos topline i miješanje dodatnog i osnovnog materijala prilikom zavarivanja. Zavareni spojevi raznorodnih čelika kao najveći problem imaju migraciju ugljika u zavarenom spoju. Problem migracije ugljika koja se pojavljuje je krhkost zavarenog spoja. Također jedan od problema jest i nastanak toplih pukotina zavarenog spoja. Pravilnim odabirom dodatnog materijala i tehnikom zavarivanja, te praćenjem unosa topline problemi se mogu izbjeći.

1.2 Hipoteza

U ovome radu će se opisati i dokazati mogućnost zavarivanja CrNi čelika sa konstrukcijskim čelikom. Prikazati će se parametri zavarivanja, postupak i tehnika zavarivanja. Ispitivanja mehaničkih svojstava biti će napravljeno prema pravilima klasifikacijskog društva Bureau Veritas. Nerazorna ispitivanja zavarenog spoja utvrđivati će se prema razini prihvatljivosti koju propisuje norma HRN EN ISO 5817.

1.3 Ciljevi rada:

- Objasniti osnovne pojmove vezane za zavarivanje, odnosno MAG postupka zavarivanja.
- Opisati osnovni i dodatni materijala za zavarivanje.
- Objasniti ulogu keramičke podloge i zaštitnog plina.
- Opisati postupak zavarivanja sučeljenih spojeva raznorodnih čelika.
- Izračun unosa topline
- Prikaz dobivenih rezultata mehaničkih ispitivanja i nerazornih ispitivanja.

1.4 Metode znanstvenog istraživanja

Metode koja su korištene za izradu završnog rada su:

- metoda mjerenja (mjerenje točnosti i ponovljivosti dobivenih rezultata),
- metoda promatranja (prikupljeni podaci u vezi zavarivanja se promatraju te se odabrani uzorak prema unaprijed određenom planu promatra i vodi se evidencija),
- eksperimentalna metoda (izvođenje i mjerenje realnih pojava pri ispitivanju zavara koji imaju za cilj otkriti nepoznate činjenice, svojstva, pojave),

- matematička metoda (postupak primjene matematičkih relacija, simbola i operacija)
- metoda analize (svako raščlanjivanje složenih cjelina na dijelove),
- metoda sinteze (svako spajanje dijelova je već metoda sinteze),
- metoda deskripcije (prigodno opisivanje i pojašnjavanje obilježja predmeta i procesa).

1.5 Struktura rada

- u poglavlju 1 opisati će se osnovni pojam zavarivanja.
- u poglavlju 2 opisati će se postupak zavarivanja kojim se izvodi zavareni spoj.
- u poglavlju 3 opisati će se osnovni materijal AISI 316L.
- u poglavlju 4 opisati će se drugi osnovni materijal DH 36.
- u poglavlju 5 opisati će se dodatni materijal za zavarivanje.
- u poglavlju 6 opisati će se priprema spoja za zavarivanje, postavljanje keramičke podloge, tehnika zavarivanja u zidnom položaju.
- u poglavlju 7 opisati će se mjerenje brzine zavarivanja, te matematički izračun unosa topline po svakom prolazu zavara.
- u poglavlju 8 opisati će se metode nerazornih ispitivanja, odnosno vizualna kontrola, penetrantska kontrola i ultrazvučna kontrola.
- u poglavlju 9 opisati će se metode mehaničkih ispitivanja – razornih ispitivanja, odnosno ispitivanje tvrdoće spoja, ispitivanje čvrstoće, ispitivanje savijanjem i ispitivanje dinamičke žilavosti.
- u poglavlju 10 opisati će se zaključak zavarivanja i ispitivanja raznorodnog spoja

2. MAG POSTUPAK ZAVARIVANJA

MAG postupak zavarivanja, odnosno elektrolučno zavarivanje taljivom elektrodom u zaštiti plina je jedan od nekoliko elektrolučnih postupaka. Sama skraćenica MAG – metal active gas govori o tome kako zaštitni plin kod MAG zavarivanja aktivno sudjeluje u formiranju zavara. Najčešći aktivni plin koji se koristi je CO₂ i od zbog toga je u proizvodnji najzastupljeniji naziv za ovaj elektrolučni postupak „ CO₂ zavarivanje“. U današnje doba sve više se koriste mješavine plinova (Argon + CO₂) kako bi se dobio što stabilniji električni luk i manje prskotina prilikom zavarivanja.

Ovaj postupak je poluautomatski, ali se može i vrlo lako potpuno automatizirati uz pomoć robota. Za dodatni materijal za zavarivanje koristi se žica u raznim promjerima (ϕ 0,6 0,8 1,0 1,2 1,6) namotana na kolut, te može težiti 5 ili 15 kilograma.

Električni luk se uspostavlja između žice i radnog komada. Glavni parametri kod MAG postupka zavarivanja jesu jakost struje zavarivanja, napon električnog luka i brzina zavarivanja.

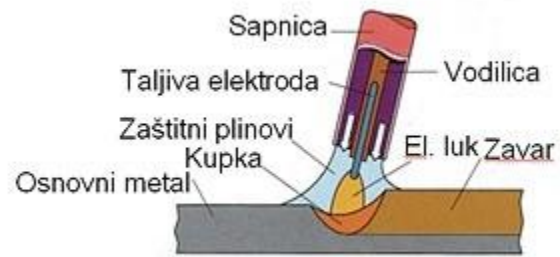
Prednosti MAG postupka zavarivanja jesu : velike brzine zavarivanja, mogućnost zavarivanja svih vrsta metala, zavarivanje tankih i debelih komada, mogućnost lake automatizacije i zavarivanje u svim položajima.

Oprema za MAG zavarivanje sadrži izvor struje, dodavač žice, gorionik, redukциони ventil i bocu sa zaštitnim plinom.

Zavarivači koji zavaruju ovim postupkom imaju dobre fizičke sposobnosti, te su veoma vješti i barataju gorionikom sa obje ruke kako bi izveli što kvalitetniji zavar.

Prilikom zavarivanja MAG postupkom zavarivači koriste sljedeća zaštitna sredstva : zavarivačka maska, pamučno odijelo, kožne rukave i pregaču, te zaštitne rukavice i cipele sa čeličnom kapom.[1]

Slika 1 MAG postupak zavarivanja



(Izvor : <http://www.ram-rijeka.com/c/931/Osnovni-postupci-zavarivanja---Ram-Rijeka.wshtml>)

Slika 2 Aparat za MAG zavarivanje



(Izvor : obrada autora)

3. ČELIK AISI 316L EN: X2CrNiMo18-14-3, m. no. 1.4435

Čelik AISI 316L m. no. 1.4435 spada u skupinu austenitnih nehrđajućih čelika, odnosno CrNi čelici. U našem društvu više poznat pod nazivima inox, prokrom, morski čelik itd. Njihova struktura uglavnom sadrži 0,02 - 0,15% ugljika, 16 – 24 % kroma, 8 – 12 % nikla, te mogu biti legirani određenim količinama molibdena, niobija, dušika, tantala, titanija. Glavna prednost ovih čelik je korozijska postojanost na interkristalnu koroziju, dok je nedostatak snižena granica razvlačenja zbog malog udjela ugljika u kemijskom sastavu.

AISI 316L m. no. 1.4435 je dodatno legiran s molibdenom, odlikuje ga nizak sadržaj ugljika, te je iznimno dobro otporan na interkristalnu koroziju. Preporučuje se za temperature do 400 °C.

Primjenu nalazi u kemijskoj, prehrambenoj i farmaceutskoj industriji. Odličan za morske uvjete, te se koristi za izradu ograda i rukohvata na brodovima, izrada stepeništa na bazenima i drugo.[2]

Kemijski sastav AISI 316L m.no. 1.4435 austenitnog čelika, tablica 1:

Tablica 1 Kemijski sastav AISI 316L

| C [%] | Si [%] | Mn [%] | P [%] | S [%] | Cr [%] | Ni [%] | Mo [%] | N [%] |
|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|-------|
| ≤ 0.03 | ≤ 1.0 | ≤ 2.0 | ≤ 0.045 | ≤ 0.03 | 16-18 | 10-14 | 2-2.5 | ≤ 0.1 |

4. ČELIK DH 36 EN 10025

Čelik DH 36 spada u skupinu brodograđevnih čelika povišene čvrstoće. Glavna prednost ovog čelika je to što do -20 °C ne gubi svojstva granične čvrstoće od 355 N/mm². Karakterizira ga relativno dobra zavarljivost i rezljivost, zbog malog udjela ugljika 0.18 %.

Čelik DH 36 se zbog svojih dobrih karakteristika uglavnom koristi za izradu broskog trupa. Za razliku od čelika AISI 316 L, ovaj čelik nije korozijski postojan te se mora pravilno zaštititi premazima kako bi se zaštitio od korozije.[3]

Kemijski sastav čelika DH 36, tablica 2:

Tablica 2 Kemijski sastav čelik DH36.

| C[%] | Si[%] | Mn[%] | P[%] | S[%] | Cr[%] | Mo[%] | Ni[%] | Cu[%] | Cb[%] | V[%] |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| 0.18 | 0.50 | 1.6 | 0.035 | 0.035 | 0.20 | 0.08 | 0.40 | 0.35 | 0.05 | 0.10 |

5. DODATNI MATERIJAL ZA ZAVARIVANJE KISWEL K-309LT

Kiswel K-309 LT je praškom punjenja žica namijenjena MAG postupku zavarivanja istorodnih nehrđajućih čelika i raznorodnih čelika. Odlikuje je dobra zavarljivost i široki raspon parametara. Moguće je zavarivanje u svim položajima, te kao zaštitni plin može se koristiti 100 % CO₂ ili mješavina plinova 82 % Ar + 18% CO₂. Zavarivanjem u štrcajućem luku daje snažnu penetraciju i odlična mehanička svojstva zavarenog spoja. Ova žica se koristi i za navarivanje materijala. Žica Kiswel K-309 LT dolazi u pakiranju na kolutu od 5kg i promjeru žice 1.2mm. Žica se koristi isključivo na plus polu prilikom zavarivanja.

Slika 3 TEHNIČKE SPECIFIKACIJE DODATNOG MATERIJALA

K - 309 LT

CLASSIFICATION

| | |
|-------------------|------------------------|
| EN ISO 17633-A | AWS / ASME SFA-5.22 |
| T 23 12 L P C/M 1 | E309LT1-1/4 |

DESCRIPTION AND APPLICATION

Flux cored wire designed for MAG welding of similar stainless steels, and for welding dissimilar joints. Wire is also used for cladding. Weld metal contains comparatively much more ferrite in their austenitic structure, therefore they provide better weldability together with superior heat and corrosion resistance. It is easy to use and operate with powerful penetrating spray arc transfer, minimum spatter formation and self releasing slag. C1 (CO₂) or M21 (Ar + 18%CO₂) can be used as shielding gases.

MECHANICAL PROPERTIES OF THE ALL-WELD METAL

| R _{0.2} N/mm ² | R _m N/mm ² | A ₅ % | KV (-30°C) J | Shielding gas |
|---------------------------------------|-------------------------------------|---------------------|-----------------|------------------|
| 430 | 560 | 37 | 45 | C1 |
| 440 | 570 | 37 | 48 | M21 |

APPROXIMATE CHEMICAL COMPOSITION OF THE ALL-WELD METAL

| | C | Si | Mn | Cr | Ni | FN | Shielding gas |
|---|------|------|------|------|------|----|---------------|
| % | 0,03 | 0,6 | 1,12 | 23,7 | 13,2 | 14 | C1 |
| % | 0,03 | 0,75 | 1,2 | 23,9 | 13,2 | 15 | M21 |

SHIELDING GAS

C1 (CO₂) or M21 (Ar + 18%CO₂) gas flow 15 - 25 l/min

PACKAGING

| Wire diameter mm | Winding | Weight of packaging kg |
|---------------------|-----------------------|---------------------------|
| 1,2 | precision-wound (S-S) | 5; 5 |

APPROVALS

ABS (E309LT1-1); BV (UP); DNV (308L MS); LR (SS/CmN S); TÜV

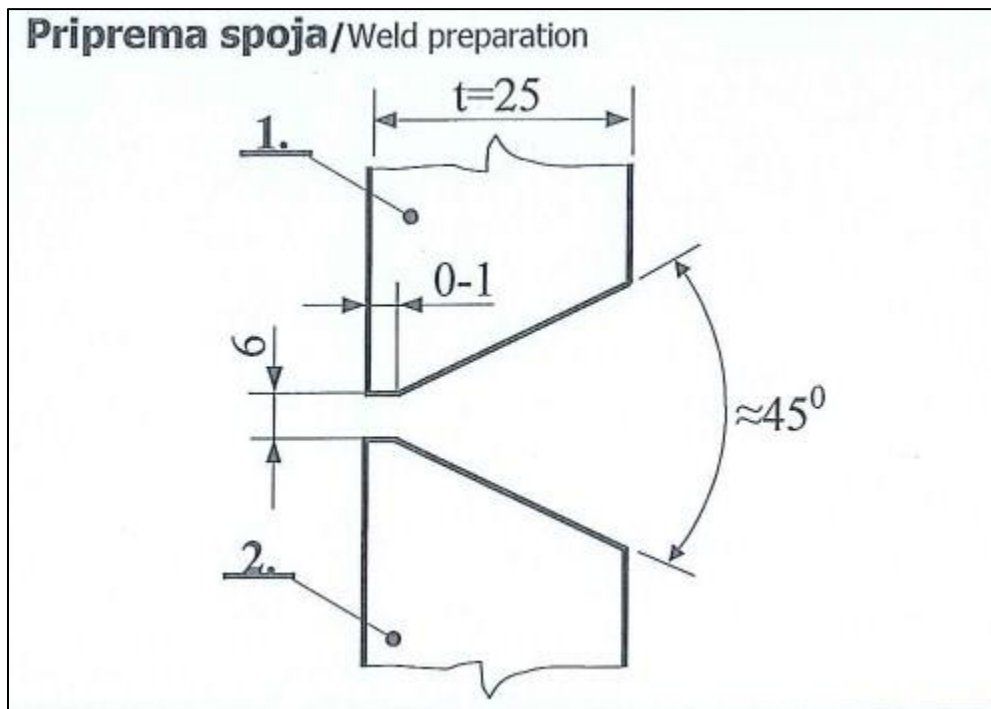


(Izvor: <http://www.ezg.hr/eng/proizvodi/kiswel/k309.html>)

6. ZAVARIVANJE SUČELJENOG SPOJA U ZIDNOJ POZICIJI

Zavarivanje sučeljenog spoja zahtjeva određenu pripremu spoja. Priprema spoja odabire se prema postupku zavarivanja, debljini materijala, poziciji u kojoj se spoj nalazi, te dali se radi o limu ili cijevi. Kako se ovdje radi o zavarivanju MAG postupkom praškom punjenom žicom, dva raznorodna komada lima debljine 25mm na keramičku podlogu, priprema mora biti obrađena za „V“ spoj.

Slika 4 "V" spoj



(Izvor: obrada autora)

Obrada spoja, odnosno takozvano skošavanje ruba pod određenim kutom vrši se pomoću plinskih ili plazma CNC rezačica. Moguće je pripremu napraviti i ručnim rezanjem, ali kvaliteta reza CNC rezačice je neusporedivo kvalitetnija. Koristi se i strojna obrada glodanjem za pripremu kod manjih komada, ali zastupljenije je plinsko ili

plazma rezanje. Kut priprema kod ovog spoja iznosi 45° , odnosno jedna stranica iznosi polovicu toga kuta.

Slika 5 Obradjeni kut polovice spoja- 22.5°



(Izvor: obrada autora)

Pripremljeni spoj za zavarivanje spaja se ulazno-izlaznim pločicama, koje ujedno služe i za održavanje zračnosti između pločica i sprečavaju deformiranje-pomicanje pločica prilikom zavarivanja.

Slika 6 Pripremljeni "V" spoj



(Izvor: obrada autora)

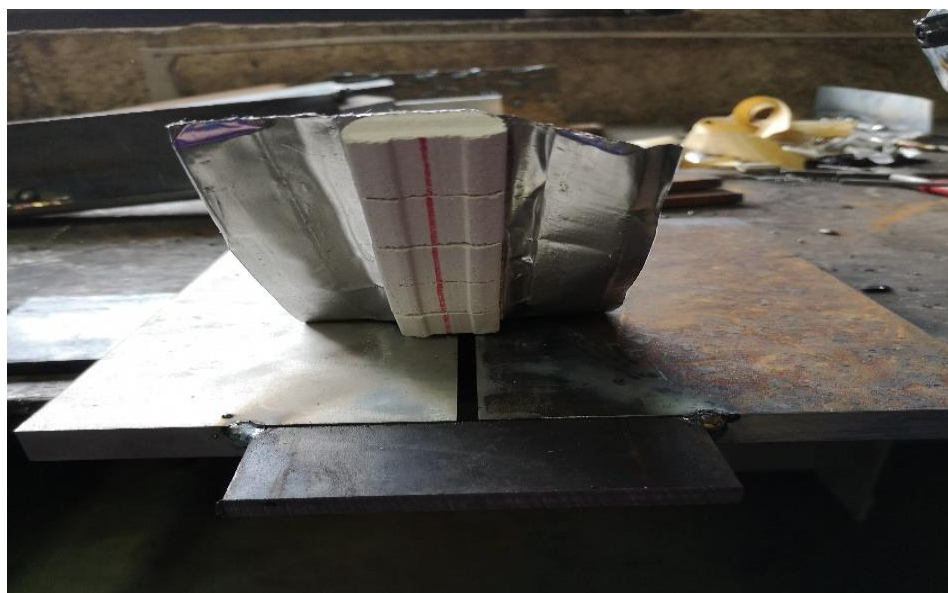
Kod zavarivanja praškom punjenom žicom korijena na sučeljenom spoju, kao podloga koristi se keramika. Keramika se ljepljivom folijom sa donje strane spoja postavlja i lijepi za čelik.[4]

Slika 7 Keramička podloga



(Izvor: obrada autora)

Slika 8 Postavljanje keramičke podloge na spoj



(Izvor: obrada autora)

Postavljanje keramičke podloge vrši se na čistu podlogu, te se po potrebi ako se radi o dužem spoju dodatno učvrsti sa drvenim klinovima.

Za postavljanje keramičke podloge u centar spoja služi crvena linija, no međutim kod zidnog spoja radi izbjegavanja mogućnosti naljepljenja korijena zavara keramika se podiže do ruba spoja te se tako lijepi kao što je prikazano na slici 8.

Tim načinom postavljanja keramičke podloge smanjuju se mogućnosti podlijevanja taline zavara prilikom zavarivanja korijena, te donji rub ivice spoja ostaje dobro protaljen, u suprotnom naljepljivanje zavara je neizbježno.

Spoj se postavlja tako da čelik DH 36 čini donji dio spoja, dok je čelik AISI 316L gornji dio spoja, spoj ne smije biti nagnut, već mora biti pripojen sa radni stoj pod pravim kutom, kao što je prikazano na slici 9.


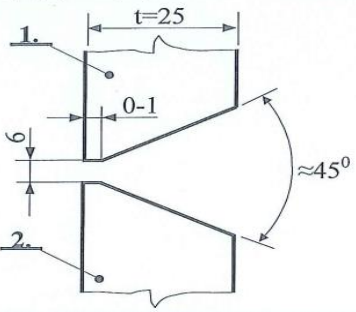
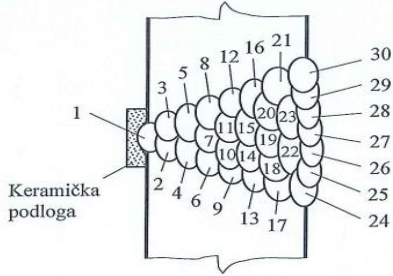
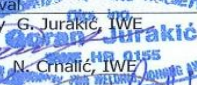
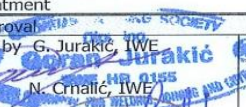
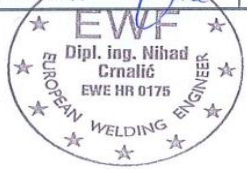

Slika 9 Pravilno postavljen spoj, pod pravim kutem



(Izvor: obrada autora)

Za početak zavarivanja, parametri se odabiru prema dokumentu koji se naziva specifikacija postupka zavarivanja-SPZ. U tom dokumentu nalaze se parametri za korijenski zavar, zavare popune, te završne zavare. Dokument sadrži podatke o podlozi, dodatnom materijalu, zaštitnom plinu, zahtjevima za pripremu spoja i čišćenju spoja, nazivima osnovnog materijala. Specifikaciju postupka zavarivanja izrađuju inženjeri ili tehnolozi zavarivanja. SPZ koji se koristio za zavarivanje ovog raznorodnog spoja nalazi se na slici 10.

Slika 10 Specifikacija postupka zavarivanja

|  ULJANIK Brodogradilište d.d. | | Specifikacija Postupka Zavarivanja SPZ | | SPZ br./WPS No 304 Izdanje/issue 0 | | | | | |
|--|---|--|---|---|------------------------------|---------------------------------------|--|---------------------------------|--|
| | | Welding Procedure Specification WPS | | Datum izdanja/Date of issue 08.11.2017. | | | | | |
| 1703 TEHNOLOGIJA ZAVARIVANJA | | Referentni PQR/Suporting PQR: 151RJK18 | | List/Page 1 | | | | | |
| Projekt/Project: | | Pravila-Norma/Rules-Norm BV,EN | | | | | | | |
| Osnovni materijal/Base material | | | | | | | | | |
| Standard/Standard BV | Kategorija/Grade 1. AISI 316L / 8.1 2. DH36 / 1.2 | Raspon debljina/Thick. range t₁=25 mm t₂=25 mm | Raspon pr.cijevi/Pipe O.D.range - | | | | | | |
| Dodatni materijal/Filler material | | | | | | | | | |
| Oznaka/Brand name 1. K-309 LT | | Klasifikacija/Classification T 23 12 L P C/M 1 | | Proizvođač/manufacturer KISWEL, KOREA | | | | | |
| Zavareni spoj/Joint design | | | | | | | | | |
| Vrsta spoja/Joint type BW | | Položaj zavarivanja/Welding position PC | | Podloga/Backing Keramička podloga | | | | | |
| Priprema spoja/Preparation method Plazmeni mlaz + plinski plamen | | Metoda čišćenja/Cleaning method Brušenje, četkanje | | Zaštitni prašak/Flux N.A. | | | | | |
| Zaštitni plin/protok - Shielding gas/flow C1 CO ₂ (100 %) / 15-18 (l/min) | | Zašt. plin korjen/protok-Purging gas/flow N.A. | | Napomene/Remarks Zavarivač : Samir Grudić Izvor i dobavljač žice za zavarivanje : Lincoln SPEEDTEC 405S + PF42 | | | | | |
| Popr.gibanje luka/ Weaving N.A. | | Jednoprool.-višeprazolno/Single-multipass Višeprolazno | | | | | | | |
| 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 _{žice} (m/min) feed speed | V _{ZAV} (cm/min) travel speed | Unos topline (KJ/mm) Heat Input | |
| 1 | 136 | Ø 1,2 | DC + | 23,5 | 140-150 | - | 18 | 0,88-0,94 | |
| 2-3 | 136 | Ø 1,2 | DC + | 24,4 | 170-185 | - | 36 | 0,55-0,60 | |
| 4-5 | 136 | Ø 1,2 | DC + | 24,4 | 175-190 | - | 40-50 | 0,44-0,51 | |
| 6-8 | 136 | Ø 1,2 | DC + | 24,4 | 175-185 | - | 50 | 0,41-0,43 | |
| 9-12 | 136 | Ø 1,2 | DC + | 24,4 | 170-185 | - | 53-60 | 0,36-0,37 | |
| 13-16 | 136 | Ø 1,2 | DC + | 24,4 | 170-185 | - | 53-60 | 0,36-0,37 | |
| 17-23 | 136 | Ø 1,2 | DC + | 24,4 | 175-185 | - | 56-60 | 0,35-0,36 | |
| 24-30 | 136 | Ø 1,2 | DC + | 23,5 | 160-180 | - | 50-60 | 0,34-0,36 | |
| Predgrijavanje /Heat treatment | | | | | | | | | |
| Temperatura predgrijavanja min. (°C): N.A. Preheat temperature | | | | Postupak TO: N.A. Heat treatment procedure | | | | | |
| Međuslojna temperatura max. (°C): 150 Interpass temp. | | | | Vrijeme trajanja (h): N.A. Duration | | | | | |
| Naknadna toplinska obrada: N.A. Post weld heat treatment | | | | Zagrijavanje (°C/h) : N.A. Heating rate | | Hlađenje (°C/h): N.A. Cooling rate | | | |
| Autorizacija/Approval | | | | | | | | | |
| Izradio /Prepared by: G. Jurakić, IWE | | Odobrio/Approval sign: M. Lovrić, IWE | | Odobreno od/ Authority sign | | | | | |
| Datum/Date: 08.11.2017. | | Datum/Date: 08.11.2017. | |  | | | | | |
|  | |  | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | |

(Izvor: obrada autora)

Zavarivač (autor osobno) tehnikom povlačenja i pravilnim kutom gorionika za MAG zavarivanje zavaruje raznorodni spoj u zidnoj poziciji, koristeći propisane parametre zavarivanja i redoslijed zavarivanja.

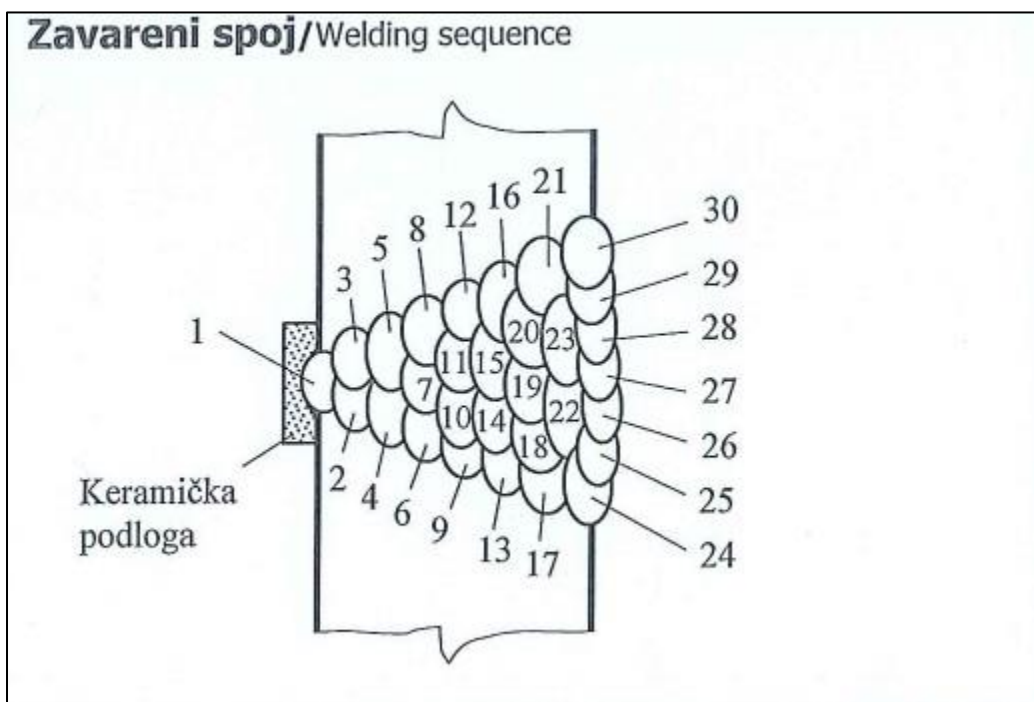
U zavarenom spoju nalazi se ukupno 30 prolaza, te zavarivač nakon svakog prolaza mora očistiti trosku zavarivačkim čekićem i po potrebi prebrusiti prolaz kako bi uklonio sitne zaostale komadiće troske. Također mora kontrolirati i međuslojnu temperaturu svakog prolaza, koja ne smije prelaziti 150 °C.

Slika 11 Autor osobno zavaruje spoj u zidnoj poziciji



(Izvor: obrada autora)

Slika 12 Zavareni spoj - prolazi



(Izvor: obrada autora)

7. MJERENJE BRZINE ZAVARIVANJA I IZRAČUN UNOSA TOPLINE

Mjerenje brzine zavarivanja vrši se uz pomoć metra i štoperice. Zavarivaču se štopericom mjeri vrijeme zavarivanja, te metrom mjeri dužina zavara kojeg je zavarivač potegnuo u izmjerenom vremenskom roku. Na slici 13 prikazane su izmjerene vrijednosti prilikom zavarivanja korijenskom zavara. Osoba koja mjeri brzinu pali štopericu čim zavarivač uspostavi električni luk unutar šava. Mjeri mu 30s, te ne ometajući njegov rada označuje kredom ili markerom poziciju dužine zavara nakon isteka 30s. Pomoću metra mjeri dužinu zavara, te tu izmjerenu vrijednost množi sa brojem dva kako bi dobio dužinu zavara u trajanju od 1 minute. Pomoću formule za izračun brzine dolazi do vrijednosti brzine zavarivanja, koja je izražena u cm/min.

$$V = \frac{s}{t} [\text{cm/min}].$$

Slika 13 Mjerenje brzine zavarivanja



(Izvor: obrada autora)

Mjerenje brzine zavara vrši se za svaki prolaz u spoju, kako bi se mogao izračunati unos topline za svaki prolaz. Izračun unosa topline izvodi se pomoću formule koju propisuje EN 1011-1, a glasi:

$$Q = \frac{k \times I \times U \times 60}{v \times 1000} \text{ [kJ/cm]}.$$

Q = unesene toplina tijekom zavarivanja [kJ/cm].

I = jakost struje zavarivanja [A].

U = napon električnog luka [V].

V = brzina zavarivanja [cm/min].

K = koeficijent iskoristivosti električnog luka, kod MAG zavarivanja iznosi 0,8.

Izračun unosa topline za korijenski prolaz iznosi:

$$Q = \frac{0,8 \times 155 \times 23 \times 60}{13 \times 1000} = 13,2 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{cm}} \right] = 1,32 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{mm}} \right].$$

Prema pravilima BV ovaj unos topline je dopušten, što znači da su svi parametri zavarivanja dobro podešeni i tehnika izvođenja zavara izvrsna.

Na ovaj način se za preostalih 29 prolaza računa unos topline.

8. ISPITIVANJE RAZNORODNOG SPOJA NERAZORNIM METODAMA

Nakon zavarivanja raznorodni spoj podliježe ispitivanju metodama nerazornih ispitivanja.

Metode nerazornih ispitivanja predstavljaju skup metoda kojima se utvrđuju fizikalna svojstva materijala ili razne vrste defekata, a da se pritom predmet koji se ispituje ne oštećuje.

Razina prihvatljivosti ispitivanja propisana su normom HRN EN ISO 5817:2014.[8]

Izvršena je vizualna, penetrantska i ultrazvučna kontrola raznorodnog spoja.

Vizualna kontrola je jedna od metoda ispitivanja bez razaranja, služi za otkrivanja površinskih grešaka, te raznih deformacija prije i nakon zavarivanja. Za provedbu ispitivanja osim golog ljudskog oka koriste se razna pomagala kao naprimjer: povećala, svjetiljke, boreskopi, endoskopi, mikroskopi, razni mjerni instrumenti i drugi.

Norma koja definira vizualnu kontrolu jest HRN EN 970.

Na slici 15 nalazi se izvještaj o vizualnoj kontroli raznorodnog spoja zavarenog praškom punjenom žicom u zidnoj poziciji.


Slika 14 Vizualna kontrola



(Izvor:

[https://www.applus.com/images/1340262290879Sheet_Visual_Testing_\(VT\)2_EN_desktop.jpg](https://www.applus.com/images/1340262290879Sheet_Visual_Testing_(VT)2_EN_desktop.jpg))

Slika 15 Izvještaj vizualne kontrole

| | | | | | |
|--|--|---|---|---|--|
|  ULLJANIK SHIPYARD Hull Department 1033- Control and delivery dpt. | | NONDESTRUCTIVE INSPECTION DATA PODACI O KONTROLI BEZ RAZARANJA | | Ev.No./Ev.br.: 1033.12.PA.001 Rp.No./Izv.br.: 47 Sheet/List: Sheets/Listova: | |
| VISUAL CONTROL REPORT IZVJEŠTAJ O VIZUALNOM ISPITIVANJU | | | | | |
| CLIENT / NARUČIOCI: | | B.V. | | | |
| OBJECT / OBJEKT: | | ATESTACIJA POSTUPKA WPS 304 | | | |
| DESIGN/NACRT: POSITION/POZICIJA: PC | | | TYPE OF MATERIAL TESTED/VRSTA ISPITANOG MATERIJALA: AISI 316L +DH36 | | |
| EXTENT OF EXAMINATION / OPSEG KONTROLE 100% | | | THICKNESS OF MATERIAL / DEBLJINA MATERIJALA t=25mm | | |
| IN ACCORDANCE WITH INSPECTION PROCEDURE / U SKLADU SA POSTUPKOM ISPITIVANJA: SUK.UP.1033.38/39 | | | | | |
| ACCEPTANCE CRITERIA/RAZINE PRIHVATLJIVOSTI HRN EN ISO 5817 | | | TESTING CODE/ NORMA ISPITIVANJA HRN EN 970 | | |
| SURFACE CONDITION / STANJE POVRŠINE: SAND BLASTED | | | AUXILLARY EQUIPMENT / DODATNA POMAGALA: | | |
| EXAMINATION RESULT / REZULTAT ISPITIVANJA: ACCEPTABLE/PRIHVATLJIVO | | | | | |
| Description: Opis: | | | | | |
| EXAMINED BY / ISPITAO: D.Maljković-Ispitao HRN EN/473 Level II | | DATE / DATUM: SHIPYARD - PULA NON DESTRUCTIVE TESTING 13-11-2017 | | REVIEWED / PREGLEDAO: G.Polonijo dipl.ing HRN EN 473 Level III | |

(Izvor: obrada autora)

Penetrantska kontrola ili ispitivanje penetrantima je također jedna od nerazornih metoda ispitivanja. Pomoću penetranta moguće je otkriti pukotine u zavarenom spoju, poroznost ili rupičavost. Za izvođenje ispitivanja penetrantima potrebna u tri spreja, koji se pravilnim


redosljedom nanose na zavareni spoj. Prije početka nanošenja prvog spreja, odnosno samog penetranta, koji je obično uvijek crvene boje, površina mora biti čista i suha. Nakon 10-15 minuta nanosi se čistač u spreju, te se krpom briše površina i suši. Posljednji se nanosi razvijatelj u spreju (bijele boje), koji izvlači crveni penetrant iz pukotine, pa se na bijeloj površine lako uočavaju pukotine, poroznosti ili rupičavosti. Na slici 17 prikazan je izvještaj o penetrantskom ispitivanju raznorodnog spoja u zidnoj poziciji.

Slika 16 Ispitivanje penetrantima



(Izvor: <https://5.imimg.com/data5/TA/YU/OX/SELLER-74195544/dye-penetrant-testing-service-500x500.jpg>)

Slika 17 Izvještaj penetrantske kontrole

| | | |
|---|--|---|
|  | NONDESTRUCTIVE INSPECTION DATA PODACI O KONTROLI BEZ RAZARANJA | Ev.No./Ev.br.: 1033.12.PA.001 Rp.No./Izv.br.: 48 Sheet/List: Sheets/Listova: |
| | PENETRANT CONTROL REPORT IZVJEŠTAJ O PENETRANTSKOM ISPITIVANJU | |
| CLIENT / NARUČIOČ: | B.V. | |
| OBJECT / OBJEKT: | ATESTACIJA POSTUPKA WPS 304 | |
| DESIGN/NACRT: POSITION/POZICIJA: PC | TYPE OF MATERIAL TESTED/VRSTA ISPITANOG MATERIJALA: AINI 316L +DH36 | |
| EXTENT OF EXAMINATION/OPSEG KONTROLE ACCEPTANCE CRITERIA/RAZINA PRIHVATLJIVOSTI 100% | THICKNESS OF MATERIAL / DEBLJINA MATERIJALA t=25mm | |
| IN ACCORDANCE WITH INSPECTION PROCEDURE / U SKLADU SA POSTUPKOM ISPITIVANJA: SUK.UP.1033.-10/29 | | |
| PENETRANT / PENETRANT TIEDE-PEN PWL-1 | SPACE TEMPERATURE / TEMPERATURA OKOLINE 20° | |
| DEVELOPER / RAZVIJAČ TIEDE-PEN DL-20 | PENETRATION TIME/ VRIJEME PENETRACIJE: 20 min | |
| SURFACE CLINER / ČISTILO POVRŠINE TIEDE-PEN RL-40 | DEVELOPING TIME / VRIJEME RAZVIJANJA 20min | |
| SURFACE CONDITION /STANJE POVRŠINE BRUŠENO / BRUSH - GRINDED | PENETRANT CLINER / ČISTILO PENETRANTA VODA / WATER | |
| EXAMINATION RESULT / REZULTAT ISPITIVANJA: PRIHVATLJIVO / ACCEPTABLE | | |
| Description: Opis: | | |
| EXAMINED AND ASSESS BY / ISPITAO I VALORIZIRAO: D.Maljković HRN EN 473 LEVEL II | DATE OF ISSUING / DATUM IZDAVANJA: SHIPYARD - PULA 13.11.2017 NON DESTRUCTIVE TESTING | REVIEWED / PREGLEDAO: G.Polonijo dipl.ing HRN-EN 473 Level III |

(Izvor: obrada autora)


Ultrazvučna metoda ispitivanja zavarenog spoja je najosjetljivija metoda neraznog ispitivanja u cilju pronalaska grešaka u zavarenom spoju. Funkcionira na principu ultrazvučnih valova koji se pomoću sonde šire kroz materijal, te nailaskom na određene nepravilnosti u zavarenom spoju odbijaju, te se vraćaju kao signal nazad na sondu, koji će se prikazati na ekranu ultrazvučnog uređaja. Ovom metodom moguće je pronaći greške naljepljivanja zavara (ujedno jedna od naj zastupljenih greški kod zidnog položaja), uključaka troske, pukotina, poroznosti, pa čak i izmjeriti točnu debljinu materijala.[7] Na slici 18 nalazi se marka i model ultrazvučnog uređaja, kojim je izvršena ultrazvučna kontrola, dok se na slici 19 nalazi izvještaj o ultrazvučnom ispitivanju.

Slika 18 Uređaj za ultrazvuk - Krautkramer USN 52



(Izvor: <http://jestineyong.com/wp-content/uploads/2017/11/fixing-ultrasonic-thickness-meter.jpg>)

Slika 19 Izvještaj ultrazvučne kontrole

| | | | |
|--|--|---|---|
|  | | NONDESTRUCTIVE INSPECTION DATA PODACI O KONTROLI BEZ RAZARANJA | Ev.No./Ev.br.: 1033.12.PA.001 Rp.No./Izv.br.: 49 Sheet/List: Sheets/Listova: |
| ULTRASONIC TESTING REPORT IZVJEŠĆE O ULTRAZVUČNOM ISPITIVANJU | | | |
| CLIENT / NARUČIOCI: | B.V. | | |
| OBJECT / OBJEKT: | ATESTACIJA POSTUPKA WPS 304 | | |
| DESIGN/NACRT: POSITION/POZICIJA: PC | TYPE OF MATERIAL TESTED/VRSTA ISPITANOG MATERIJALA: AINSI 316L +DH36 | | |
| EXTENT OF EXAMINATION / OPSEG KONTROLE: IN ACCORDANCE WITH DESIGN HRN EN ISO 5817 Level C,1712 LEVEL 3/DAC | SURFACE CONDITION / STANJE POVRŠINE: GRINDED - BRUSH | | |
| IN ACCORDANCE WITH INSPECTION PROCEDURE / U SKLADU SA POSTUPKOM ISPITIVANJA: SUK.UP.1033.-5/6/7/9/30/33/37 | | | |
| EQUIPMENT / UREĐAJ: ULTRASONIC - KRÄUTKRAMER " USN - 52 " | SENSITIVITY IN ACCORDING TO / OSJETLJIVOST PREMA: "E1 " | | |
| PROBE / SONDA: " MWB " 60 - 4 MHz " MWB " 70 - 4 MHz | CALIBRATION BLOCK / ETALON ZA BAŽDARENJE: V 1,2 | | |
| CABLE / KABEL: " MPKL " | GAUGING RANGE / MJERNO PODRUČJE: 100-200 mm | | |
| COUPLANT / KONTAKTNI MEDIJ: " ZG " | GAIN IN dB / POJAČANJE U DECIBELIMA: 46 - 52 dB | | |
| EXAMINATION RESULT / REZULTAT ISPITIVANJA: PRIHVATLJIVO / ACCEPTABLE | | | |
| Description: Opis: | | | |
| Recieved/Primio - Date/Datum: _____ | | | |
| EXAMINED AND ASSESS BY / ISPITAO I VALORIZIRAO: D.Maljković HRN EN 473 LEVEL III | DATE OF ISSUING / DATUM IZDAVANJA: SHIPYARD - PULA 13.11.2017 NON DESTRUCTIVE TESTING | REVIEWED / PREGLEDAO: G.Polonijo dipl.ing HRN EN 473 Level III | |

(Izvor: obrada autora)

9. ISPITIVANJE RAZNORODNOG SPOJA RAZORNIM METODAMA

Nakon što su sva ispitivanja nerazornim metodama pokazala prihvatljive testove, pristupa se mehaničkim ispitivanjima zavarenog spoja, odnosno razornim metodama ispitivanja.

Ispitivanja se vrše u skladu sa pravilima klasifikacijskog društva BV – Bureau Veritas.

Provodi se ispitivanje tvrdoće, ispitivanje na kidanje, ispitivanje na savijanje i ispitivanje dinamičke žilavosti pri temperaturi od 0°C.

Priprema epruveta strojno se obrađuje na dimenzije, određene u pravilima BV – Bureau Verits-a.

Mehanička ispitivanja izvode se u akreditiranom laboratoriju, koji se nalazi u sklopu

Uljanik strojogradnje, gdje su se ujedno i epruvete strojno obrađivale.

Na slici 20 nalaze se sve pripremljene epruvete koja su potrebne za mehaničko ispitivanje zavarenog spoja.

Pri ispitivanju mehaničkih svojstava u laboratoriji prisustvuju predstavnici klasifikacijskog društva BV – Bureau Veritas, ovlašteni laborant-kontrolor koji izvodi mehanička ispitivanja, te tehnolog zavarivanja.

Slika 20 Strojno obrađene ispitne epruvete

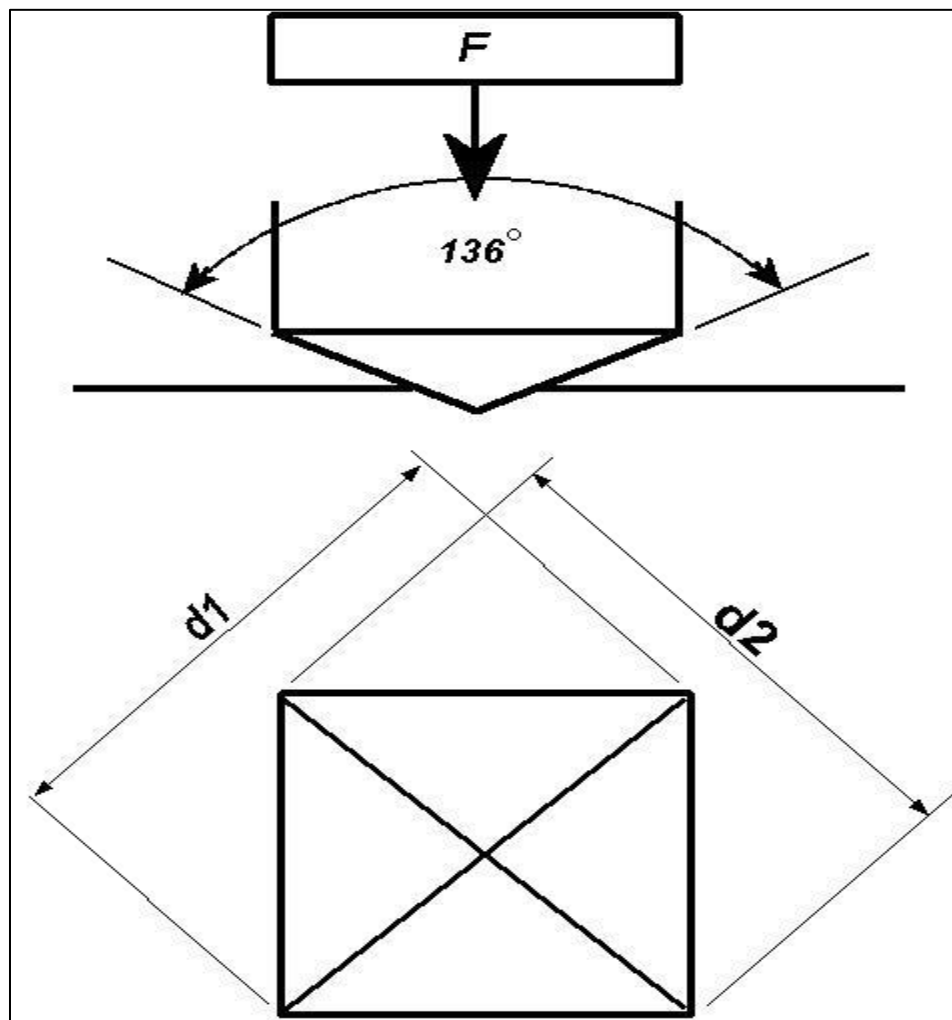


(Izvor: obrada autora)

Ispitivanje tvrdoće provodi se prema Vickersovoj metodi mjerenja tvrdoće. Otpornost nekog materijala prema prodiranja stranog tijela u njegovu površinu naziva se tvrdoća.

Upravo Vickersova metoda ispitivanja tvrdoće koristi četverostranu piramidu s vršnim kutom od 136° , koja se opterećuje određenom silom, te na površini ispitivanog materijala ostavlja udubljenje, kao što je prikazano na slici 21.[9]

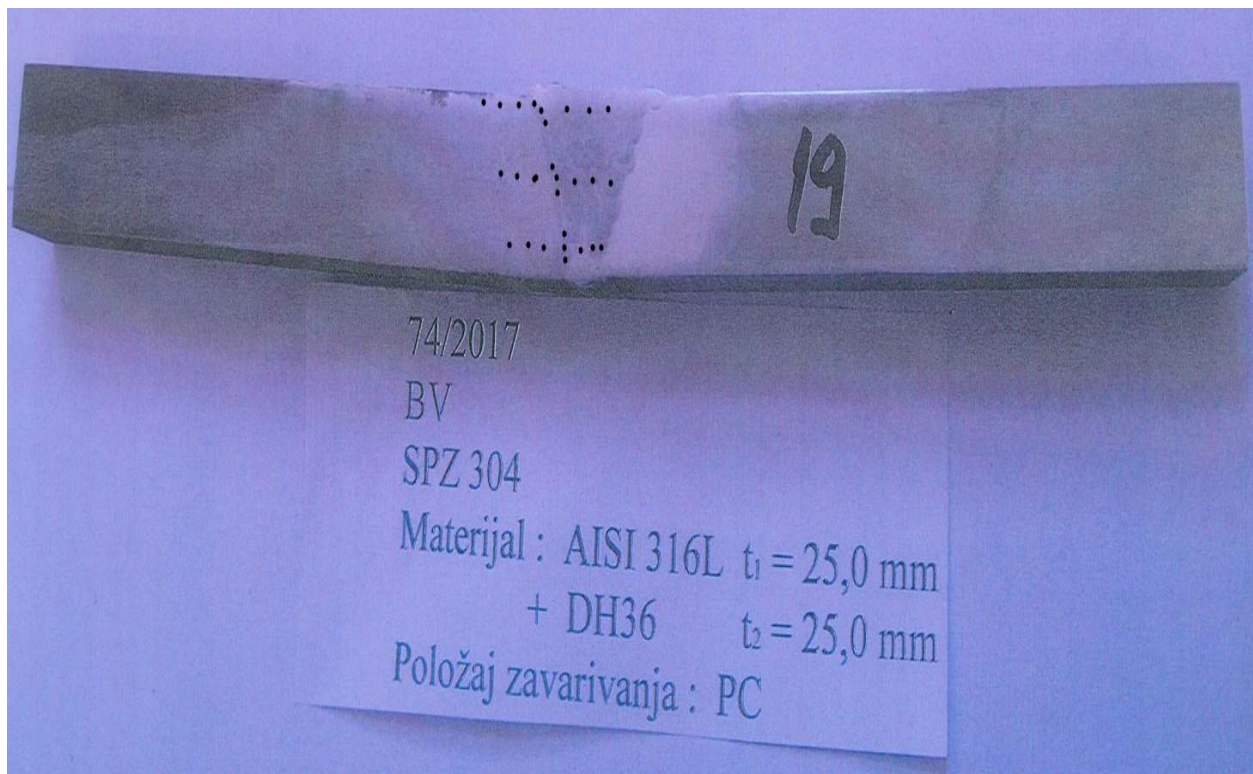
Slika 21 Vickersova metoda ispitivanja tvrdoće



(Izvor: <https://www.ispitivanje.com/smjernice-za-ispitivanje-tvrdoce/>)

Epruveta za ispitivanje tvrdoće, nakon strojne obrade polira se i nagriza nitalom (otopina dušične kiseline u alkoholu), kako bi se mogao vidjeti zavareni spoj, prolazi i ZUT - zona utjecaja topline. Na slici 22 nalazi se epruveta nakon ispitivanja i označenim mjernim točkama koje se određuju prema pravilima Bureau Veritas-a. Slika 23 prikazuje izvještaj ispitivanja tvrdoće sa svih 27 mjernih točaka.

Slika 22 Epruveta nakon ispitivanja tvrdoće



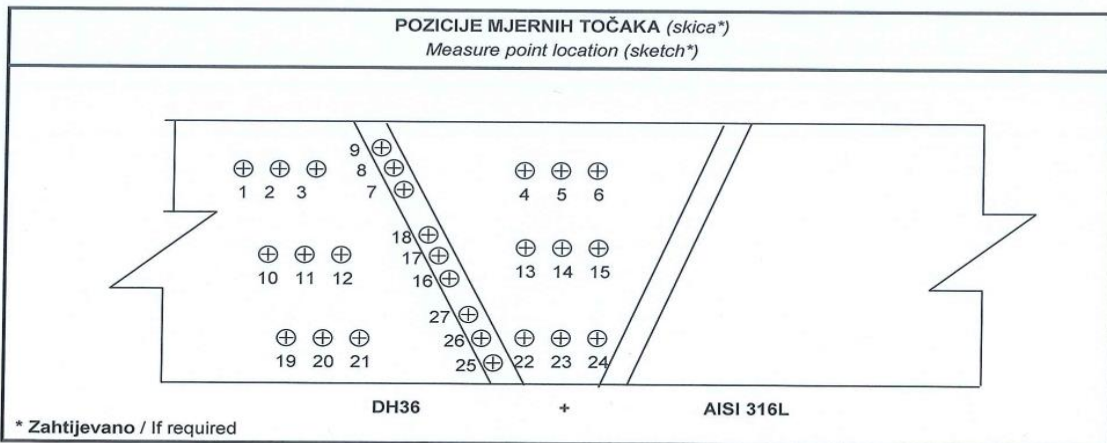
(Izvor: obrada autora)

Slika 23 Izvještaj ispitivanja tvrdoće zavarenog spoja

| | | |
|---|---|---|
|  ULJANIK STROJOGRAĐNJA d.d. Služba kontrole | IZVJEŠĆE – REPORT Mehanička ispitivanja <i>Mechanical properties testing</i> | Laboratorijski broj: <i>Lab. No:</i> 74/2017 |
| | | PN: F61612 Datum / Date 11.12.2017. |
| U skladu sa / <i>According to:</i> BV Atestacija postupka: SPZ 304 | | |

Materijal : DH36 t1= 25 mm + AISI 316L t2= 25 mm
 Pozicija zavarivanja PC

Epruvete br. 19



| UZORAK BR. / Sample No: 1. Gornji / upper | | UZORAK BR. / Sample No: 1. Srednja / middle | | UZORAK BR. / Sample No: 1. Donja / lower | |
|--|----------------------------|--|----------------------------|---|----------------------------|
| MJERNE TOČKE <i>Measure point</i> | REZULTAT <i>Results</i> | MJERNE TOČKE <i>Measure point</i> | REZULTAT <i>Results</i> | MJERNE TOČKE <i>Measure point</i> | REZULTAT <i>Results</i> |
| 1 OM / Parent metal | 202 | 10 OM / Parent metal | 176 | 19 OM / Parent metal | 171 |
| 2 OM / Parent metal | 185 | 11 OM / Parent metal | 170 | 20 OM / Parent metal | 178 |
| 3 OM / Parent metal | 206 | 12 OM / Parent metal | 187 | 21 OM / Parent metal | 197 |
| 4 Zavar / Weld metal | 253 | 13 Zavar / Weld metal | 272 | 22 Zavar / Weld metal | 285 |
| 5 Zavar / Weld metal | 250 | 14 Zavar / Weld metal | 272 | 23 Zavar / Weld metal | 264 |
| 6 Zavar / Weld metal | 243 | 15 Zavar / Weld metal | 274 | 24 Zavar / Weld metal | 274 |
| 7 ZUT / HAZ | 250 | 16 ZUT / HAZ | 245 | 25 ZUT / HAZ | 272 |
| 8 ZUT / HAZ | 289 | 17 ZUT / HAZ | 319 | 26 ZUT / HAZ | 242 |
| 9 ZUT / HAZ | 300 | 18 ZUT / HAZ | 270 | 27 ZUT / HAZ | 274 |
| HV 10 max. | 350 | HV 10 max. | 350 | HV 10 max. | 350 |

Kontrolor:
Inspector:




Rukovoditelj laboratorija:
Chief inspector:

 Strujogradnja d.d.
 Kontrola kvaliteta

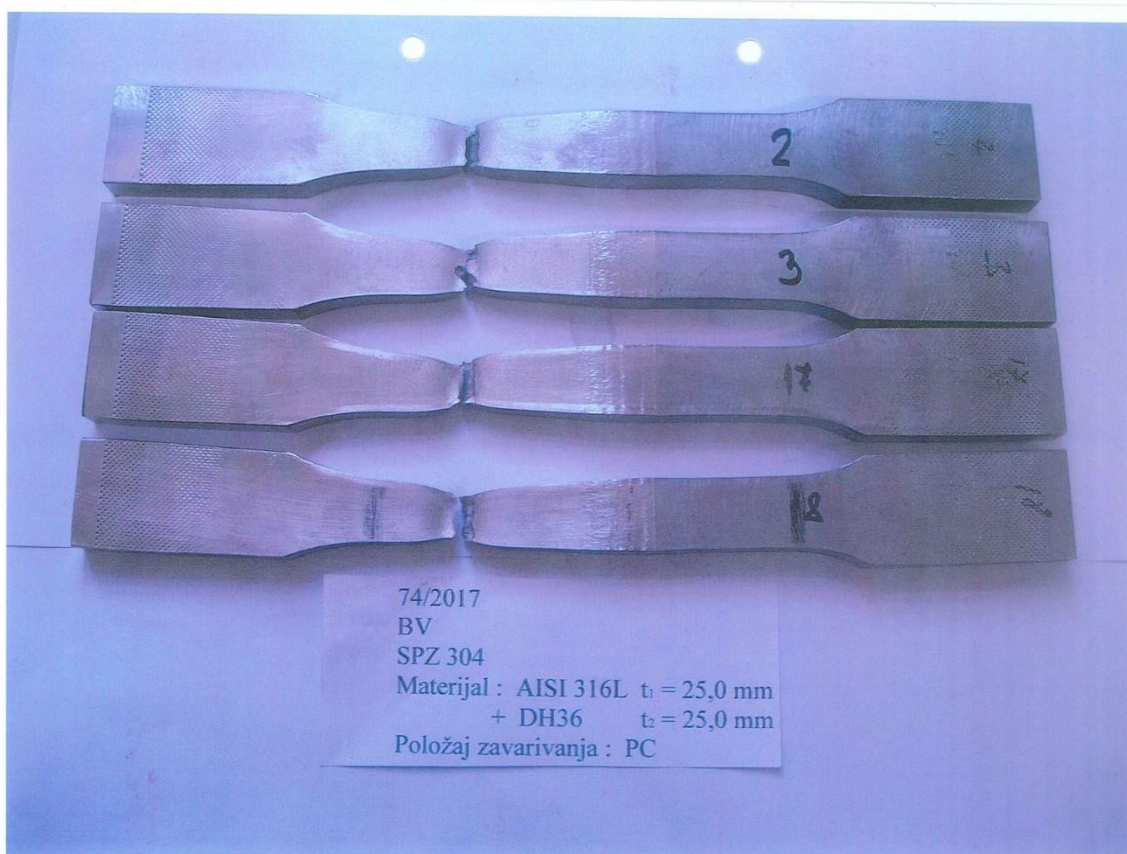
(Izvor: obrada autora)

Čvrstoća je jedno od osnovnih svojstava materijala, pa je tako i mehaničko ispitivanje čvrstoće veoma bitan pokazatelj mehaničke otpornosti materijala na naprezanje.

Vlačno ispitivanje ili ispitivanje na kidanje je postupak mehaničkog ispitivanja koji se vrši na kidalici. Ovim postupkom mehaničkog ispitivanja direktno na kidalici dobivaju se podatci vlačne čvrstoće materijala, produljenje i suženje poprečnog presjeka epruvete.


Na slici 24 prikazane su epruvete nakon mehaničkog ispitivanja čvrstoće, dok se na slici 25 nalazi izvještaj mehaničkog ispitivanja na kidanje i savijanje.

Slika 24 Epruvete nakon ispitivanja čvrstoće



(Izvor: obrada autora)

Slika 25 Izvještaj ispitivanja na kidanje i savijanje

| | | |
|---|--|---|
|  <p>ULJANIK Strojogradnja Diesel d.d.</p> <p>U skladu sa /According to : BV Atestacija postupka: SPZ / WPS 304</p> | <p>IZVJEŠTAJ REPORT o mehaničkom ispitivanju materijala on Mechanical Testing of Materials</p> | <p>Broj labor. dnevnika 74/2017</p> <p>Broj proizv.naloga F61612</p> <p>Datum 20.12.2017.</p> |
|---|--|---|

Materijal: DH 36 t1 = 25,0 mm + AISI 316L t2 = 25,0 mm Položaj zavarivanja : PF : PC

Ispitivanje na kidanje

Tension Testing

| Redni br. | Oznaka epruvete | Dimenzije presjeka mm ² | Površina mm ² | Otporn. na kidanje | | Granica razvlačenja | | Izduženje | | Kontrakcija | |
|-----------|-----------------|------------------------------------|--------------------------|--------------------|-------------------|---------------------|---------------------------|------------|------|---------------------|---|
| | | | | Tensile Strength | | Yield point | | Elongation | | Reduction of area | |
| | | | | F/N | F/mm ² | F/N | δs(02%) N/mm ² | Δl mm | s. % | F/k mm ² | ψ |
| 1 | 2 | 14,0 x 25,0 | 350 | 198800 | 568 | 150000 | 429 | | | | |
| 2 | 3 | 14,0 x 25,0 | 350 | 198500 | 567 | 148000 | 423 | | | | |
| 3 | 17 | 14,0 x 25,0 | 350 | 200000 | 571 | 145000 | 414 | | | | |
| 4 | 18 | 14,0 x 25,0 | 350 | 200500 | 573 | 149000 | 426 | | | | |
| 5 | | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | | |

Opaska : Epruvete pukle van zavara u AISI 316L .

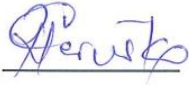
Ispitivanje savijanjem

Bending Test


| redni broj | Oznaka epruvete | Dimenzije epruvete | Promjer trna (mm) | Kut savijanja | Ispitivanje |
|------------|-----------------|--------------------|-------------------|---------------|-----------------|
| 1 | 4 | 10 x 25 | 40 | 180 | bočno savijanje |
| 2 | 5 | 10 x 25 | 40 | 180 | bočno savijanje |
| 3 | 15 | 10 x 25 | 40 | 180 | bočno savijanje |
| 4 | 16 | 10 x 25 | 40 | 180 | bočno savijanje |
| | | | | | |

Opaska : Ispitivanje na savijanje O.K.


Ispitivač:
Tester:




Inspektor:
Surveyor:



Ruk. Laboratorija
Chief of Laboratory:





Strojogradnja Diesel d.d.
Kontrola kvalitete Pula

(Izvor: obrada autora)

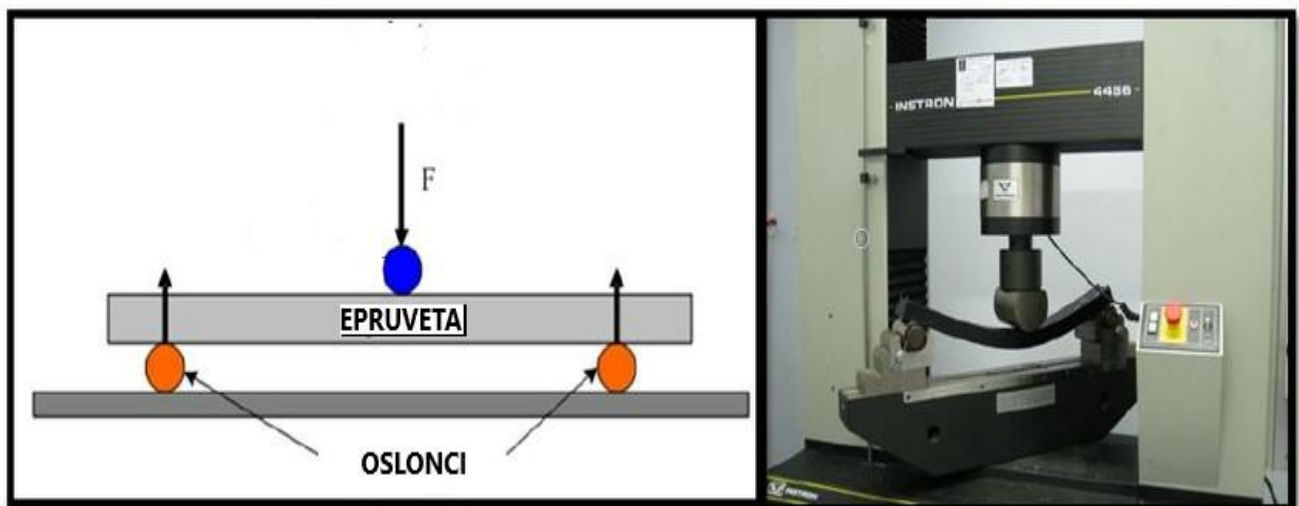
Mehaničkim ispitivanjem materijala savijanjem dovija se podatak u čvrstoći na savijanju zavarenog spoja, ali moguće je otkriti i nalijepljene zavara na osnovni materijal.

Savijanje epruveta se vrši sa korijenske strane zavarenog spoja i lica zavarenog spoja.

Na slici 26 prikazan je postupak ispitivanja savijanjem epruveta i stroj za savijanje.

Nakon savijanja epruvete se pregledavaju i ako postoje pukotine u zavarenom spoju one se analiziraju prema veličini, obliku i mjestu nastanka. Na slici 27 nalaze se epruvete nakon savijanja, a na slici 25 nalazi se izvještaj mehaničkog ispitivanja zavarenog spoja savijanjem.

Slika 26 Ispitivanje savijanjem zavarenog spoja



(Izvor: obrada autora)

Slika 27 Epruvete nakon ispitivanja savijanjem



(Izvor: obrada autora)

Mehaničko ispitivanje dinamičke žilavost dobivamo podatak o žilavosti materijala, odnosno njegovoj sposobnosti da se plastično deformira bez pojave krhkog loma.

Na slici 28 nalazi se uređaj na kojem se udarnom radnjom loma ispituje dinamička žilavost zavarenog spoja.

Slika 28 Charpyevo klatno




(Izvor: <https://5.imimg.com/data5/QF/MF/MY-553814/charpy-impact-testing-machine-500x500.jpg>)

Normom HR EN 10045-1 propisane su dimenzije i oblik epruveta za udarnu radnju loma. Epruvete mogu imati „U“ ili „V“ zarez, te se zarez uvijek postavlja točno nasuprot vrha bata. Žilavost materijala opada pri snižavanju temperature, te su se stoga ovi uzorci ispitivali pri temperaturi od 0°C.

Suhim ledom (tekući CO₂ + alkohol) uzorci se mogu ohladi na temperaturu do -70°C.

Najveći broj epruveta upravo se izrađuje za ispitivanje žilavosti, jer se ispituju tri različita područja zavarenog spoja, a svako područje radi izračuna srednje vrijednosti ima tri epruvete koje se ispituju. Na slici 28 nalazi se izvještaj ispitivanja dinamičke žilavosti zavarenog spoja.

Slika 29 Izvještaj ispitivanja dinamičke žilavosti

| | | |
|--|--|---------------------------------|
|  ULJANIK Strojogradnja Diesel d.d. | IZVJEŠTAJ REPORT o mehaničkom ispitivanju materijala on Mechanical Testing of materials | Broj labor. dnevnika 74/2017 |
| Kontrola kvalitete Ispitivanje se vrši prema propisima: BV | | Broj proizv.naloga F61612 |
| | | Datum 20.12.2017. |

Atestacija postupka zavarivanja SPZ / WPS 304
 Materijal : DH36 t1= 25,0 mm + AISI 316L t2 = 25,0 mm Položaj zavarivanja : PC

Ispitivanje dinamičke žilavosti
 Impact Test

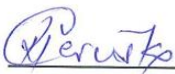
| Redni broj | Oznaka epruvete | Postignuta žilavost | Srednja vrijednost (J) | Position |
|------------|-----------------|---------------------|------------------------|---|
| 1 | 6 | 63 | 60 | utor po sredini zav. |
| 2 | 7 | 58 | | |
| 3 | 8 | 59 | | |
| 4 | 9 | 133 | 138 | utor u zoni staljivanja |
| 5 | 10 | 132 | | |
| 6 | 11 | 149 | | |
| 7 | 12 | 108 | 137 | utor 2 mm od zone staljivanja prema DH 36 |
| 8 | 13 | 147 | | |
| 9 | 14 | 155 | | |

Opaska:


Ispitivanje je rađeno na 0° C

epruvete KCV 2 x 2 10 x 10 x 55


Ispitivač:
Tester:




Inspektor:
Surveyor:



Ruk.Laboratorija:
Chief of laboratory:





(Izvor: obrada autora)

10. ZAKLJUČAK

U ovome radu dan je prikaz i detaljno objašnjenje zavarivanja raznorodnih čelika. Elektrolučno zavarivanje MAG postupkom zavarivanja dva raznorodna čelika AISI 316L i DH36. Jedan čelik potpuno austenitne strukture, korozijski postojan, ne magnetičan, dok drugi ima feritnu strukturu, nije korozijski postojan i magnetičan je.

Temeljem ovog rada može se zaključiti da postupak zavarivanja ovih čelika u zidnoj poziciji na keramičku podlogu nije nimalo lagan zadatak. Prije svega potrebno je iznimno znanje iz poznavanja materijala kako bi se temeljem Schaeffler-ovog dijagrama mogao izabrati odgovarajući dodatni materijal, koji će učiniti zavareni spoj istih ili boljih mehaničkih svojstava kao osnovni materijali. Nakon odabira dodatnog materijala, slijedi priprema rubova spoja. Potrebno je određeno zavarivačko iskustvo kako bi se odabrala prava priprema za zavarivanje u zidnoj poziciji, kako se radi o zavarivanju sa praškom punjenom žicom, spoj se priprema za keramičku podlogu.

U radu je opisan postupak postavljanja keramičke podloge kod zidne pozicije zavarivanja, veoma je bitno pravilno postaviti keramičku podlogu kako bi se izbjeglo naljepljivanje u korijenskom zavaru.

Tehnika rada i sposobnosti zavarivača koji zavaruje raznorodni spoj ključ su uspješno zavarenog spoja sa odličnim mehaničkim svojstvima. Rad prikazuje praćenje parametara zavarivanja prema SPZ-u (specifikacija postupka zavarivanja), kojih se zavarivač mora držati kako bi spoj zadržao karakteristike potrebne da se zadovolje uvjeti nadzornog tijela.

Samo pridržavanje parametara ne osigurava ujedno i kvalitetu spoja, tehnika zavarivanja kontrola zavarenog spoja koja se sastoji od metode nerazornog i razornog ispitivanja. Sva ispitivanja odvijaju se u akreditiranom laboratoriju, prema pravilima normi i klasifikacijskog društva koje vrši nadzor broda. Tek nakon svih pozitivnih i prihvatljivih normom propisanih rezultata dobiva se odobrene za početak izrade takvih raznorodnih spojeva.

Ovim radom dokazano je da je moguće uspješno zavariti, odnosno spojiti dva raznorodna materijala u homogeni spoj koji ima sva potrebna mehanička svojstva da bude upotrebljiv kao konstrukcijsko rješenje na brodu ili nekoj drugoj građevini.

Zavarivanje nije samo spajanje dva ili više materijala u homogeni spoj, zavarivanje je postupak koji zahtjeva opširno znanje iz više područja znanosti, odlične psihofizičke sposobnosti zavarivača, snalažljivost, te iziskuje velik napor da se dokaže pravilnost određenog spoja.

POPIS LITERATURE

[1] Lukačević, Z. : Zavarivanje, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Slavonski Brod, 1998., preuzeto sa internet stranice:

<https://documents.tips/documents/lukacevic-zavarivanjepdf.html>

[2] Internet stranica http://www.konimb.hr/blog/sto_je_inox.html

[3] Internet stranica – diplomski rad Niko Skala, Zagreb 2009.

http://repositorij.fsb.hr/640/1/30_06_2009_Niko_cjeloviti_rad.pdf

[4] Beara, Lj. Efikasnost primjene keramičkih podloga pri zavarivanju. Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje.

[5] Zavarivanje -- Preporuke za zavarivanje metalnih materijala -- 1. dio: Opće smjernice za elektrolučno zavarivanje (EN 1011-1:2009)

[6] Pravila Bureau Veritas BV – Internet stranica

<http://erules.veristar.com/dy/app/bootstrap.html>

[7] Internet stranica – Nerazorna ispitivanja PPT

https://www.grad.unizg.hr/download/repository/1P-NDT_%5BRead-Only%5D.pdf

[8] Kriterij prihvatljivosti - Razina kvalitete s obzirom na nepravilnosti (ISO 5817:2014; EN ISO 5817:2014)

[9] Internet stranica – Mehanička svojstva materijala – ispitivanje tvrdoće

<http://brod.sfsb.hr/~ikladar/Materijali%20Ispitivanje%20tvrdoce.pdf>

[10] dr.sc. Stoja Rešković: Ispitivanje materijala, Metalurški fakultet sveučilišta u Zagrebu, preuzeto sa Internet stranice:

<https://www.simet.unizg.hr/hr/nastava/predavanja/preddiplomski-sveucilisni-studij-metalurgija/2-godina-preddiplomskog/web1.pdf/view>

POPIS SLIKA

| | |
|---|----|
| Slika 1 MAG postupak zavarivanja | 5 |
| Slika 2 Aparat za MAG zavarivanje | 5 |
| Slika 3 TEHNIČKE SPECIFIKACIJE DODATNOG MATERIJALA | 9 |
| Slika 4 "V" spoj..... | 10 |
| Slika 5 Obrađeni kut polovice spoja-22.5° | 11 |
| Slika 6 Pripremljeni "V" spoj..... | 12 |
| Slika 7 Keramička podloga | 13 |
| Slika 8 Postavljanje keramičke podloge na spoj | 13 |
| Slika 9 Pravilno postavljen spoj, pod pravim kutem | 14 |
| Slika 10 Specifikacija postupka zavarivanja | 16 |
| Slika 11 Autor osobno zavaruje spoj u zidnoj poziciji | 17 |
| Slika 12 Zavareni spoj - prolazi | 18 |
| Slika 13 Mjerenje brzine zavarivanja..... | 20 |
| Slika 14 Vizualna kontrola | 22 |
| Slika 15 Izvještaj vizualne kontrole | 23 |
| Slika 16 Ispitivanje penetrantima | 24 |
| Slika 17 Izvještaj penetrantske kontrole..... | 25 |
| Slika 18 Uređaj za ultrazvuk - Krautkramer USN 52 | 26 |
| Slika 19 Izvještaj ultrazvučne kontrole | 27 |
| Slika 20 Strojno obrađene ispitne epruvete | 29 |
| Slika 21 Vickersova metoda ispitivanja tvrdoće | 30 |
| Slika 22 Epruveta nakon ispitivanja tvrdoće | 31 |
| Slika 23 Izvještaj ispitivanja tvrdoće zavarenog spoja..... | 32 |
| Slika 24 Epruvete nakon ispitivanja čvrstoće | 33 |
| Slika 25 Izvještaj ispitivanja na kidanje i savijanje | 34 |
| Slika 26 Ispitivanje savijanjem zavarenog spoja | 35 |
| Slika 27 Epruvete nakon ispitivanja savijanjem | 36 |
| Slika 28 Charpyevo klatno | 37 |
| Slika 29 Izvještaj ispitivanja dinamičke žilavosti | 38 |

POPIS TABLICA

| | |
|---|---|
| Tablica 1 Kemijski sastav AISI 316L | 6 |
| Tablica 2 Kemijski sastav čelik DH36..... | 7 |

POPIS SIMBOLA

V = brzina zavarivanja [cm/min].

s = duljina zavara [mm].

t = vrijeme zavarivanja [s].

Q = unesena količina topline [kJ/cm].

I = jakost struje zavarivanja [A].

U = napon električnog luka [V].

K = koeficijent iskoristivosti električnog luka.