

Mjerenje i kontrola dimenzija zavarenih spojeva

Mikulek, Nikola

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/um:nbn:hr:122:524862>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-05-15**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





Sveučilište Sjever

Završni rad br. 348/PS/2021

Mjerenje i kontrola dimenzija zavarenih spojeva

Nikola Mikulek, 1513/336

Varaždin, svibanj 2021. godine



Sveučilište Sjever

Proizvodno strojarstvo

Završni rad br. 348/PS/2021

Mjerenje i kontrola dimenzija zavarenih spojeva

Student

Nikola Mikulek, 1513/336

Mentor

doc.dr.sc. Matija Bušić

Varaždin, svibanj 2021. godine

Prijava završnog rada

Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

SEZONI: Odjel za strojarstvo

STUDIJ: preddiplomski stručni studij Proizvodno strojarstvo

PRIMJERENIK: Nikola Mikulek

NASTAVNI BROJ: 1513/336

DATUM: 28.04.2021.

KOLEGIJA: Tehnologija 3

MASLOV RADA: Mjerjenje i kontrola dimenzija zavarenih spojeva

MASLOV RADA (ENGL. JEZIKU): Measurement and control of welded joint dimensions

MENTOR: dr.sc. Matija Bušić

CRANJE: docent

ČLANOVNI PREDSTAVNIČTVO:

1. doc.dr.sc. Zlatko Botak predsjednik povjerenstva

2. doc.dr.sc. Matija Bušić, mentor, član

3. Marko Horvat, dipl.ing. član

4. doc.dr.sc. Tomislav Veltiki, rezervni član

5. _____

Zadatak završnog rada

SEZONI: 34B/PS/2021

OPIS:

U završnom radu pristupnik treba na temelju literaturnih podataka proučiti vizualnu kontrolu zavarenih spojeva. Detaljno je potrebno proučiti i navesti sve vrste pogrešaka koje se pojavljuju u zavarenim spojevima nastalim taljenjem materijala. Ustanoviti dimenzijske pogreške nastale pri zavarivanju. Navesti i opisati način korištenja mjerila za mjerjenje dimenzija i otkrivanje grešaka na zavarenim spojevima.

U eksperimentalnom dijelu rada na zadanim uzorcima zavarenih spojeva potrebno je pomoći dostupnih mjernih alata izvršiti mjerjenje dimenzije zavara. Prezentirati rezultate mjerjenja te donijeti zaključke na temelju iskustva steknutog kroz rad na eksperimentu.

IZDARIVAN DNEŠAK: 04.05.2021.



OPIŠ MENTORA

M. Bušić

Sveučilište Sjever



SVEUČILIŠTE
SJEVER

IZJAVA O AUTORSTVU I SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tudihih radova (knjiga, današnja, doktorskih disertacija, magisterskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tudihih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tudihih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tudeg znanstvenog ili stručnog rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, Nikola Mikulek (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivo autor/ica završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom Mjerenje i kontrola dimenzija zavarenih spojeva (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tudihih radova.

Student/ica:
(upisati ime i prezime)

(vlastoručni potpis)

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljaju se na odgovarajući način.

Ja, Nikola Mikulek (ime i prezime) neopozivno izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom Mjerenje i kontrola dimenzija zavarenih spojeva (upisati naslov) čiji sam autor/ica.

Student/ica:
(upisati ime i prezime)

(vlastoručni potpis)

Predgovor

Zahvaljujem se svom mentoru doc.dr.sc. Matiji Bušiću na pomoći i ustupljenom vremenu prilikom izrade ovog završnog rada.

Zahvaljujem se cijeloj obitelji na strpljenju i podršci koju su mi pružali prilikom studiranja.

Sažetak

Ovaj završni rad sastoji se od dva dijela. Prvi dio biti će općeniti dio koji govori o metodi ispitivanja zavarenih spojeva nerazornim metodama (NDT metoda). U tom prvom teoretskom dijelu biti će navedene i pobliže objašnjene metode nerazornog ispitivanja zavarenih spojeva. Također biti će navedene i objašnjene sprave uz pomoć kojih se vrši mjerjenje i sama kontrola. Osim NDT metode postoji i DT metoda, opisat će se osnovna razlika između tih dviju metoda. Koje su prednosti jedne, i nedostaci druge metode, te koja metoda se najčešće koristi u postrojenjima za zavarivanje. Spomenuta je i norma koja je vezana uz NDT metodu.

Drugi dio završnog rada baziran je na eksperimentalnom radu u laboratoriju sveučilišta. U tom dijelu vršilo se ispitivanje zavarenih spojeva nerazornim metodama (KBR metoda). Prezentirani su rezultati i postupci, kao i zaključci dobiveni provođenjem mjerjenja i kontrole dimenzija zavarenih spojeva.

Ključne riječi: nerazorna metoda, ispitivanje zavarenih spojeva, mjerjenje zavarenih spojeva

Summary

This final student work consists of two parts. The first part will be a general part that talks about the method of testing welded joints by non-destructive methods (NDT method). In this first theoretical part, the methods of non-destructive testing of welded joints will be listed and explained in more detail. The devices with which the measurement and the control itself are performed will also be listed and explained. In addition to the NDT method, there is also the DT method, the basic difference between these two methods will be described. What are the advantages of one, and the disadvantages of the other method, and which method is most often used in welding facilities. The norm related to the NDT method was also mentioned.

The second part of the final work is based on experimental work in the university laboratory. In that part, welding of welded joints was performed by non - destructive methods (NDT method). The results and procedures are presented, as well as the conclusions obtained by measuring and controlling the dimensions of welded joints.

Keywords: non-destructive method, testing of welded joints, measurement of welded joints

Popis korištenih kratica

NDT (KBR)	kontrola bez razaranja (Non-destructive testing)
DT (KR)	kontrola razaranjem (Destructive testing)
ZT	zona taljenja
ZUT	zona utjecaja topline
EPP	elektrolučno zavarivanje pod zaštitom praška
REL	ručno elektrolučno zavarivanje
MIG	elektrolučno zavarivanje taljivom žicom u zaštiti inertnog plina
MAG	elektrolučno zavarivanje taljivom žicom u zaštiti aktivnog plina

Sadržaj

1.	Uvod.....	1
2.	Vizualna kontrola zavara (HRN EN ISO 17637:2017)	2
2.1.	Kontrola prije, za vrijeme i nakon zavarivanja	3
2.2.	Vizualna kontrola repariranih zavara	4
3.	Greske u zavarenim spojevima	5
3.1.	Potencijalne greske koje je moguce uociti vizualnom metodom ispitivanja	6
3.1.1.	<i>Tople i hladne pukotine</i>	6
3.1.2.	<i>Lamelarne pukotine i pukotine uslijed naknadne toplinske obrade</i>	8
3.1.3.	<i>Poroznosti zavarenog spoja</i>	9
3.1.4.	<i>Nedovoljan provar korijenskog zavara i naljepljivanje</i>	10
3.1.5.	<i>Čvrsti uključci</i>	11
3.2.	Nepravilan oblik zavarenog spoja	12
3.2.1.	<i>Ugorine u zavaru</i>	12
3.2.2.	<i>Preveliko nadvišenje zavara</i>	13
3.2.3.	<i>Preveliko nadvišenje korijena zavara</i>	14
3.2.4.	<i>Konkavnost korijena zavara</i>	14
3.2.5.	<i>Oštar prijelaz između osnovnog materijala i zavara</i>	15
3.2.6.	<i>Preklop materijala zavara na površine osnovnog materijala bez staljivanja</i>	16
3.2.7.	<i>Nesimetrični kutni zavar</i>	17
3.2.8.	<i>Nepravilno izveden nastavak zavara</i>	17
3.2.9.	<i>Ulegnuće lica zavara</i>	18
3.3.	Dimenzijske pogreške prilikom zavarivanja	19
3.3.1.	<i>Linearna pomaknutost u sučeljavanju</i>	19
3.3.2.	<i>Promjene oblika i dimenzija zavarenog komada</i>	20
4.	Metode i sprave za otkrivanje grešaka i mjerjenje dimenzija zavarenih spojeva	21
4.1.	Boroskop i razna povećala	22
4.2.	Jednostavno mjerilo u obliku kapljice vode	22
4.3.	Šablone za mjerjenje visine kutnog zavara	24
4.4.	HI-LO mjerna skala.....	25
4.5.	Bridge cam gauge (mostno mjerilo)	29
4.6.	V-WAC mjerilo.....	32
4.7.	AWS mjerna skala.....	35
4.8.	SKEW-T kutno mjerilo	38
5.	Eksperimentalni rad	40
6.	Zaključak.....	49
7.	Literatura	50

1. Uvod

Od samih početaka zavarivanja i zbog eksploracije zavarenih proizvoda neki vid kontrole tih zavarenih spojeva morao je nastati. Prvi i glavni način kontrole zavarenog spoja je dakako vizualni tip kontrole. Vizualni tip kontrole spada u skupinu NDT metode ispitivanja. Vizualna metoda je jedna od najvažnijih metoda ispitivanja zavara. Tom metodom moguće je uočiti neke nepravilnosti nastale tijekom zavarivanja i spriječiti da kasnije tijekom eksploracije proizvoda dođe do otkaza pojedinih komponenti. Kada se zavreni spojevi nebi kontrolirali, nitko nebi mogao garantirati da zavreni spojevi osiguravaju traženu čvrstoću i da će proizvod tijekom eksploracije biti siguran za upotrebu. Zbog toga se kod postupka zavarivanja vizualna kontrola provodi u tri koraka.

Prvi korak takve kontrole je kontrola prije zavarivanja, zatim kontrola samog postupka zavarivanja i na kraju kontrola samog zavarenog spoja. Osim vizualne kontrole, postoje i razne druge metode kao i mjerila kojima se utvrđuje kakvoća zavarenih spojeva. Naravno da osim nerazornih metoda postoje i razorne metode ispitivanja. Ali takva ispitivanja vrše se na pojedinim primjercima gdje se želi utvrditi kakvoća strukture zavarenih spojeva, kao i sama tvrdoća zavarenog spoja, ali se mogu primijetiti i razne poroznosti ili nepravilnosti unutar zavara ako postoje. Međutim taj proizvod koji se podvrgnuo razornoj metodi ispitivanja više nije moguće upotrijebiti u nekoj eksploraciji pa se u industriji najčešće koristi NDT metoda ispitivanja.

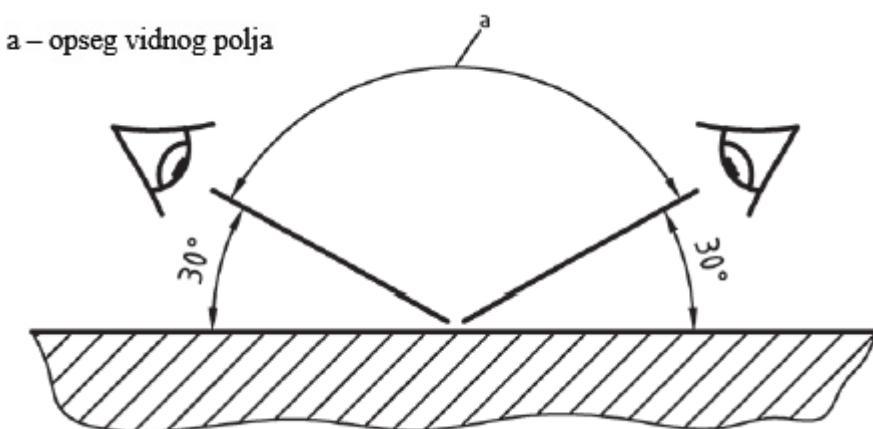
Za samu nerazornu metodu ispitivanja postoji norma HRN EN ISO 17637:2017. Norma HRN EN ISO 17637:2017 je europska norma koja je prihvaćena i u hrvatskoj. Ta se norma temeljni na vizualnoj kontroli zavarenih spojeva nastalim taljenjem. Dakako ta norma vrijedi i za samu pripremu pozicije koja se zavaruje.

Sam sadržaj norme diktira nam način na koji i kako se pravilno kontrolira sam postupak prije zavarivanja kao i sam zavreni spoj.

2. Vizualna kontrola zavara (HRN EN ISO 17637:2017)

Ovo je norma NDT metode za vizualnu kontrolu zavarenih spojeva. U ovom dijelu biti će navedeni i objašnjeni pravilni postupci i sam tijek pregleda prije, za vrijeme i nakon zavarivanja neke vrste fuzijom spajanih dijelova.

Za pravilni pregled ravne površine, sama površina mora biti osvijetljena svjetlošću minimalne jakosti 350 lx-a. Međutim za kvalitetan pregled ipak se preporuča osvjetljenje od 500 lx. Za izravan pregled površine, sama površina koja se kontrolira mora biti na udaljenosti unutar 600 mm od oka. Isto tako ugao promatranja same površine ne smije biti manji od 30° .^[1] Sam postupak inspekcije pomoću povećala, boroskopa ili nekih drugih kamera, te upotreba dodatnog osvjetljenja upotrebljava se kada nije moguće izvršiti inspekciju golim okom navedenim postupkom. Kada nam vizualna kontrola ne daje jasne pokazatelje ispravnosti ili u drugu ruku neispravnosti zavarenog spoja, tada se primjenjuju neke nerazorne metode ispitivanja.



Slika 1.0. Vizualna kontrola ravne površine

Vizualnu kontrolu i krajnje zaključke tih rezultata smije provoditi samo pravilno obučena i sposobljena osoba. Preporučuje se da osoba koja provodi testiranje bude kvalificirana prema standardu ISO 9712 ili nekom drugom ovisno o segmentu proizvodnje.

2.1. Kontrola prije, za vrijeme i nakon zavarivanja

Prije samog čina zavarivanja, važno je obaviti kontrolni pregled površina koje se zavaruju dok je još moguće doprijeti do tih površina. Prilikom tog pregleda važno je uočiti sljedeće :

- a) Površine i dimenzije zavarujućih dijelova ovisno o postupku zavarivanja moraju biti u skladu sa specifikacijama za zadani postupak zavarivanja.[1]
- b) Površine koje će se zavarivati odnosno taliti prilikom zavarivanja (ZT), moraju biti očišćene nekim od postupaka koji su navedeni u specifikaciji za određeni postupak zavarivanja i vrsti materijala koji se zavaruje.[1]
- c) Dijelovi koji se zavaruju pravilno su fiksirani jedan u odnosu na drugog, prema zadanim nacrtima.[1]

Za vrijeme samog postupka zavarivanja ako to sama tehnologija nalaže važno je kontrolirati sljedeće:

- a) Nakon svakog prolaza važno je očistiti zavar prije nego li se kreće sa drugim prolazom. Posebnu pažnju treba pridonijeti mjestu gdje se spajaju osnovni i dodatni materijali prilikom zavarivanja. [1]
- b) Ukoliko se primijete nepravilnosti kao što su pukotine, razne poroznosti ili neke uključevine, treba poduzeti mjere prije nego li se nanosi sljedeći prolaz.[1]
- c) Svaki prolaz mora biti izведен na način da se svaki sljedeći prolaz prilikom taljenja dobro poveže sa osnovnim materijalom. [1]
- d) Dubina i oblik žljeba je u skladu sa postupkom zavarivanja, kako bi se prilikom taljenja, troska mogla uzdignuti na površinu zavara prilikom skrućivanja.[1]
- e) Nakon bilokakve intervencije ili popravke prilikom zavarivanja, krajnji zavar je u skladu sa specifikacijama tog zavara. [1]

Nakon zavarivanja provodi se zadnje vizualno ispitivanje zavara. Tim ispitivanjem utvrđuje se dali sam zavareni spoj zadovoljava zahtjevima proizvoda :

1. Čišćenje zavara:
 - a) Nakon zavarivanja potrebno je ukloniti trosku kako bi se mogle primijetiti potencijalne nepravilnosti u samom zavaru. [1]
 - b) Prilikom skidanja troske ili viška zavara, treba pripaziti da se u sam zavar ne unese preveliki toplinski input. [1]
2. Oblik i dimenzija zavara:
 - a) Profil površine zavara i bilo koje nadvišenje zavara mora biti u skladu sa kriterijima.[1]

- b) Površina zavara mora biti pravilna, a uzorak zavara mora biti vizualno zadovoljavajući. Udaljenost između prolaza i osnovnog materijala mora biti mjerena tamo gdje to propisuje tehnologija. [1]
- c) Širina zavara je konstantna cijelom dužinom zavarenog spoja i zadovoljava zahtjevima proizvoda. U slučaju sučeonog spoja potrebno je provjeriti da li je zavar ispunjen čitavom dužinom i odgovara li nacrtima za taj zavar. [1]

3. Korijen zavara i čelo zavara

- a) Kod jednostranih sučeonih zavara, konkavnosti korijenskog dijela zavara moraju biti u skladu sa zadanim kriterijima za tu vrstu zavara, ovisno o daljnjoj eksploataciji proizvoda. [1]
- b) Ukoliko postoji ugorina, ona mora biti u granicama tolerancije za taj proizvod. [1]
- c) Bilokakve poroznosti ili pukotine, koje su otkrivene uz pomoć optičkih pomagala u ZT ili u ZUT-u moraju biti u granicama tolerancije za taj proizvod. [1]
- d) Objekti koji su bili zavareni na poluproizvod radi olakšane proizvodnje ili montaže, naknadno moraju biti uklonjeni i područje unosa toplinskog toka (ZUT) mora biti provjeroeno radi potencijalnih pukotina. [1]
- e) Ukoliko postoji prskanje luka, ono mora biti u granicama tolerancije. [1]

2.2. Vizualna kontrola repariranih zavara

Kada zavar ne odgovara zadanim kriterijima, tada se zavar podvrgava mjerama uz pomoć kojih se rješavaju nedosljednosti i greške samog zavara. Nakon što se zavar doradi ponovno se podvrgava nizu pregleda nakon kojih se utvrđuje ispravnost zavarenog spoja.

Kod djelomičnog uklanjanja zavara, sav dio zavara koji nije prošao inspekciju mora biti uklonjen u potpunosti. A novi dio mora biti žlijebljen na način da se reparacijski zavar može izvesti kvalitetno.

U slučaju potpunog uklanjanja zavara, dimenzije i oblik žljeba u kojem će se stvarati novi zavareni spoj moraju udovoljavati uvjetima za izvorni zavar.

3. Greške u zavarenim spojevima

Prilikom svakog tehnološkog procesa unutar kojeg postoji određeni toplinski input, postoji opasnost od deformacije ili potencijalnog loma. Isti takav slučaj je i prilikom zavarivanja. Nastajanjem zavarenog spoja postoji mogućnost raznih uključevina u samom zavaru, deformacija radnog komada kao i nastajanje pukotina. Neke od ovih grešaka mogu se manifestirati tokom proizvodnje u kojoj odmah dolazi do loma i otkaza proizvoda, a u nekim dolazi do loma tijekom eksploatacije ukoliko greška nije uočena prilikom kontrole.

Greške koje nastaju u izradi proizvoda, prema uzroku nastajanja mogu se podijeliti na konstrukcijske greške, metalurške greške i tehnološke greške. Prema vrsti grešaka tu imamo greške: [2]

- Plinski uključci
- Uključci u čvrstom stanju
- Naljepljivanje
- Nedostatak provara
- Tople i hladne pukotine
- Pogreške u obliku i dimenzijama

Konstrukcijske greške nastaju prilikom pogrešnog oblikovanja dijela proizvoda koji se izrađuje postupkom zavarivanja. Pogrešnim dimenzioniranjem dijela konstrukcije koji je podvrgnut nekom vrstom dinamičkog ili statičkog opterećenja.[2]

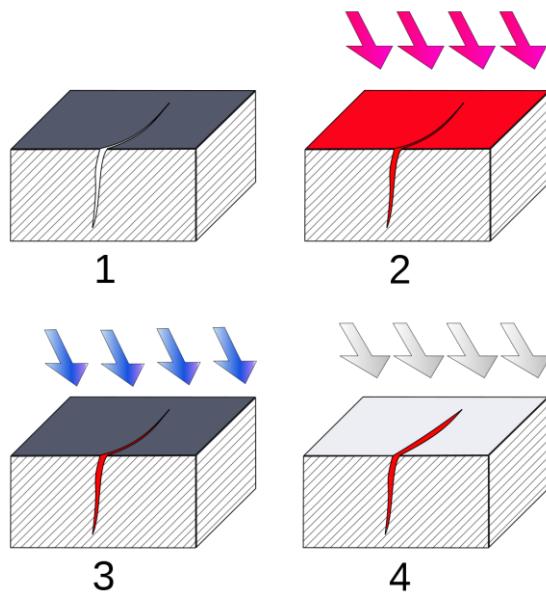
Metalurške greške su greške koje se javljaju u zoni taljenja i one su vezane uz termodinamičke pojave kod procesa taljenja materijala. Te greške ovise o dalnjem hlađenju rastaljene kupke metala, te pojavom kristalizacije. U metalurške greške spadaju razni uključci, zatim pukotine, zaostala troska u rastaljenom materijalu te previše tvrda struktura koja je nastala zakaljivanjem materijala.[2]

Tehnološke greške su najčešće greške koje se javljaju zbog nepravilne tehnologije zavarivanja. Često se znaju zaobilaziti i preskakati koraci koji su propisani kvalitetnom tehnologijom pa dolazi do raznih grešaka. Kako bi se izbjegle ovakve vrste grešaka, kod konstrukcija koje kasnije moraju podnositi razna opterećenja, potrebno je vršiti nadzor prilikom zavarivanja. Najčešće greške ovog tipa su: naljepljivanje, nedostatak provara, deformacije i zaostala naprezanja , neodgovarajuće dimenzije zavara i ostale.[2]

3.1. Potencijalne greške koje je moguće uočiti vizualnom metodom ispitivanja

3.1.1. Tople i hladne pukotine

Od samih pukotina tijekom ili nakon postupka zavarivanja postoje hladne i tople pukotine, pukotine uslijed naknadne toplinske obrade ili lamelarne pukotine (odvajanje zavarenog spoja u slojevima). Slijed otkrivanja površinskih pukotina je sljedeći. Prvo se zavareni spoj vizualno pregledava, uz pomoć ili bez povećala. Ako se otkrije potencijalna površinska pukotina, tada se površina priprema za metodu penetrantske kontrole. Površina treba biti odmašćena i suha, zatim se nanosi sloj penetranta. Nakon toga uklanja se sloj penetranta i nanosi se razvijač, koji je različite boje od penetranta. Nakon nekog vremena ako postoji pukotina u koju se zavukao penetrant, razvijač je izvuče van i pukotina je vidljiva golim okom.



Slika 3.1. Penetrantska metoda ispitivanja pukotina [2]

U praksi se najčešće pojavljuju hladne pukotine. Hladne pukotine najčešće nastaju pri hlađenju zavara i to pri temperaturama ispod 200°C [2]. Međutim postoji mogućnost nastajanja hladnih pukotina i nekoliko dana nakon samog postupka zavarivanja. Takve pukotine mogu nastati u zoni taljenja i zoni utjecaja topline. Mogu se manifestirati kao pukotine okomite na smjer zavarivanja, paralelno uz smjer zavarivanja ili pod nekim drugim kutom. Takve pukotine

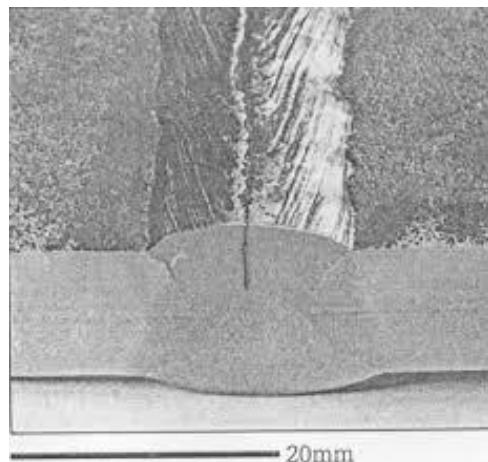
nastaju zbog zarobljenog vodika koji nije uspio izaći iz zavarenog spoja. Sklonost hladnim pukotinama može se analitički izračunati preko ekvivalenta ugljika.

Tople pukotine nastaju prilikom skrućivanja zavarenog spoja. To su pukotine koje nastaju prilikom kristalizacije na visokim temperaturama, približno 900 °C [2]. Također i ove pukotine kao i hladne pukotine mogu nastati u ZT i ZUT-u. Prijelomna površina toplih pukotina je tamnije boje nego li je površina hladnih pukotina, jer zbog utjecaja visoke temperature dolazi do oksidacije materijala. Glavni uzrok toplih pukotina jesu naprezanja koja djeluju unutar samog zavarenog spoja. Dakako uzrok pukotina mogu biti i razne uključevine koje vrše pritisak unutar zavara i dalnjem hlađenjem i skupljanjem materijala uzrokuju lom. Postoje dva osnovna tipa pukotina:

- Kristalizacijska pukotina [2]
- Podsolidusne pukotine [2]

Kristalizacijske pukotine su pukotine koje nastaju u zoni taljenja prilikom kristalizacije. Prilikom stvaranja kliza kristalizacije i dalnjem hlađenju i skupljanju materijala, ako unutar zavara ostane neka nečistoća, dalnjem hlađenjem stvara se naprezanje unutar zavara i dolazi do toplog loma.

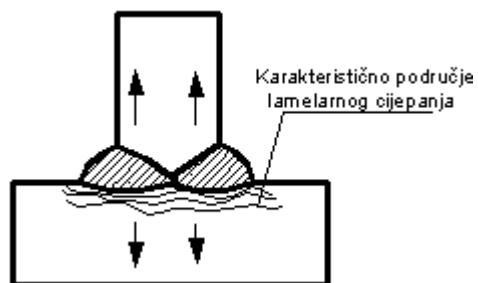
Podsolidusne pukotine često nastaju u zoni utjecaja topline. Također mogu nastati okomito na smjer zavarenog spoja, paralelno sa smjerom zavarenog spoja ili pod bilo kojim drugim kutom. Nastaju kao posljedica nehomogenosti strukture osnovnog materijala. Odnosno na granicama zrna prilikom zagrijavanja osnovnog materijala pojave se nečistoće. Dalnjim hlađenjem osnovnog materijala, ostaju zaostala naprezanja u području tih nečistoća i javlja se topli lom. U samoj zoni utjecaja topline nije došlo do taljenja osnovnog materijala, ali je uslijed visoke temperature došlo do pada čvrstoće na samim granicama zrna.



Slika 3.2. Prikaz tople pukotine zavarenog spoja [2]

3.1.2. Lamelarne pukotine i pukotine uslijed naknadne toplinske obrade

Lamelarne pukotine odnosno lamelarno odvajanje nastaje u zoni utjecaja topline. Ima tendenciju daljnog širenja u osnovni materijal. Nastaje kao posljedica nehomogenosti osnovnog materijala. Unosom topline dolazi do povećanja napetosti u samom materijalu. Zbog utjecaja visokih toplina i samom činjenicom da postoje nehomogenosti odnosno određene nečistoće koje se zagrijavanjem luče na površinu dolazi do raslojavanja odnosno pucanja materijala. Do ove vrste pukotine može doći kako kod debljih tako i tanjih limova. Te nečistoće unutar samog lima dospjele su nekim procesom valjanja. Prisutnost nehomogenosti moguće je utvrditi Baumannovim testom [2]. Ako postoji mogućnost zamjene dijela konstrukcije koji je sklon raslojavanju onda je poželjna zamjena. Međutim ako nije moguća zamjena drugim materijalom, onda je moguće uz odgovarajuću tehnologiju zavarivanja, kontrolu prilikom zavarivanja smanjiti vjerojatnost pojave lamelarne pukotine.



Slika 3.3. Prikaz lamelarnog raslojavanja [2]

Pukotine nastale dodatnom toplinskom obradom ili dodatnim zagrijavanjem najčešće nastaju zbog prevelike brzine zagrijavanja. Odnosno u slučaju kad postoji preveliki gradijent temperature u odnosu na površinu, te pri naglom ohlađivanju. Ovakav tip pukotina često nastaje kad se osnovni materijal platira EPP postupkom. Drugim slojem platiranja dolazi do neželenog efekta jer se drugim prolazom dodatno zagrijava zona utjecaja topline od prethodnog prolaza. Takva gruba struktura ima lošija mehanička svojstva što može dovesti do loma ispod platiranog sloja.[2]

Debeli komadi koji se zavaruju, prije samog postupka zavarivanja moraju biti predgrijani na određenu temperaturu. Predgrijanje se vrši kako bi se izbjeglo naglo ohlađivanje zavarenog spoja te izbjegle potencijalne pukotine kao i nepoželjne tvrde mikrostrukture koje nisu otporne na dinamička opterećenja.

3.1.3. Poroznosti zavarenog spoja

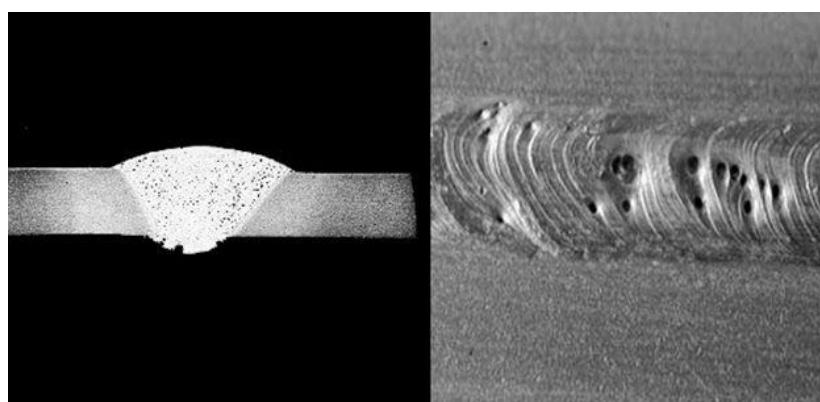
Poroznosti su nesavršenosti unutar zavarenog spoja koje se manifestiraju kao plinski mjeđurići. Unutar samog zavarenog spoja pojavljuju se kao šupljine koje se mogu nalaziti na samoj površini, ili dublje u zavaru. Nastaju kao posljedica zaostalog plina koji nije uspio izaći iz metalne kupke prije nego li je došlo do skrutnjavanja. Najčešći plinovi koji ostaju zarobljeni unutar zavara jesu dušik i vodik [2]. Njihova topljivost je veća u rastaljenom nego u krutom materijalu. Kada se materijal rastali, otopi se i vodik i dušik unutar metalne kupke. Kada krene postupak skrutnjavanja, mjeđurići plinova krenu izranjati na površinu. Međutim, ukoliko je brzina skrutnjavanja prevelika, plinovi ostaju zarobljeni u zavarenom spaju i oblikuju razne šupljine i poroznosti unutar zavarenog spoja. Poroznost se najčešće javlja prilikom uspostavljanja i prekidanja električnog luka.

Jedni od čestih uzroka poroznosti jesu:

- Vлага na osnovnom materijalu ili dodatnom materijalu [2]
- Nedovoljno odstranjena boja sa osnovnog materijala [2]
- Nedovoljna zaštita električnog luka prilikom zavarivanja (jak vjetar) [2]
- Pogrešni parametri zavarivanja [2]

Načini i metode sprječavanja nastanaka poroznosti:

- Očistiti i odmastiti mjesto zavarivanja
- Osušiti osnovni materijal, ukoliko je zavarivanje REL postupkom koristiti suhe elektrode, a ne vlažne
- Koristiti odgovarajuću količinu zaštitnog plina ovisno o uvjetima zavarivanja
- Pravilno uspostavljanje električnog luka i držanje elektrode pod odgovarajućim kutem [2]



Slika 3.4. Prikaz površinske i unutarnje poroznosti zavarenog spoja [2]

3.1.4. Nedovoljan provar korijenskog zavara i naljepljivanje

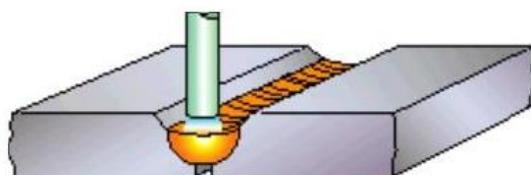
Nedovoljan provar je greška koja se javlja u samom korijenu zavara. Prilikom taljenja osnovnog i dodatnog materijala, nije došlo do protaljivanja samog korijenskog dijela zavara. Naljepljivanje je pak nepostojanje čvrste veze unutar zavarenog spoja. Naljepljivanje može biti na stranice žlijeba osnovnog materijala, može biti naljepljivanje između slojeva zavara. Ovakve vrste grešaka posebno su opasne za dijelove konstrukcija koje su podvrgnute nekom vrstom dinamičkog opterećenja [3].

Neki od uzroka nastajanja naljepljivanja i nedovoljnog protaljivanja korijenskog dijela zavara:

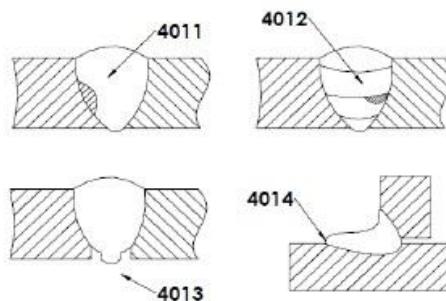
- Premala jakost struje i prevelika brzina povlačenja elektrode ili sapnice [3]
- Nepravilan položaj zavarivanja (pogrešno držanje nagiba elektrode ili sapnice) [3]
- Nedovoljno dobra ili pogrešna priprema spojnog mjesa [3]
- Nedovoljno čiste površine spoja [3]

Načini sprječavanja nastanka naljepljivanja i nedovoljnog provara:

- Dobra obuka zavarivača
- Koristiti pravilne parametre zavarivanja (jakost struje i brzina vođenja elektrode) [3]
- Korištenje odgovarajuće količine zaštitnog plina [3]



Slika 3.5. nedovoljni provar [4]



Slika 3.6. Naljepljivanje [4]

3.1.5. Čvrsti uključci

Uključci unutar zavara mogu biti metalni ili nemetalni. Što se tiče metalnih uključaka u to može ulaziti prilikom TIG postupka zavarivanja komadić same volfram elektrode ukoliko se dogodi odvajanje vrška elektrode ili naljepljivanje. Također kod postupka zavarivanja aluminija može doći do ulaska samog aluminijskog oksida u talinu. Aluminijev oksid ima temperaturu tališta oko 2000°C , te se u zavaru može pojaviti u obliku krutog uključka [5]. Kod nemetalnih uključaka uglavnom se radi o troski koja nije uspjela izići na površinu prije samog skrtnjavanja ili pak može biti zarobljen pjesak ukoliko se vrši postupak zavarivanja pod zaštitom pjeska. Najčešće se čvrsti uključci pojavljuju u obliku troske. Prilikom zavarivanja u više prolaza ukoliko se ne otkloni sva troska, sljedećim prolazom ta troska biti će prekrivena ili zarobljena na površini novog prolaza.

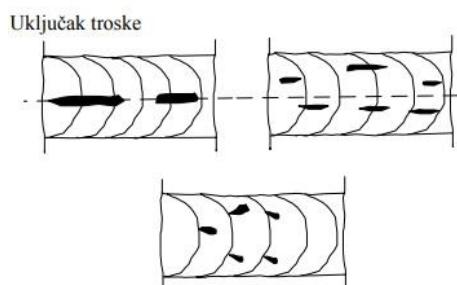
Ukoliko unutar prolaza ostane zarobljen uključak strane materije, zbog sila koje djeluju na materijal koji se ohlađuje, može doći do pukotina samog zavara. Ukoliko i ne dođe do samih pukotina, uključci negativno utječu na čvrstoću i pouzdanost zavarenog spoja. Veličina kao i količina uključaka drastično utječe na čvrstoću samog zavara kao i cijele konstrukcije. Ukoliko se konstrukcija tokom eksploatacije izlaže dinamičkom opterećenju, postupak zavarivanja kao i priprema samog postupka treba biti nadgledana kako bi se umanjio rizik pojavljivanja uključaka.

Česti uzroci pojavljivanja uključaka:

- Nedovoljno očišćena troska između pojedinih prolaza [3]
- Pogrešni parametri zavarivanja kao što su jakost struje i brzina povlačenja elektrode
- Nedovoljno obučeni zavarivač (pogrešna tehnika zavarivanja) [3]

Načini sprječavanja pojave uključaka:

- Potrebno je između svakog prolaza u potpunosti ukloniti trosku [3]
- Podesiti parametre zavarivanja (jakost struje, brzina povlačenja elektrode kao i sam kut držanja elektrode) [3]



Slika 3.7. Uključak u obliku zarobljene troske [4]

3.2. Nepravilan oblik zavarenog spoja

Nepravilan oblik zavara je jedna vrsta pogreške koja nije samo estetske prirode. Pogreške u obliku zavara za posljedicu imaju smanjenu čvrstoću i nosivost konstrukcije opterećene nekom vrstom dinamičkog opterećenja. Ova vrsta pogrešaka vidljiva je golim okom i pogodna je za vizualnu kontrolu kao i za mjerena tih odstupanja.[4]

3.2.1. Ugorine u zavaru

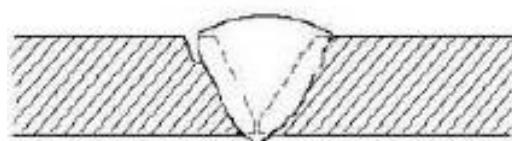
Ugorine su vrste pogrešaka oblika zavarenog spoja koje se manifestiraju kao vrlo oštiri zarezi na mjestu prijelaza između osnovnog materijala i zavarenog prolaza. Najčešće se javljaju kod sučeonih i kutnih spojeva prijelaza zavar-osnovni materijal, međutim mogu se javiti i kod prijelaza zavar-zavar kod višeslojnog zavarivanja. Ovakve pogreške mogu biti po cijelom dijelu zavarenog spoja ili mjestimice. Ugorine nastaju nepravilnom tehnikom zavarivanja, kao i upotrebom pogrešnih parametara zvarivanja. Ugorine najčešće nastaju zavarivanjem u REL, MIG i MAG postupku. Naročito dolazi do ugorina u vertikalnom zavarivanju i to u položaju odozdo prema gore. Kod konstrukcija koje su dinamički opterećene ugorine su krajnje nepoželjne. Zarezi uz duž zavara kod dinamički opterećenih konstrukcija izazivaju mjesto potencijalnih pukotina.[3]

Najčešći razlozi nastajanja ugorina:

- Prejaka struja zavarivanja i držanje previsokog luka [4]
- Nedovoljno očišćeni rubni dijelovi sučeonog spoja (hrđa i okujina) [4]
- Nedovoljno obučeni zavarivač

Načini sprječavanja nastanka ugorina

- Podesiti parametre zavarivanja i pravilno držanje elektrode i održavanje električnog luka [4]
- Ukloniti svu hrđu sa rubova kao i okujinu [4]
- Pravilno obučiti zavarivača



Slika 3.7. Prikaz ugorine [4]

3.2.2. Preveliko nadvišenje zavara

Preveliko nadvišenje zavara je prekomjerno gomilanje dodatnog materijala na licu zavara [4]. Ovakav tip pogreške prilikom zavarivanja najčešće nastaje u zavarivanju sa više prolaza. Najčešće se u pretposljednjem zavaru izvrši preveliki depozit dodatnog materijala, a zadnji prolaz oblikuje suviše visoko nadvišenje. Također ovakve pogreške nadvišenja nastaju prilikom vertikalnog zavarivanja odozdo prema gore u postupcima REL i MIG/MAG [3].

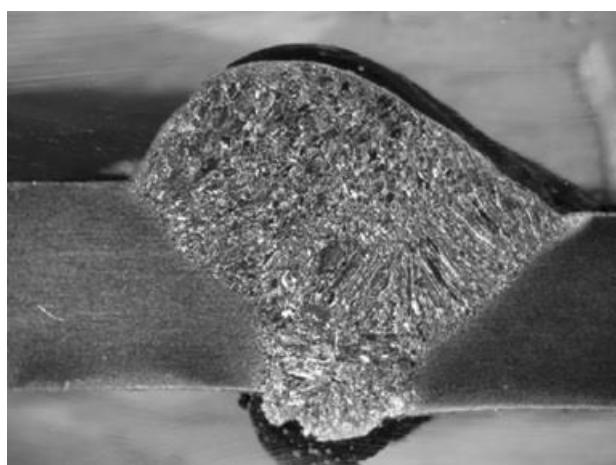
Osim neprivlačnog vizualnog izgleda zavara, posljedice ove pogreške u eksploataciji mogu biti katastrofalne. Naime zbog samog nadvišenja i oštrog prijelaza između lica zavara i osnovnog materijala, tijekom eksploatacije može doći do otkaza dijela konstrukcije. Sam oštri rub ukoliko je dio konstrukcije dinamički opterećen ima zarezno djelovanje i postoji mogućnost pojave pukotine na tom dijelu konstrukcije. Ukoliko nastane, nadvišenje je potrebno obrusiti.

Načini nastanka prevelikog nadvišenja zavara:

- Premala brzina povlačenja elektrode [3]
- Preveliki depozit dodatnog materijala [3]
- Nedovoljno obučeni zavarivač

Načini sprječavanja nastanka prevelikog nadvišenja lica zavara:

- Pravilno podesiti parametre zavarivanja [3]
- Održavati dobru brzinu zavarivanja [3]
- Smanjiti depozit dodatnog materijala [3]
- Pravilno obučiti zavarivača



Slika 3.7. Prikaz nadvišenja lica zavara [3]

3.2.3. Preveliko nadvišenje korijena zavara

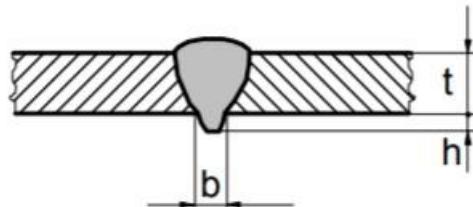
Preveliko nadvišenje korijenskog dijela zavara je višak materijala u korijenskom dijelu koji se manifestira kao ispučenost. Kod sučeonih spojeva ovakva vrsta pogreške javlja se ukoliko je razmak između pripremljenih stijenki (u žlijebu) prevelik [3]. Isto kao i kod nadvišenja lica zavara ovaj tip pogreške je nepoželjan, jer oštri rub prijelaza kod dinamičko opterećene konstrukcije ima zarezno djelovanje i postoji mogućnost javljanja loma.

Uzroci nastajanja korijenskog nadvišenja:

- Preveliki razmak između pripremljenih stijenki žlijeba [3]
- Premala brzina povlačenja elektrode [3]
- Preveliki depozit dodatnog materijala [3]
- Previše jaka struja [3]

Načini sprječavanja nastajanja nadvišenja korijenskog dijela zavara:

- Obaviti dobru pripremu prije zavarivanja
- Dobro podešiti parametre zavarivanja
- Obučiti zavarivača



Slika 3.9. Nadvišenje korijena zavara [4]

3.2.4. Konkavnost korijena zavara

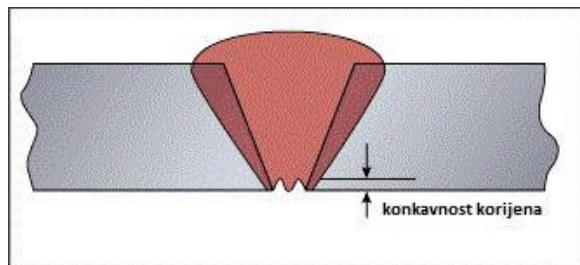
Konkavnost je tip pogreške koji se manifestira kao nedovoljno popunjeni korijenski zavar. Ova vrsta pogreške ima za posljedicu smanjenje debljine zavarenog spoja. Nastaje najčešće u nadglavnom položaju zavarivanja sučeonih spojeva [4]. Zbog gravitacije u nadglavnom položaju talina se slijeva u centar pripremljenog žlijeba i dodatnim ohlađivanjem dolazi do uvlačenja korijena zavara. Ova vrsta pogreške u korijenskom dijelu nije toliko opasna kao greška nedovoljnog protaljivanja samog korijena

Uzroci nastajanja konkavnosti korijena zavara:

- Preveliki razmak u korijenskom dijelu pripremljenog žlijeba [3]
- Nedovoljna obučenost zavarivača

Načini sprječavanja nastanka konkavnosti korijenskog zavara:

- Obaviti dobru pripremu prije zavarivanja [3]
- Obučiti zavarivača



Slika 3.10. Konkavnost korijena zavara [6]

3.2.5. Oštar prijelaz između osnovnog materijala i zavara

Ovakva vrsta pogreške očituje se kao oštro nadvišenje lica zavara u odnosu na osnovni materijal kod sučeonog spoja. Kod ovakvog tipa pogreške kut α je premali u odnosu na zadane kriterije [3]. Kod ovog tipa pogreške u eksploataciji može doći do otkaza dijela konstrukcije podvrgnutog dinamičkom opterećenju zbog zareznog djelovanja zavara. Zbog toga je potrebno obrusiti takav zavar i povećati kut α .

Uzroci stvaranja ovog tipa pogreške:

- Preslabi napon i struja zavarivanja [3]
- Preveliki depozit materijala [3]
- Nedovoljno obučeni zavarivač

Načini sprječavanja nastanaka ovog tipa pogreške:

- Podesiti parametre zavarivanja [3]
- Obučiti zavarivača



Slika 3.11. Premali kut nadvišenja [4]

3.2.6. Preklop materijala zavara na površine osnovnog materijala bez staljivanja

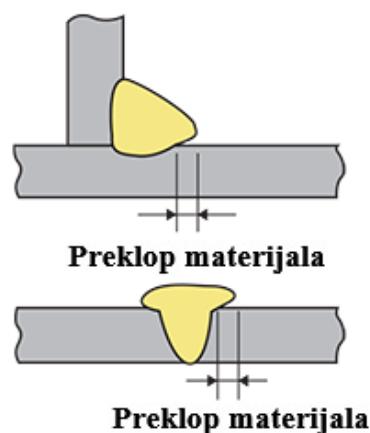
Ovakav tip pogreške može se dogoditi kod sučeonih i kutnih tipova zavarenih spojeva. Česti slučaj je da se preklop dogodi kao u licu zavara tako i u korijenskom dijelu. Do ove greške dolazi ukoliko se prilikom postupka zavarivanja stvara velika kupka taline. Ukoliko površine osnovnog materijala nisu pravilno očišćene, a višak taline iz žlijeba se izlije po stranici osnovnog materijala dolazi do skrutnjavanja i stvaranja preklopa [4]. Okujina ili oksidi na površinama osnovnog materijala nisu dozvolili stapanje taline sa osnovnim materijalom. U korijenu zavara kod sučeonog spoja kada se zavarivanje vrši na metalnoj podlozi, ukoliko postoji određena zračnost između podloge i osnovnog materijala, talina iz žlijeba podlije se i na taj način stvori se preklop materijala. Taj preklop ukoliko nastane, potrebno je brušenjem ukloniti. Ukoliko se preklop ne ukloni, kod dinamičko opterećene konstrukcije postoji mogućnost javljanja loma zbog zareznog djelovanja.

Uzroci nastajanja preklopa:

- Stvaranje velike količine taline koja se izlije iz žlijeba [4]
- Nedovoljno očišćeni rubovi osnovnog materijala [4]
- Sporo povlačenje elektrode ili sapnice [4]
- Nepravilno podešeni parametri zavarivanja (jakost struje i depozit dodatnog materijala) [4]

Načini sprječavanja nastajanja preklopa:

- Podesiti dobre parametre za postupak kojim se vrši zavarivanja [4]
- Izvršiti dobru pripremu osnovnog materijala prije postupka zavarivanja [4]
- Obučiti zavarivača



Slika 3.12. Preklop materijala sučeonog i kutnog spoja

3.2.7. Nesimetrični kutni zavar

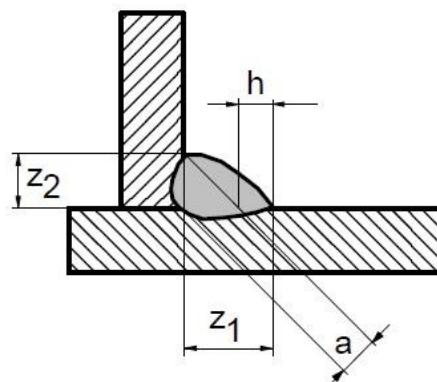
Ovakva vrsta pogreške nastane prilikom kutnog zavarivanja. Na jednoj stranici kutnog zavara nalazi se veći dio zavara, dok na drugoj stranici manji. Najčešće nastaje prilikom vodoravnog zavarivanja kutnog zavara prilikom kojeg je došlo do nepravilnog držanja elektrode ili sapnice pištolja za zavarivanje. Ukoliko je potrebno izvesti visoki zavar, a zavarivač je odlučio da će zavar izvršiti u jednom prolazu onda uslijed sile gravitacije dolazi do gomilanja zavara na horizontalnoj ploči. Posljedica toga je nesimetričnost zavarenog spoja. [4]

Uzroci nastajanja nesimetričnog zavara:

- Pogrešni parametri zavarivanja
- Nedovoljno obučeni zavarivač

Načini sprječavanja nastajanja nesimetričnog kutnog zavara:

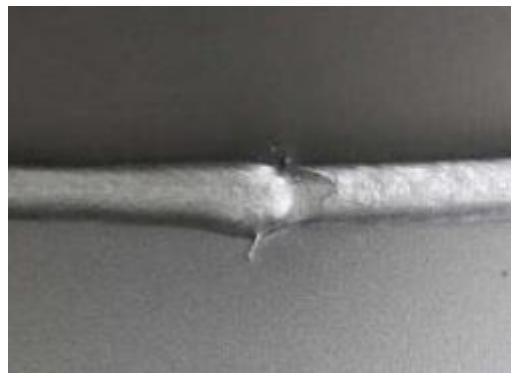
- Podesiti pravilne parametre zavarivanja
- Visine zavara iznad 5 mm izvoditi u više prolaza [3]
- Obučiti zavarivača



Slika 3.13. Asimetričnost kutnog zavara [4]

3.2.8. Nepravilno izveden nastavak zavara

Ovakva vrsta pogreške prilikom zavarivanja nastaje zbog nedovoljno obučenog zavarivača. Ovakav tip pogreške dalje u eksploataciji može imati za posljedicu nastanka pukotine. Način kako da se spriječi ovakva vrsta pogreške je da se zavarivač obuči za pojedine postupke zavarivanja.



Slika 3.14. Nepravilno izveden nastavak zavara [6]

3.2.9. Ulegnuće lica zavara

Ovo je vrsta pogreške slična pogrešci u kojoj imamo previše uzdignuti materijal na licu zavara. Ovdje se javlja kao manjak materijala u žlijebu zavara. Za posljedicu ima manju debljinu zavarenog spoja u sučenoj izvedbi kao i u kutnoj izvedbi zavara. Često se javlja kod zavarivanja u više prolaza. Ukoliko je srednji prolaz nedovoljno popunjen, u zadnjem prolazu se ne ostvari dovoljan depozit materijala i posljedica je nedovoljno popunjeno lice zavara. Ukoliko dođe do ove pogreške, posljednji prolaz mora se izbrusiti i napraviti u njemu maleni žlijeb. Nakon toga izrađuje se posljednji prolaz koji u potpunosti popunjuje žlijeb i stvara lagano nadvišenje. Ukoliko se ova pogreška ne sanira, postoji mogućnost pojave loma zbog nedovoljne debljine spoja.

Uzroci nastajanja ulegnuća lica zavara:

- Pogrešnog nagiba elektrode ili sapnice pištolja u horizontalno-vertikalnom položaju (zidni položaj) zavarivanja [4]
- Nedovoljni depozit materijala u pretposljednjem i posljednjem prolazu [4]
- Nedovoljno obučeni zavarivač

Načini sprječavanja nastanaka ulegnuća zavara:

- Obučiti zavarivača
- Podesiti ispravne parametre za postupak zavarivanja



Slika 3.16. Ulegnuće lica zavara [6]

3.3. Dimenzijske pogreške prilikom zavarivanja

3.3.1. Linearna pomaknutost u sučeljavanju

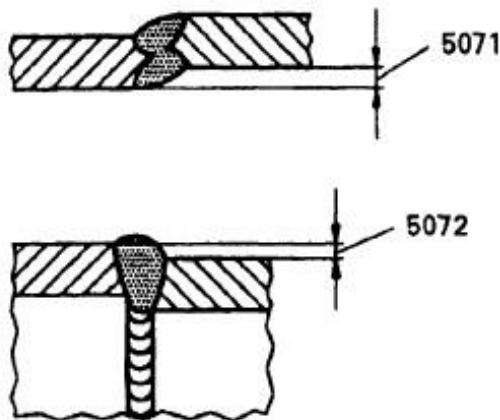
Ovakva vrsta pogreške nastaje prilikom neadekvatne pripreme prije samog postupka zavarivanja. Ovo je pogreška koja za posljedicu ima dva osnovna materijala koja mogu ali i ne moraju biti jednake debljine, a koja nisu u ravnini sa osima. Pogreška ovog tipa uzrokuje mnogo problema ukoliko se na ovaj način zavare dvije cijevi kroz koje teče neki fluid [3]. Pošto između dvije cijevi postoji linearno odstupanje od pravca simetrije. Samim prolaskom fluida kroz taj dio unutar cijevi javljati će se razna vrtloženja i neka vrsta turbulentnog strujanja. Nakon nekog vremena može doći do same erozije stijenke i do oštećenja cjevovoda. [6]

Uzroci nastajanja:

- Nedovoljno kvalitetna izvedena priprema prije samog postupka zavarivanja [7]
- Nedovoljno obučen zavarivač [7]

Načini sprječavanja nastajanja linearne pomaknutosti:

- Pravilno obučiti zavarivača
- Vršiti vizualnu kontrolu prije samog postupka kao i nakon postupka zavarivanja [7]



Slika 3.15. Linearna pomaknutost u sučeljavanju [7]

3.3.2. Promjene oblika i dimenzija zavarenog komada

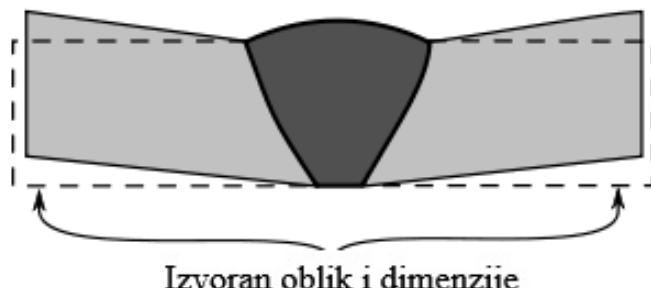
Ova vrsta pogreške javlja se nakon zavarivanja a posljedica joj je odstupanje jednog dijela konstrukcije od zadanog pravca. Sam uzrok ove pogreške leži u pripremi koja se mora obaviti prije samog postupka zavarivanja. Nedovoljnom pripremom i osiguravanjem pozicije koje se zavaruju. Prilikom zavarivanja, ukoliko pozicije nisu adekvatno pričvršćene i fiksirane u položaju koji se traži da oblikuje zavareni spoj. Prilikom skrutnjavanja i stezanja materijala, u osnovnom materijalu kao i u samom žlijebu javljaju se sile koje djeluju prema centru zavarenog spoja i mogu izazvati deformacije krajnje pozicije. Ove deformacije najčešće nastaju zbog prevelikog toplinskog unosa na mjestu zavarivanja [7].

Uzroci nastajanja deformacija i odstupanja od pravca:

- Veliki toplinski input prilikom postupka zavarivanja [7]
- Nedovoljno dobra priprema prije postupka zavarivanja [7]
- Nedovoljno obučen zavarivač

Načini sprječavanja nastanka deformacija i odstupanja od pravca:

- Obaviti dobru pripremu pozicije prije zavarivanja [7]
- Podesiti parametre zavarivanja, ovisno o debljini pozicije (jakost struje) [7]
- Obučiti zavarivača



Slika 3.17. Promjene dimenzija i oblika radnog komada

4. Metode i sprave za otkrivanje grešaka i mjerjenje dimenzija zavarenih spojeva

U ovom dijelu rada biti će navedene i opisane pojedine metode koje se koriste kod vizualne kontrole zavarenih spojeva. Opisati će se za svaku metodu posebno način korištenja, kao i pojedine funkcije svakog mjerila. Biti će govora o prednostima ali i o nedostacima svakog mjerila. Osim mjerjenja dimenzija svakog zavarenog spoja, vizualna kontrola se temelji na općem pregledu samog zavarenog spoja. Nakon što se izvrši priprema, slijedi sam postupak spajanja materijala, a zatim i krajnji postupak vizualne kontrole u koju spada i mjerjenje dimenzija zavaranih spojeva. Svako odstupanje od nominalne visine, a da nije u granicama tolerancije smatra se pogreškom. Norma HRN EN ISO 5817: 2014 detaljno opisuje granice u kojima se određene nedosljednosti i pogreške pojedinih zavarenih spojeva smiju nalaziti. Sve što je preko granica opisanih u normi, smatra se pogreškom koja kao takova mora biti uočena i tretirana daljnijim postupcima kako bi se uklonila moguća daljnja oštećenja konstrukcije. Pravilno ispitivanje se vrši na način da se u svakoj točki mjerjenje vrši tri puta. Mjerjenje se vrši tri puta kako bi se ustanovila točnost mjerjenja. Za to je potrebno da se sva tri puta mjerjenje vrši : istim mjernim postupkom, da ga vrši ista osoba, na istom mjernom mjestu, istim mjerilom u kratkom vremenskom periodu [3].

Kratkim pogreškama smatraju se nesavršenosti nastale zavarivanjem neke pozicije čija je ukupna duljina minimalno 100 mm ili više, a duljina nesavršenosti maksimalno 25 mm. Također kod pozicija čije su duljine manje od 100 mm, kratim pogreškama se smatraju nesavršenosti nastale zavarivanjem, čija duljina ne prelazi 25% ukupne duljine zavarenog spoja [7].

Sprave kojima se vrši vizualna kontrola i kvaliteta zavarenih spojeva jesu razna povećala. Na mjestima koja nemaju pristup za pregled klasičnim povećalima, koriste se razna pomagala kao što su boroskopi, koji imaju i dodatno osvjetljenje što poboljšava kvalitetu same kontrole i olakšava pronalaženje potencijalnih pogrešaka.

Kod samog mjerjenja dimenzija zavarenih spojeva opisati će se razna mjerila sa nonius skalamama, pomoću kojih se kontroliraju same dimenzije. Kontroliranje dimenzija zavarenih spojeva je izrazito važno. Izmjerene veličine moraju odgovarati kriterijima iz norme HRN EN ISO 5817:14 kako bi proizvod tokom eksploatacije bio pouzdan i siguran za korištenje.

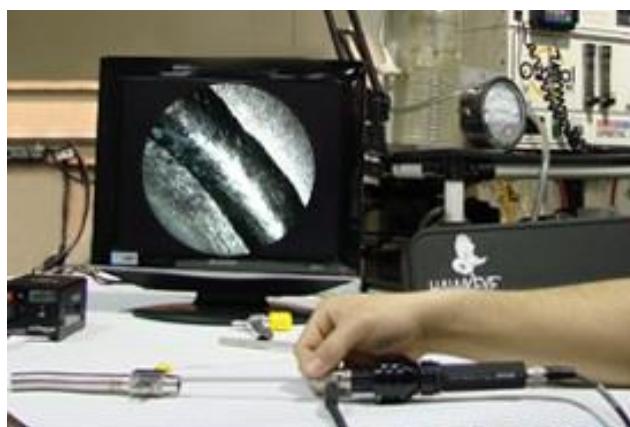
Osobe koje izvode postupak kontrole i mjerjenja, moraju biti obučene za taj postupak i moraju postupati u skladu sa normama.

4.1. Boroskopi i razna povećala

Ovo su najjednostavnije sprave pomoću kojih se ispituje, odnosno kontrolira sama površina zavarenog spoja. Ovim pomagalima moguće je uočiti razne pogreške koje ulaze u skupinu nepravilnog oblika zavarenog spoja. Također uočavaju se i razne uključevine, pukotine i poroznosti koje se nalaze na licu zavara. Boroskopi se koriste kod nedostupnih mesta gdje upotreba povećala nije moguća.



Slika 4.0. Povećalo za kontrolu zavara



Slika 4.1. Kontrola zavara pomoću boroscopa

4.2. Jednostavno mjerilo u obliku kapljice vode

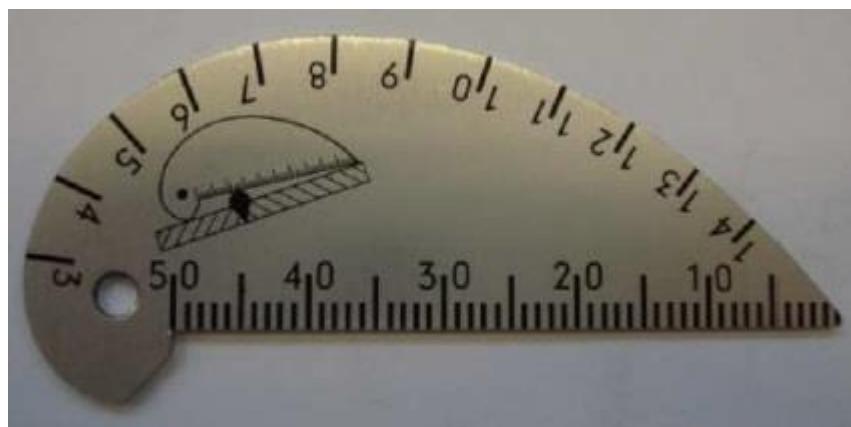
Ovo je mjerilo u obliku polovine kapljice vode kojim se vrši mjerjenje dimenzija u kutnim i sučeonim zavarenim spojevima. Pomoću ovog mjerila mjeri se nadvišenje i debljina zavarenog spoja pri kutnoj i sučenoj izvedbi. Na *slici 4.2* prikazano je mjerilo. To mjerilo ima mogućnost mjerjenja nadvišenja do 5 mm, sa točnošću od 0.1 mm. Debljinu kutnog zavara moguće je mjeriti u rasponu od 3 do 14 mm, sa točnošću od 1 mm. [6]

Mjerenje nadvišenja kod sučeone izvedbe

Kod sučeone izvedbe mjerenje nadvišenja vrši se na način da mjerna sprava mjerni komad dodiruje u tri točke. Ravni dio sprave polaže se okrenut prema dolje u odnosu na nadvišenje koje se mjeri. Prednji i stražnji dio postave se tako da dodiruju mjerni komad, a nadvišnje mora dodirivati mjernu skalu u jednoj točki. Sa skale se očitava koliko je nadvišenje lica zavara u odnosu na stranice osnovnog dijela. Točnost nadvišenja moguće je očitati za vrijednost od 0.1 mm kod mjerila sa slike. Ostala mjerila mogu imati drugačiju točnost mjerenja. [6]

Mjerenje visine kutnog zavara

Kod mjerenja visine kutnog zavarenog spoja mjerilo također mora mjereni komad dodirivati u tri točke. Mjerilo se postavlja na način da se zakriviljeni dio prisloni uz stranice kutnog zavara i da ga dodiruje, a nadvišenje korijenskog dijela zavara mora dodirivati mjerilo u trećoj točki. Kada mjerna sprava dodiruje kutni zavar u tri točke, na zakriviljenoj mjernoj skali očitava se vrijednost visine zavarenog kutnog spoja. Vrijednost je moguće očitati u točnosti od 1 mm, ali je moguće procijeniti i do točnosti od 0.5 mm kod mjerila sa *slike 4.2*. [6]



Slika 4.2 Prikaz mjerila u obliku kapljice [6]

Prednosti i nedostaci mjerila u obliku kapljice

Pošto je ovo mjerilo cjenovno pristupačno, svima je lako dostupno. Materijali od kojih su rađena ova mjerila nisu najveće tvrdoće i otpornosti na trošenje. Pošto je za mjerenje potrebno da mjerni instrument radni komad dodiruje u tri točke, često dolazi do habanja tih dijelova koji su u kontaktu sa mjerenim dijelom. Prilikom mjerenja sučeonih zavarenih spojeva, najčešće dolazi do habanja na vanjskim dijelovima mjerila (dijelovi koji su u dodiru sa podlogom).

Prilikom mjerjenja nadvišenja kod sučeonog spoja, može doći do pogrešnog očitanja zbog linearne pomaknutosti cijevi ili komada lima koji su zavareni. Također može doći i do pogrešnog očitanja vrijednosti nadvišenja ukoliko je prilikom zavarivanja došlo do deformacija i promjena oblika zavarenog spoja. Ukoliko se uvidi jedna od navedenih pogrešaka moguće je uvesti korekcije prilikom postupka mjerjenja. Da bi se mjereni rezultat mogao analitički korigirati u slučaju pogrešaka moramo znati koliko je linearno odstupanje ili kolika je kutna deformacija radnog komada. Za što preciznije mjerjenje potrebno je da je kut između zavarenih dijelova što bliže kutu od 180° . Ukoliko je konstrukcijski izvedeno da je kod sučeonog spoja kut drastično veći ili manji od 108° , a kod kutnog drastično veći ili manji od 90° , tada treba težiti nekim drugim metodama za mjerjenje nadvišenja ili debljine zavara. Prednost ovog mjerila je jednostavno i brzo mjerjenje. Male dimenzije omogućuju relativno lako mjerjenje na ne tako pristupačnim mjestima.

Kod kutnog zavarenog spoja ovim mjerilom mjeri se visina korijenskog zavara. Ovakvo mjerilo nema svrhe kod mjerjenja kutnog zavara čija je izvedba konveksna ili previše izdignuta. Samo gomilanje dodatnog materijala koje se manifestira kao nepotrebno nadvišenje lica zavara ne pridonosi čvrstoći zavarenog spoja. Mjerjenje ovim mjerilom dalo bi pogrešnu sliku o debljini zavara koja nije stvarna. Kod debljina zavara koje su bliže 14 mm, odstupanja od okomitosti moraju biti u granicama od 0.5° , a kod debljina koje su bliže 3 mm odstupanje od okomitosti mora biti u granicama od 1° .[6]

4.3. Šablone za mjerjenje visine kutnog zavara

Ove vrste mjernih šabloni koriste se za brzu kontrolu visina, kutnih zavarenih spojeva. Mjerjenje se vrši na način da se u kutnom spoju okomita i horizontalna stranica poklapaju sa stranicama mjerne šablone. Na *slici 4.3* prikazane su dvije mjerne šablone. Mjerna šabloni koja ima ravne stranice koristi se za mjerjenje visina ravnih kutnih spojeva. Dok se šabloni koja je zaobljena, koristi za mjerjenje visina kutnih zavara koji su izvedeni u konveksnom obliku i zavara koji imaju lagano nadvišenje.

□ Prednosti i nedostaci šabloni

Prednost ovih šabloni je da imaju relativno nisku cijenu i svima su pristupačne. Lagane su i malih su dimenzija što omogućuje jednostavno rukovanje i pogodne su za neka brza terenska mjerjenja koja ne zahtijevaju veliku točnost mjerjenja. [8]

Nedostaci su ti da su materijali izrade šabloni uglavnom aluminijске legure, pa uslijed korištenja dolazi do habanja vrhova i samim tim se smanjuje preciznost mjerjenja. Kod mjerjenja visine zavara ravnih zavarenih spojeva mjerom šablonom sa *slike 4.3*, možemo mjeriti visinu:

4.0, 5.0, 6.0, 7.0, 8.0, 9.0, 10.0 i 12.0 mm. Ukoliko imamo neku visinu koja nije navedena nemamo mogućnost mjerjenja. A i sama točnost mjerjenja je 1 mm. Kod mjerjenja kutnih konveksnih spojeva imamo visinu: 4.0, 6.0, 7.5, 10.0, 12.0, 14.0, 16.0, 18.0 mm. Također i ovdje nemamo neku veliku preciznost kod mjerjenja.

Ovakve šablone koriste se kod kontrole gdje nije važno precizno mjerjenje visine kutnih spojeva nego je važna sama kontrola da se vidi nalazi li se visina zavarenog spoja traženim granicama. [8]



Slika 4.3 Šablone kod kontrole kutnih zavara [8]

4.4. HI-LO mjerna skala

Ovo je mjerna skala koja služi za mjerjenje više veličina nakon sučeonog postupka zavarivanja. Ona omogućuje mjerjenje nadvišenja sučeonog zavarenog spoja, prilikom zavarivanja cijevi mjeri se debљina same stijenke cijevi, moguće je mjerjenje razmaka između cijevi. Omogućuje mjerjenje linearne pomaknutosti s unutarnje ili vanjske strane pripreme spoja. [9]

□ Mjerjenje nadvišenja

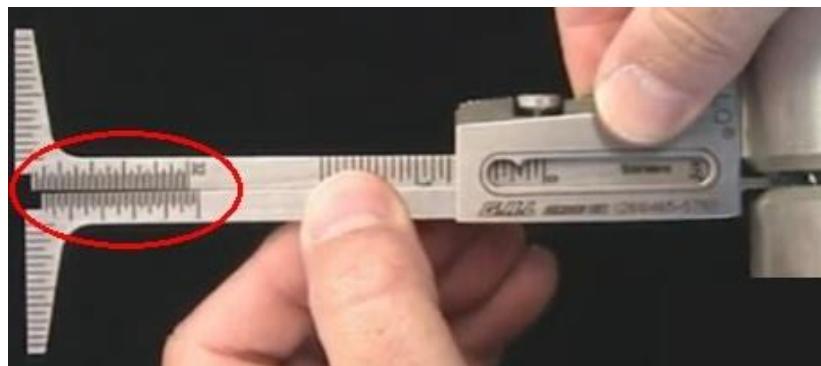
Mjerjenje nadvišenja izvodi se na način da se jedna od nožica postavi tako da cijelom dužinom naliježe na vanjsku stijenku cijevi, a druga nožica postavi se tako da u jednoj točki dodiruje drugu nožicu. Sa skale koja je na *slici 4.4* očitava se visina nadvišenja zavarenog spoja.[9]



Slika 4.4. Prikaz očitanja skale za nadvišenje zavara

Linearna pomaknutost unutarnjih stijenki

Linearna pomaknutost mjeri se na način da se vršak (ticalo) mjerne sprave umetne kroz pripremni žlijeb u unutrašnjost cijevi ili između dvije ploče lima. Centralni, fiksni dio mjerne sprave naliježe cijelom dužinom na vanjsku stijenknu cijevi ili dio lima. Taj dio mora nalijegati u potpunosti kako bi mjerna ticala u odnosu na cijev bila okomita. Nakon toga ticala se izvlače sve dok ne dodirnu unutarnju stijenknu cijevi. Nakon toga, na vrhu skale se očitava linearno odstupanje prikazano na *slici 4.5.* [9]



Slika 4.6. Mjerenje linearne posmakenutosti

Mjerenje debljine stijenke

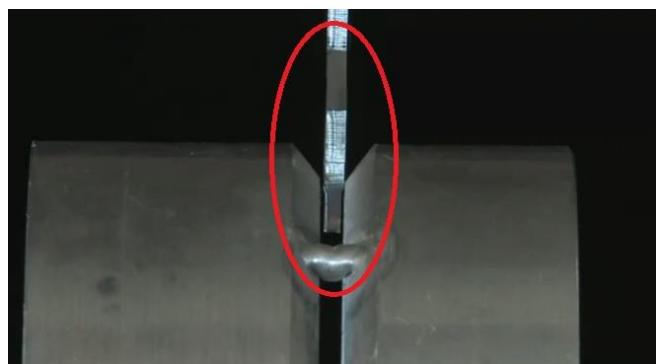
Debljina stijenke mjeri se na sličan način kao i linearna pomaknutost. Razlika je u tome što se prilikom mjerenja debljine stijenke koristi samo jedna nožica, odnosno samo jedno ticalo. Ticalo se umetne u unutrašnjost cijevi, a fiksni dio položi se da naliježe na vanjsku stijenknu cijevi. Zatim se povlači nožica dok ticalo ne dodirne unutarnju stijenknu. Debljina stijenke očitava se sa skale koja je prikazana na *slici 4.6.* [9]



Slika 4.6. prikaz očitanja debljine stijenke

- **Mjerenje širine razmaka u korijenskom dijelu žlijeba**

Mjerenje razmaka između pripremnih površina u korijenskom dijelu žlijeba vrši se uz pomoć ticala. Sam vrh ticala strojno je obrađen i njegova širina je 1.5875mm, dok je dio ispod vrha širine 2.38125mm. ticala se postavljaju tako da bočne površine naliježu u korijen žlijeba. Ukoliko se vrh ticala ne može umetnuti u korijenski dio žlijeba, znači da je razmak manji od 1.5875mm. Ukoliko pak i uži i širi dio ticala prolaze kroz korijenski dio žlijeba i još uvijek postoji zračnost između, to znači da je razmak širi od 2.38125mm. Prikaz mjerenja vidi se na slici 4.6. [9]



Slika 4.6. prikaz mjerena razmaka korijenskog dijela žlijeba

- **Mjerenje kosine na pripremnom žlijebu**

Pripremna kosina na žlijebu mjeri se uz pomoć već gotove kosine koja se nalazi na vodilicama ispod ticala. Za točno mjerenje kosine, važno je da fiksni dio mjerila cijelom dužinom naliježe na vanjsku stijenkiju cijevi. Nakon što je mjerilo okomito u odnosu na cijevi, spušta se vodilica na kojoj se nalazi skošenje od 37.5° . Pošto imamo dvije vodilice, konačno skošenje je 75° koje je i najčešće skošenje koje se koristi prilikom zavarivanja cijevi. Postupak mjerenja skošenja vidljiv je sa slike 4.7. [9]

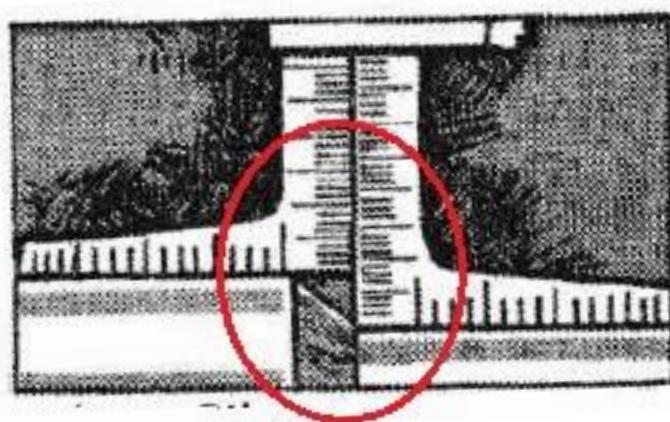


Slika 4.7. mjerene skošenje pripremnog žlijeba

- **Mjerenje dimenzija kutnog zavara**

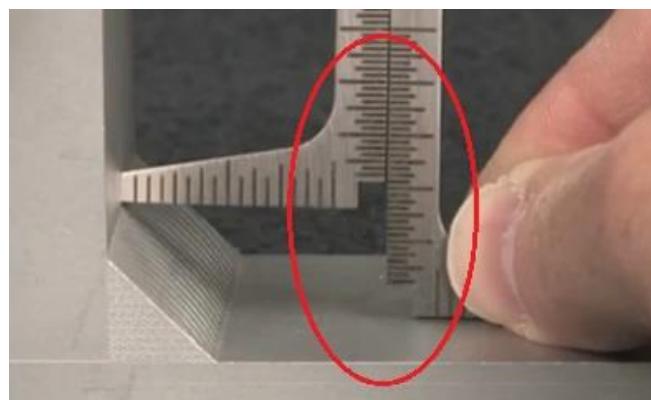
Mjerenje dimenzija kutnog zavara može se izvoditi na dva načina. Prvi način je mjerenje kraka zavara ukoliko je visina kraka i visina stjenke jednaka. A drugi način je klasično mjerenje kraka zavara kod kojeg je zavar niži u odnosu na stijenku.

Da bi se izmjerila visina kraka zavara jedna nožica mora cijelom dužinom nalijegati na vanjsku površinu lima ili cijevi, a druga nožica naliježe na drugu stijenknu ukoliko je visina kraka zavara jednaka visini stijenke. Sa *slike 4.7.* vidi se način mjerenja i očitavanja visine kraka zavara. [9]



Slika 4.7. prikaz mjerenja visine kraka zavarenog spoja [10]

Da bi se izmjerila visina kraka kod kutnog zavarenog spoja. Jedna nožica mora cijelom dužinom nalijegati na jednu površinu (kako bi mjerna sprava bila okomita u odnosu na podlogu), a druga nožica svojim vrškom mora nalijegati na rubni dio zavarenog spoja. Na taj način moguće je izmjeriti visinu kraka zavarenog spoja. Način postavljanja i očitanja dimenzija vidljiv je sa *slike 4.8.* [10]



Slika 4.8. Prikaz postavljanja i očitanja mjerila

Prednosti i mane HI-LO mjerila

Prednosti ovog mjerila su te da je jednim mjerilom moguće mjeriti 6 različitih dimenzija kod kutne i sučeone izvedbe zavarenog spoja. Mjerenje linearног odstupanja, nadvišenja kod sučeоног spoja i visine kraka kod kutnog spoja moguće je izmjeriti sa točnoшćу od 0.1 mm, dok je mjerenje debljine stijenke cijevi ili komada lima moguće izmjeriti sa točnoшćу od 0.2 mm. Još jedna prednost ovog mjerila je ta da je pristupačne cijene i nije od aluminijskih legura pa rijetko dolazi do habanja dijelova mjerila.

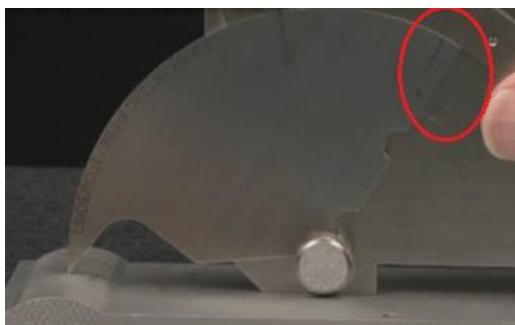
Nedostatak ovog mjerila uočljiv je prilikom mjerenja razmaka u korijenskom dijelu pripremljenog žlijeba. Naime ticala su izvedena kao dvije šabline, jedna tanja debljine 1.5875mm, a druga deblja debljine 2.38125mm. Ovim mjerilom moguće je izmjeriti zadovoljava li korijenski razmak zadani kriterij, ali nije moguće precizno i sa točnoшћу izmjeriti koliki je razmak ustvari.

4.5. Bridge cam gauge (mostno mjerilo)

Ovo je vrsta mjerne skale pomoću koje se mjere nadvišenja sučeonih i kutnih spojeva, visina kraka kod kutne izvedbe, nagib skošenja pripremnog žlijeba, linearно odstupane s vanjske strane te mogućnost mjerenja dubina ugorina. Mjerna skala izrađena je od kvalitetnih nehrđajućih materijala pa je samim time i otporna na neke od eksploracijskih uvjeta i nije podložna prevelikom habanju. To nam omogućuje dosta precizna mjerenja. Ovom mernom skalom koja se nalazi na *slici 4.8.* mjeri se nadvišenja kod sučeonih spojeva, dubina ugorine te visinu kraka kod kutne izvedbe spoja, koju moguće je izmjeriti sa točnoшћу od 0.1mm. [11]

Mjerenje nadvišenja sučeonog spoja

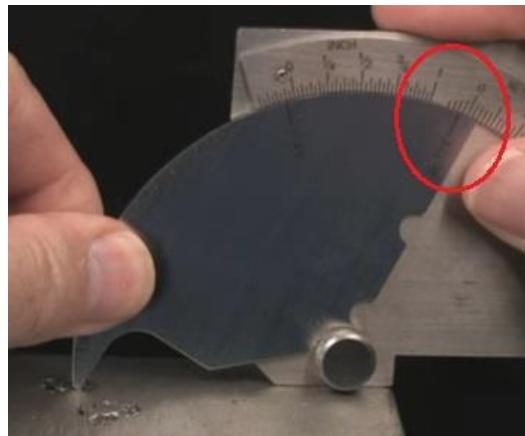
Mjerenje nadvišenja sučeonog spoja izvodi se na način da se donji ravni dio mjerila postavi na vanjski ravni dio lima ili na vanjsku stijenu cijevi na način da naliježe na tu površinu u potpunosti. Nakon toga spušta se oštro ticalo koje mora dodirivati najvišu točku nadvišenja. Nadvišenje se čita sa jedne od skala koja je u metričkoj i inčnoj izvedbi. [11]



Slika 4.8. Mjerenje nadvišenja sučeonog spoja

- **Mjerenje ugorina ili drugih ulegnuća**

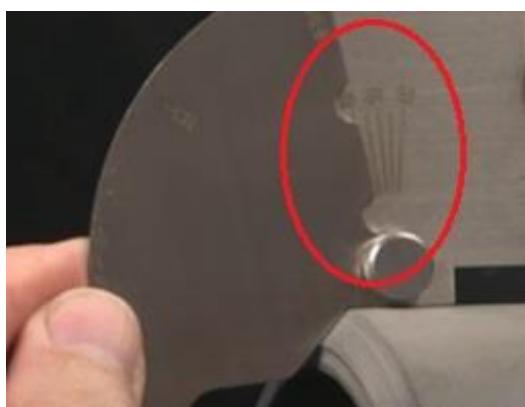
Mjerenje ugorina izvodi se na sličan način kao i mjerenje nadvišenja. Jedina razlika je u tome što vršak ticala ne ide na vrh nadvišenja, nego se spušta u krater ugorine, odnosno u najnižu točku. Dubina se očitava sa iste skale kao i kod mjerenja nadvišenja. Sa *slike 4.9.* je vidljivo da je oštećenje u vidu ulegnuća na lokalnom dijelu cijevi 1.5mm. najveća dubina koju je moguće mjeriti ovim mjerilom je 0.5 mm. [11]



Slika 4.9. Mjerenje ulegnuća na lokalnom dijelu cijevi

- **Mjerenje skošenja pripremih stranica (žlijeba)**

Mjerenje skošenja izvodi se na način da se donji dio mjerila postavi na vanjski ravni dio lima ili na vanjsku stijenkiju cijevi na način da naliježe na tu površinu u potpunosti. Kada je mjerna sprava okomita u odnosu na mjereni dio, tada se spušta ticalo čiji je donji dio ravan. Taj ravan dio tako dugo se spušta dok se u potpunosti ne priljubi sa skošenjem. Nakon toga očitava se koliko je stupnjeva nagib skošenja. Točnost mjerne skale je 5° . [11]



Slika 4.10. Mjerenje skošenja pripremnog žlijeba

- **Mjerenje linearног odstupanja vanjske stijenke**

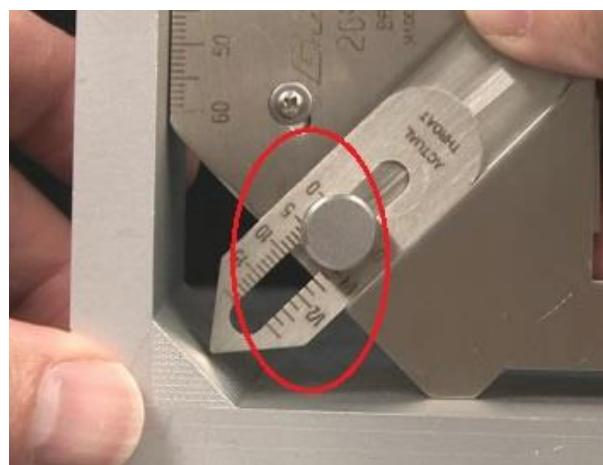
Mjerenje linearног odstupanja vrши se na sličan način kao i mjerenje nadvišenja kod sučeonog spoja. U ovom slučaju, donji ravni dio mjerila mora u potpunosti nalijegati na vanjsku stijenku, a vršak pomičnog ticala spušta se na drugu susjednu stijenku. Nakon toga očitava se linearно odstupanje u mm sa skale isto kao i kod mjerenja nadvišenja. [11]



Slika 4.11. Prikaz mjerenja linearног odstupanja vanjske stijenke cijevi

- **Mjerenje nadvišenja kutnog zavara**

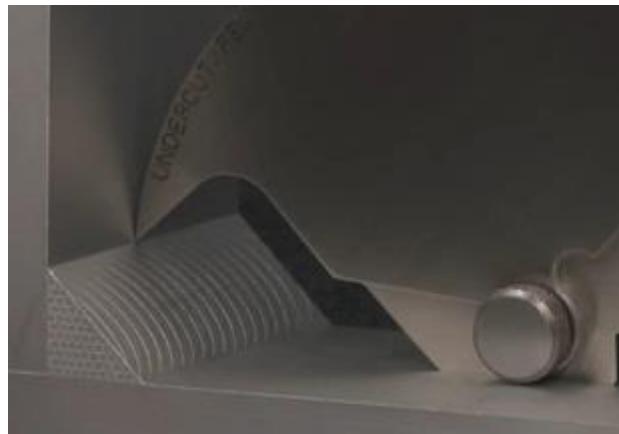
Mjerenje nadvišenja kutnog zavara vrши se istim mjerilom ali drugim ticalom. Sa stražnje strane mjerila nalazi se ticalo za mjerenje nadvišenja kutnih zavara. Moguće je mjeriti kutne zavare u izvedbi od 90° uz dozvoljene male oscilacije od 1° . Mjerenje se vrши na način da mjerilo naliježe na horizontalnu i vertikalnu stranu kutnog zavara u potpunosti, nakon toga spušta se ticalo koje mjeri nadvišenje sa točnošću od 1 mm. [11]



Slika 4.12. prikaz mjerenja i očitanja mjerenja nadvišenja kutnog spoja

- **Mjerenje visine kraka kutnog zavara**

Visina kraka kutnog zavara mjeri se istim ticalom kao i nadvišenje sučeonog spoja. Na horizontalnu stranicu stavi se mjerilo tako da naliježe cijelom dužinom. Nakon toga spušta se zakriviljeno ticalo sve dok ne dotakne rub zavarenog spoja na suprotnoj vertikalnoj stranici. Zatim se očitava kolika je visina kraka kutnog spoja sa iste skale kao i kod mjerenja nadvišenja sučeonog spoja. [11]



Slika 4.13. Prikaz mjerenja visine kraka kutnog spoja

- **Prednosti i nedostaci**

Prednosti ovog mjerila jesu ta što je skladne i kompaktne veličine pa je lagano rukovanje na relativno nepristupačnim mjestima. Izrađeno je od kvalitetnih nehrđajućih čelika koja mu omogućuju precizna mjerenja jer ne dolazi do trošenja vrhova obaju ticala. Omogućuje mjerenje nadvišenja kako kod sučenih tako i kutnih spojeva, te omogućuje mjerenje skošenja žlijeba zavara sa točnošću od 5° , dok mjerilo HI-LO ima zadalu šablonu koja mjeri samo kut od 75° , odnosno jedna nožica mjeri skošenje pripremljene stranice od 37.5° .

Nedostaci ovog mjerila očituju se kada imamo potrebu mjeriti širinu razmaka korijenskog dijela pripremljenog žlijeba. Ovo mjerilo nema mogućnost mjerenja razmaka širine pripremnog žlijeba.

4.6. V-WAC mjerilo

Ovo je mjerilo izrađeno od nehrđajućeg čelika koje omogućuje precizno mjerenje nadvišenja sučeonog spoja, visinu kraka kod kutne izvedbe spoja, dubinu ugorina i ulegnuća unutar osnovnog materijala kao i zavarenog spoja. [12]

- **Nadvišenje sučeonog spoja**

Nadvišenje sučeonog spoja mjeri se na način da se donji ravni dio mjerila položi na način da u potpunosti naliježe na vanjsku stijenku cijevi ili na vanjsku stranu lima. Nakon toga pomično ticalo spušta se na nadvišenje sve dok svojim vrškom ne dotakne sam vrh. Nakon toga vrijednost se očitava sa skale kao što je opisano na *slici 4.14.* [11]



Slika 4.14. prikaz mjerjenja nadvišenja v-wac mjerilom

- **Mjerjenje dubina ugorina i ulegnuća**

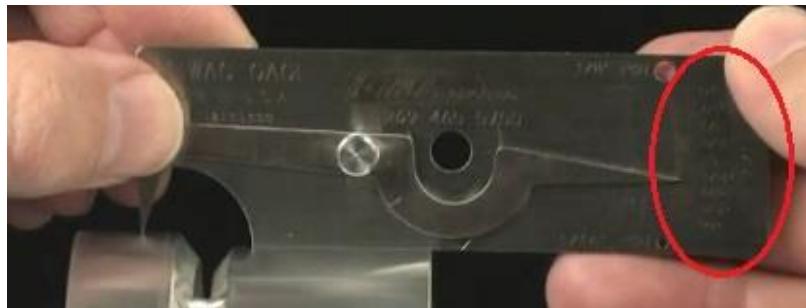
Ugorine se mjeri na način da se mjerilo poravna sa ravninom koja se mjeri, na način da donja strana mjerila u potpunosti naliježe na radni komad. Nakon toga ticalo se spušta u ugorinu ili udubljenje i sa skale koja je prikazana na *slici 4.15.* očitava se dubina neravnina ili dubina ugorine. [12]



Slika 4.15. Mjerjenje ugorina ili udubljenja v-wac

- **Mjerenje linearног odstupanja vanjske stijenke cijevi ili lima v-wac mjerilom**

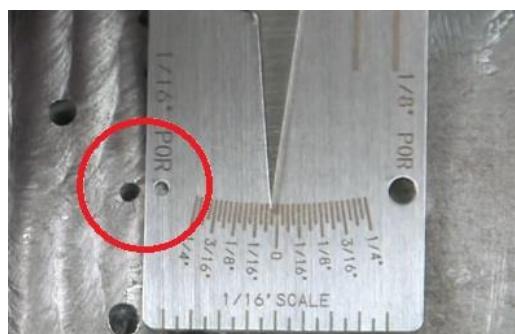
Mjerenje se vrši na sličan način kao kada se mjeri nadvišenje ili ugorina. U ovom slučaju mjerilo se također stavlja na način da njegov donji dio naliježe na stijenku cijevi ili vanjsku stranu lima. A ticalo se spušta na susjednu vanjsku stijenku cijevi ili lima. Sa skale koja je prikazana na *slici 4.16.* prikazano je pravilno postavljanje i očitanje skale. [12]



Slika 4.16. mjerenje linearнog odstupanja v-wac mjerilom

- **Uspoređivanje veličina kratera nastalih kao posljedica poroznosti**

Ovim mjerilom moguće je uspoređivati kratere nastale kao posljedica poroznosti u odnosu na dvije rupe izbušene na samom mjerilu. Dimenzija veće rupe iznosi 3.175 mm, a dimenzija manje rupe iznosi 1.5875 mm. Veličina kratera uspoređuje se na način da se rupe na mjerilu i krateri približe čim je više moguće. Zatim se utvrđuje dali je krater veći ili manji od mjerne rupe na mjernej spravi. Postupak je prikazan na *slici 4.17.* [12]



Slika 4.17. Prikaz usporedbe kratera i rupe na mjerilu v-wac

- **Prednosti i nedostaci v-wac mjerila**

Prednosti ovog mjerila su ti da je mjerilo izrađeno od kvalitetnih materijala i otporno je na habanje. Jednostavno je za korištenje, svojom cijenom je prihvatljivo pa je široko

rasprostranjeno i dostupno svima. Lagano je i malih je dimenzija što omogućuje lagano korištenje na terenu i brzu kontrolu dimenzija. Omogućuje mjerjenje dubine ugorina kao i kontrolu dimenzija kratera nastalih kao posljedica poroznosti.

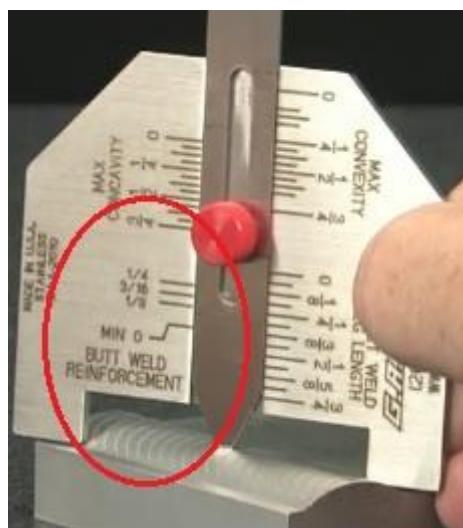
Nedostaci su ti da se onemogućuje mjerjenje nadvišenja kutnog spoja, kao i nemogućnost mjerjenja skošenja pripremljenog žlijeba. Ovim mjerilom je nemoguće mjeriti širinu korijenskog dijela pripremnog žlijeba. [12]

4.7. AWS mjerna skala

Ovo je mjerna sprava koja nam omogućuje mjerjenje visine kraka kutnog zavarenog spoja, zatim mjerjenje visine konveksno i konkavno izvedenih spojeva, kao i mjerjenje nadvišenja zavara sučene izvedbe. Mjerilo je izrađeno od kvalitetnih materijala (nehrđajućih čelika) što omogućuje dugoročnu upotrebu i precizna mjerjenja jer ne dolazi do trošenja kontaktnih površina mjerila. [13]

□ Mjerjenje nadvišenja sučeonog spoja

Mjerjenje nadvišenja sučeonog spoja vrši se na način da se donji dio mjerila položi tako da cijelom dužinom naliježe na obje površine. Nakon što donji dio naliježe na površinu koja se mjeri, ticalo se spušta na nadvišenje tako dugo dok je dođe u dodir sa najvišim dijelom nadvišenja. Nakon toga sa skale se očitava vrijednost nadvišenja prikazana na *slici 4.18*. Ovo mjerilo ima označenu minimalnu vrijednost nadvišenja kao i mogućnost mjerjenja od 3.175 mm do 6.36 mm sa točnošću od 1.59 mm [13]



Slika 4.18. Prikaz mjerjenja i očitanja nadvišenja sučeonog spoja

- **Mjerenje visine kraka kod kutne izvedbe zavarenog spoja**

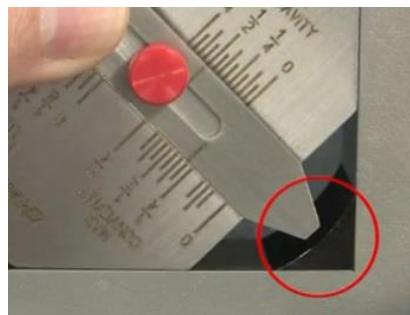
Mjerenje visine kraka izvodi se na način da bočna stranica mjerila bude priljubljena uz vertikalnu ili horizontalnu stijenku cijevi ili ploču lima, a da donja strana mjerila dodiruje vršak zavarenog spoja uz tu stijenku. Nakon ovog poravnjanja spušta se ticalo koje dodiruje drugu stijenku cijevi ili površinu lima. Nakon toga očitava se vrijednost visine kraka kao što je na *slici 4.19*. Mjerilom sa slike moguće je visinu kraka od 0 mm sve do 19 mm uz točnost od 1.59 mm. [13]



Slika 4.19. Prikaz mjerenja i očitavanja vrijednosti visine kraka kutne izvedbe spoja

- **Mjerenje konkavnosti zavarenog spoja u kutnoj izvedbi**

Mjerenje konkavnosti izvodi se na način da su stranice mjerila koje su izvedene pod kutom od 90° čitavom dužinom u kontaktu sa površinama lima ili vanjskih stijenki cijevi. Nakon toga spušta se ticalo koje mora dodirivati lice zavarenog spoja. Sa skale se očitava točna visina lica zavara u konkavnoj izvedbi. Isto tako moguće je na brzi način kontrolirati zadovoljava li izvedeni kutni zavar kriterije koji su zadani u specifikacijama. Uz pomoć vijka moguće je podesiti graničnu vrijednost i na isti način provjeriti zadovoljava li izvedeni zavar minimalnu vrijednost visine zavara u kutnoj izvedbi. Postupak je prikazan na *slici 4.20* u kojoj je vidljivo da visina zavara u ovom slučaju ne zadovoljava kriterije po specifikacijama za zadani zavareni spoj. Konkavnost je moguće mjeriti od 0 mm do 19 mm uz točnost od 1.59 mm. [13]



Slika 4.20 Prikaz mjerenja i kontrole dimenzija konkavnog zavarenog spoja u kutnoj izvedbi

- **Mjerenje konveksnosti zavarenog spoja u kutnoj izvedbi (mjerjenje nadvišenja)**

Mjerenje konveksnosti izvodi se na identičan način kao i mjerenje konkavnosti , ali se vrijednosti očitavaju sa skale za konveksnost. Također je moguće izmjeriti točnu vrijednost nadvišenja lica zavara u kutnoj izvedbi, ali je moguće uz pomoć priteznog vijka kontrolirati granične vrijednosti zadane u specifikaciji za taj izvedeni zavar. Opseg mjernog područja je od 0 mm do 19 mm uz točnost mjerena od 1.59 mm. *Slika 4.21* prikazuje postupak mjerena i kontrole konveksnosti zavarenog spoja u kutnoj izvedbi. [13]



Slika 4.21 Prikaz mjerena nadvišenja (konveksnosti) zavarenog spoja u kutnoj izvedbi

- **Prednosti i nedostaci aws mjerila**

Prednosti ovog mjerila jesu te da je kompaktnih i malih dimenzija što omogućuje jednostavno mjerjenje i ispitivanje zavarenih spojeva na nekakvim terenskim radovima. Isto tako i u nekim relativno nepristupačnim mjestima na kojima ne postoji mogućnost mjerena nekim većim mjerilima kao što je to HI-LO mjerilo. Izrađeno je od kvalitetnih materijala pa je i habanje minimalizirano što pridonosi boljoj točnosti mjerena. Za razliku od mostnog mjerila ovo mjerilo ima mogućnost mjerena kako konveksnog tako i konkavnog oblika zavara u kutnoj izvedbi.

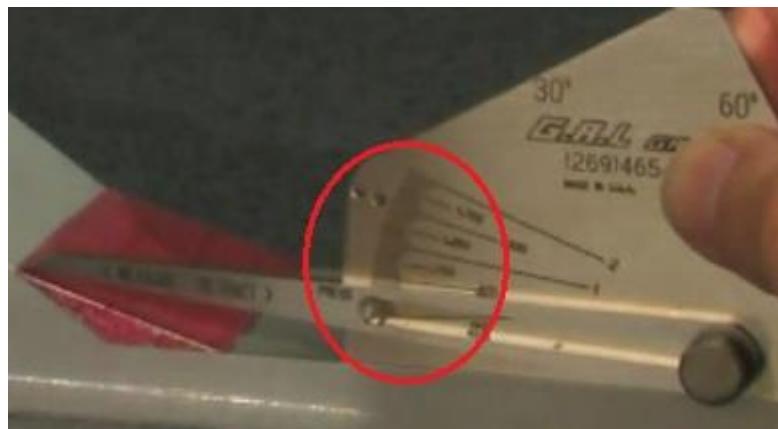
Nedostaci mjerila jesu ti da prilikom mjerena kutne izvedbe, samo odstupanje kutnog spoja od 90° može se tolerirati u uskim granicama od nekih 1° više ili manje, ukoliko je odstupanje veće mjereni rezultati neće biti točni. Prilikom mjerena nadvišenja sučeonog spoja, ukoliko postoji linearno odstupanje, moramo znati koliko je kako bismo mogli tu vrijednost uzeti u obzir prilikom mjerena samog nadvišenja. Ovo mjerilo nema mogućnost mjerena skošenja pripremnog žlijeba, kao ni udaljenost stijenki u korijenskom dijelu pripremnog žlijeba. Nije moguće mjeriti dimenzije pogrešaka kao što su ugorine ili kratere nastale kao posljedica poroznosti.

4.8. SKEW-T kutno mjerilo

Ovo je mjerilo uz pomoć kojeg se mjere dimenzije kutno izvedenih zavarenih spojeva. Pomoću ovog mjerila moguće je mjeriti visinu kraka kutno izvedenog spoja kao i kut pod kojim je izvedeni zavareni spoj. Mjerilo je izrađeno od kvalitetnih čelika što omogućuje trajnost i preciznost mjerjenja. [14]

□ Mjerenje visine kraka kod kutno izvedenog spoja

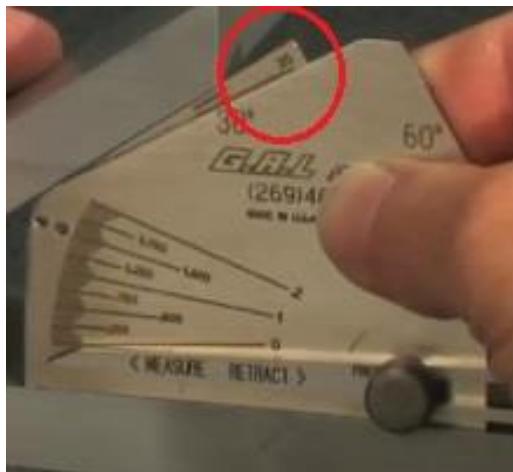
Mjerenje visine kraka izvodi se na način da se donji dio mjerila koji je ravan prisloni uz horizontalnu ploču tako da naliježe na nju u potpunosti, a ticalo se postavlja na vrh vertikalnog kraka zavarenog spoja. Sa skale se očitava vrijednost visine kraka *slika 4.21*. Ukoliko je kutni spoj izведен pod nekim kutem koji nije 90° , postoji kalkulator uz pomoć kojeg se odredi duljina kraka izvedenog spoja. Kako bi se odredila duljina kraka potrebno je izmjeriti kut pod kojim se nalaze dvije ploče koje su zavarene, te visinu kraka. U tablici koja se dobije sa mjerilom u obzir se uzimaju izmjerene veličine i dobije se stvarna duljina kraka zavarenog spoja. [14]



Slika 4.21. Prikaz mjerjenja visine i duljine kraka kutno izvedenog spoja

□ Mjerenje kuta pod kojim je izvedeni kutni spoj

Mjerenje kuta izvodi se na način da se ticalo kojim se mjeri nadvišenje ukloni kako prilikom mjerjenja kuta nebi smetalo. Nakon toga donja strana mjerila se polaže tako da naliježe na horizontalnu stranu lima u potpunosti. Nakon toga izvlači se pomična ploča na kojoj su iscrtani stupnjevi. Ta ploča izvlači se tako dugo dok u potpunosti i cijelom dužinom ne dodiruje drugu ploču lima koji se nalazi pod nekim kutem. Kada dođemo do ove faze mjerjenja, sa skale koja se nalazi na *slici 4.22.* očitava se vrijednost kuta pod kojim se nalaze ove ploče lima ili cijevi. Točnost mjerjenja kuta ovim mjerilom je 2.5° . Najmanji kut koji je moguće izmjeriti je kut od 30° . [14]



Slika 4.22 Prikaz mjerjenja kuta pod kojim se nalaze ploče u kutnoj izvedbi spoja

□ Prednosti i nedostaci

Prednost ovog mjerila je ta da postoji mogućnost mjerjenja visine kraka kod kutne izvedbe zavara od 30° do 90° izvedenih kutnih zavara. Također postoji mogućnost izmjere nagiba kuta pod kojim je izvedeno zavarivanje u kutnoj izvedbi.

Nedostaci su ti da ne postoji mogućnost mjerjenja nadvišenja kod kutne i sučeone izvedbe iako bi se kod sučeone izvedbe mjerjenje moglo izvesti, ali zbog oblika završetka ticala to mjerjenje nebi bilo precizno nego okvirno. Još jedan nedostatak je taj da je mjerno područje ograničeno na kute između 30° i 90° .

5. Eksperimentalni rad

U ovom dijelu rada govoriti će se o postupcima i metodama mjerjenja kao i rezultatima danim mjerjenjem. Ovaj eksperimentalni rad izведен je u laboratoriju Sveučilišta Sjever. Najprije će biti objašnjene pozicije u kojima su izvedeni spojevi, kao i materijali i tehnologije zavarivanja. Prilikom ovog eksperimentalnog rada obrađene su tri zavarene pozicije. Svaka pozicija pregledana je vizualnom kontrolom. Pogreške koje su pronađene biti će opisane i navedene. Pojedini postupci biti će uspoređivani i samim time dati će se završni zaključak. Pojedine veličine ovih zavarenih spojeva mjerene su sa više različitih mjerila. Samim time biti će uspoređena i mjerila. Krajnji rezultati ovog eksperimenta kao i sam zaključak biti će naveden u dalnjem tekstu.

□ Kutni spoj AlMg5

Prva pozicija koja je bila kontrolirana je pozicija kutno izvedenog spoja dvije ploče AlMg5. Debljina horizontalne ploče iznosila je 6 mm, a vertikalne ploče 3.2 mm.

Ovaj kutni spoj zavarivan je TIG postupkom. Jačina struje prilikom zavarivanja bila je između 150 i 160 A. Spoj je izведен u jednom prolazu. Debljina žice dodatnog materijala iznosila je 1.6 mm.

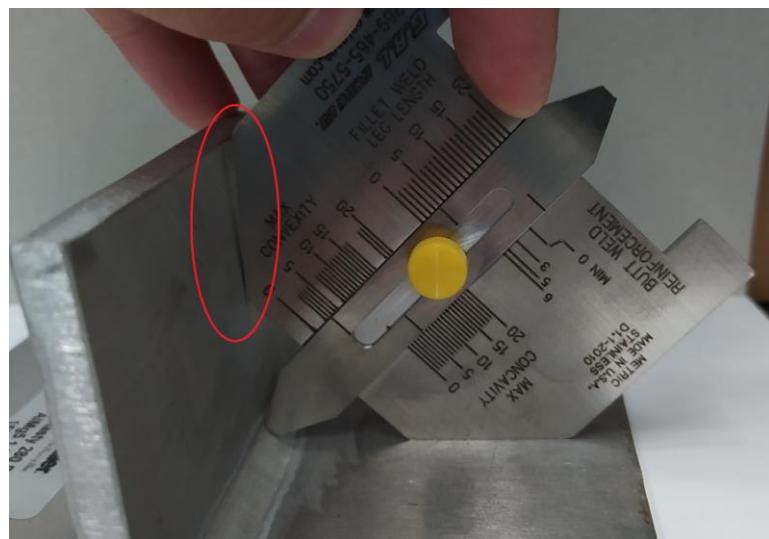


Slika 5.1. Prikaz kutnog spoja AlMg5 izvedenog TIG postupkom

Prvi korak ispitivanja bila je vizualna kontrola zavarene pozicije. Prvo što je bilo primijećeno kao pogreška je „ promjena dimenzija i oblika zavarene pozicije“. Vidljivo je da gornja ploča odstupa od okomitosti što će kasnije biti potkrijepljeno mjerjenjem kuta između dvije ploče. Dalnjim vizualnim pregledom nisu pronađene nikakve pogreške kao što su mogle biti razne

pukotine, poroznosti ili preklop materijala. Nakon vizualne kontrole izvršeno je mjerjenje dimenzija zavarenih spojeva raznim mjerilima.

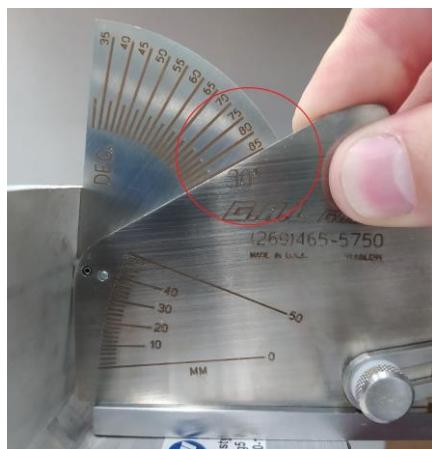
Prva dimenzija koja se mjerila bila je visina kutno izvedenog spoja uz pomoć šablone od 4 mm. Nakon toga visina kutnog spoja mjerila se uz pomoć AWS mjerila. Kako je na početku navedeno da postoji odstupanje od okomitosti, mjerenjem visine AWS mjerilom bilo je potvrđeno kako postoji odstupanje. Na horizontalnu ploču je mjerilo nalijegalo u potpunosti, međutim kako postoji odstupanje od okomitosti na drugu stranu mjerila ploča nije nalijegala u potpunosti. Samim time mjerjenje i sama točnost mjerjenja bili su otežani za izvedbu. Na *slici 5.2.* prikazano je mjerjenje visine spoja AWS mjerilom. Na istoj slici je lako uočiti da bočna ploča ne naliježe na stranicu mjerila i da mjerjenje neće dati kvalitetne rezultate.



Slika 5.2. Prikaz mjerjenja visine spoja i odstupanje od okomitosti

Visina spoja mjerila se i mostnim mjerilom, a svi podaci mjerjenja navedeni u *tablici 1.* Mjerjenje mostnim mjerilom također je bilo otežano. Sva navedena mjerila služe za mjerjenja visine spoja kod kutne izvedbe, a spojevi moraju biti izvedeni po kutom od 90° . Dozvoljena su mala odstupanja od 1° kako bi točnost mjerjenja bila što veća.

Kako je prilikom vizualne kontrole ustanovljeno da postoji odstupanje od okomitosti, mjerenjem SKEW-T mjerilom ustanovljeno je koliko je zapravo to odstupanje. Na *slici 5.3.* prikazuje se mjerjenje kuta između dvije ploče u kutnoj izvedbi. Rezultat mjerjenja kuta iznosi 85° . Rezolucija mjerjenja je 2.5° . Kao što je ranije u ovom radu navedeno mjerjenje debljine kuta mjerilima kao što su AWS i mostnim mjerilom je moguće izvesti precizno ukoliko odstupanje od okomitosti ne iznosi više od 1° .



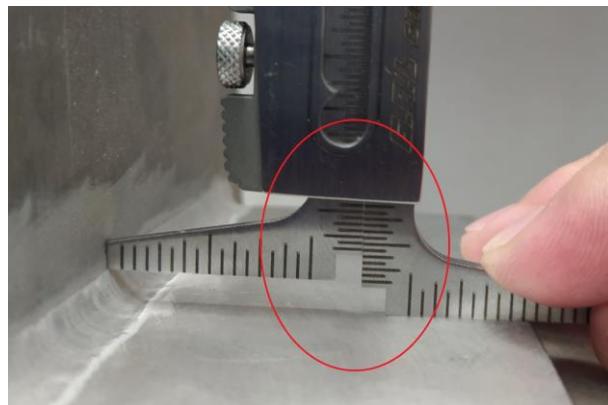
Slika 5.3. Prikaz mjerjenja kuta

Ime mjerila	Pozicija mjerjenja	Rezolucija	Rezultati (očitano)
AWS mjerilo	Visina kutnog spoja	1 mm	5 mm
Mostno mjerilo	Visina kutnog spoja	1 mm	6 mm
Šablona 4 mm	Visina kutnog spoja	-	4 mm
SKEW- T mjerilo	Mjerenje kuta nagiba	2.5°	85°
		Srednja vrijednost	5 mm

Tablica 1. Prikaz rezultata mjerjenja visine AlMg5 kutnog spoja

Rezultati mjerjenja visine zavara kreću se između 4 mm i 6 mm. Srednja visina bila bi 5 mm. Najблиži rezultat mjerjenja srednjoj vrijednosti bio bi onaj izmjeren uz pomoć AWS mjerila koji iznosi 5 mm.

Nominalnu visinu kutno izvedenog zavara moguće je izračunati. Kako bi se izračunala visina zavara potrebno je izmjeriti visine kraka kutno izvedenog zavara. Visina kraka sa jedne i druge strane bila je mjerena HI-LO mjerilom i V-WAC mjerilom, i dobiveni je rezultati su prikazani u tablica 2. Prikaz mjerjenja na slici 5.4.



Slika 5.4. Mjerenje visine kraka kutne izvedbe spoja AlMg5

Ime mjerila	Pozicija mjerjenja	Rezolucija	Rezultat
HI-LO mjerilo	Horizontalni krak	1 mm	7 mm
	Vertikalni krak	1 mm	6 mm
V-WAC mjerilo	Horizontalni krak	0.5 mm	5.5 mm
	Vertikalni krak	0.5 mm	4.5 mm
Srednja vrijednost			5.75 mm

Tablica 2. Prikaz rezultata mjerenja visine kraka kutne izvedbe AlMg5 spoja

Izračunata nominalna debljina zavara iznosi $0.7 \times$ visina kraka zavara [13]. Izračunata je nominalna visina zavara i ona iznosi 4.025 mm. Prema nekim kriterijima ova debljina zavara bila bi zadovoljavajuća jer je srednja vrijednost visine zavara veća od nominalne vrijednosti.

□ Kutni spoj X5CrNiMo 17-12-2

Druga pozicija koja je bila ispitivana, bio je kutno izvedeni zavareni spoj dviju čeličnih ploča X5CrNiMo 17-12-2. Debljina horizontalne i vertikalne ploče iznosila je 10 mm. Debljina ploča mjerena je pomicnim mjerilom. Zavarivanje je izvedeno praškom punjenom žicom bez zaštite plina. Jakost struje prilikom zavarivanja bila je između 290 i 300 A. Napon zavarivanja između 29 i 30 V, istosmjerne struje.

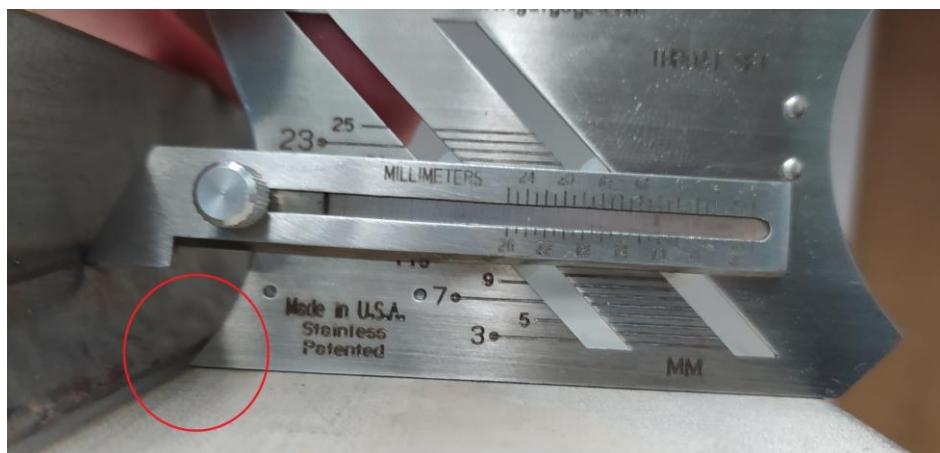


Slika 5.5. Kutni spoj čeličnih ploča X5CrNiMo 17-12-2

U prvom koraku ispitivanja vršila se vizualna kontrola zavarenog spoja. Pregledom zavarenog spoja vizualnom kontrolom nisu uočene pogreške na licu zavara koje bi upućivale na potencijalne pukotine. Također nisu pronađeni nikakvi uključci niti poroznosti na samom licu zavara. Rubovi zavarenog spoja su staljeni sa osnovnim materijalom pa nije došlo niti do preklopa materijala zavara. Na granicama zavarenog spoja nema tragova ugorina niti ulegnuća zavara. Na osnovnom materijalu također nema tragova inicijalnih pukotina. Nakon vizualne kontrole izvodilo se mjerjenje dimenzija zavarenih spojeva.

Mjerila se visina kraka kutne izvedbe spoja mjerilom HI-LO, SKEW-T i podesivim kutnim mjerilom. Rezultati mjerjenja navedeni su u *Tablica 3*.

Mjerjenje podesivim kutnim mjerilom prikazano je na *slici 5.6*. Sa slike je vidljivo da visina krakova nije jednaka jer ticalo dodiruje vrh zavarenog spoja vertikalne ploče, ali nožica na horizontalnoj ploči ne dodiruje rub kraka.

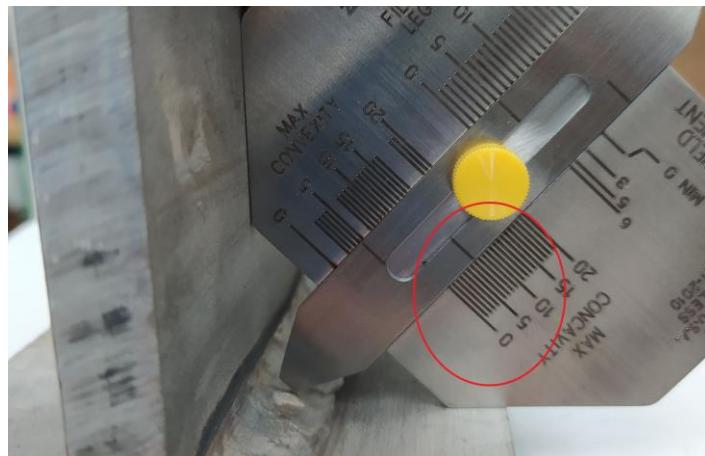


Slika 5.6. Prikaz mjerjenja visine kraka podesivim kutnim mjerilom

Ime mjerila	Pozicija mjerjenja	Rezolucija	Rezultat
HI-LO mjerilo	Horizontalni krak	1 mm	12 mm
	Vertikalni krak	1 mm	10 mm
Podesivo kutno mjerilo	Horizontalni krak	1 mm	11 mm
	Vertikalni krak	1 mm	9 mm
SKEW-T mjerilo	Horizontalni krak	0.25 mm	10.25 mm
	Vertikalni krak	0.25 mm	9.75 mm
		Srednja vrijednost	10.33 mm

Tablica 3. Prikaz rezultata mjerjenja visine kraka kutne izvedbe spoja X5CrNiMo 17-12-2

Nakon izведенog postupka mjerjenja visine kraka, krenulo se sa mjerenjem visine kutnog spoja. Visina kutnog spoja bila je mjerena mjerilom AWS i mostnim mjerilom. Rezultati mjerjenja kao i srednja vrijednost visine kutnog spoja sadržana je u Tablici 4. Na slici 5.7. prikazano je mjerjenje visine kutnog spoja ASW mjerilom. Kao što je i vidljivo sa slike horizontalna i vertikalna ploča u potpunosti naliježu na stranice mjerila, pa samim time možemo zaključiti da nemamo odstupanje od okomitosti. To znači da nemamo pogrešku promjene oblika i dimenzija zavarenog spoja.



Slika 5.7. Prikaz mjerjenja visine kutnog spoja AWS mjerilom i dokaz neodstupanja okomitosti

Ime mjerila	Pozicija mjerjenja	Rezolucija	Rezultati (očitano)
AWS mjerilo	Visina kutnog spoja	1 mm	7 mm
Mostno mjerilo	Visina kutnog spoja	1 mm	8 mm
		Srednja vrijednost	7.5 mm

Tablica 4. Rezultati mjerjenja visine kutnog spoja

Rezultati mjerenja visine zavara kreću se između 7 mm i 8 mm. Srednja visina bila bi 7.5 mm. Nominalnu visinu kutno izvedenog zavara moguće je izračunati. Kako bismo je izračunali iz *Tablice 3.* potrebno je uzeti srednju vrijednost visine kraka i pomnožiti sa koeficijentom 0.7. Kada to pomnožimo dobiti ćemo rezultat da nam je nominalna visina kutno izvedenog spoja 7,231 mm. Ovaj spoj zadovoljio bi kriterij visine kutnog spoja, jer mu je srednja vrijednost visine kutnog spoja veća od nominalne, odnosno minimalne visine kutnog spoja.

□ **Sučevni spoj S235**

Treća ispitivana pozicija bio je sučevni spoj dvije ploče zavarene EPP postupkom. Zavarene su dvije ploče, zavar je izведен sa obje strane. Jedna strana izvedena je postupkom EPP DCEP, to znači da je za zavarivanje korišten izvor istosmjerne struje, a elektroda je na plus polu. Kod ovog postupka jačina struje bila je 600 A, a napon je bio 28 V. Druga strana sučevnog spoja izvedena je EPP BALANCE 50/50. To znači da je za izvor korištena izmjenična struja jačine 450 A, napona 32 V. Oznaka 50/50 označava da je promjena polova na elektrodi između pozitivnog i negativnog pola jednaka. Kod oba postupka zavarivanja korištena je žica dodatnog materijala debljine 4 mm.

Prvi korak kontrole ovog spoja bila je vizualna kontrola. Vizualnim pregledom je uočeno da je prilikom postupka zavarivanja došlo do odstupanja oblika i dimenzija zavarenog spoja. Na licu zavara nisu uočene nikakve nepravilnosti kao što su mogle biti inicijalne pukotine, poroznosti ili razne uključine. Na rubovima zavara nisu uočene nikakve ugorine i nema preklopa dodatnog materijala preko osnovnog. Na *slici 5.8.* vidljivo je odstupanje dimenzija i oblika zavarene pozicije. Kasnije je izmjereno koliko je odstupanje od izvornih 180° sa obje strane zavara.



Slika 5.8. Prikaz sučevnog spoja i odstupanja od dimenzija i oblika izvornog spoja

Sa *slike 5.8.* vidljivo je da je ovaj sučevni spoj izведен istim postupkom zavarivanja, ali na drugačijem režimu rada zavarivačkog stroja. Gornji zavar izведен je u jednom prolazu na režimu rada EPP BALANCE 50/50 kod kojeg je korištena izmjenična struja jakosti 450 A i 32V napona. Kod ovog zavara vidljivo je veće nadvišenje lica zavara, a samim time je i oštriji prijelaz između

osnovnog materijala i materijala zavara. Sa donje strane izvedeni je postupak EPP DCEP kod kojeg je korišteni istosmjerni izvor struje jakosti 600A i 28V napona. Nadvišenje kod ovog režima zavarivanja je manje u odnosu na BALANCE 50/50 jer je izvedeno sa jačom strujom. Jača struja osigurala je bolje protaljivanje pa je i bolja penetracija u korijenskom dijelu zavara. Na rubovima gdje se spaja osnovni materijal i dodatni materijal možemo uočiti da imamo blaži prijelaz nego kod BALANCE 50/50 postupka.

Nakon vizualne kontrole krenulo se sa mjeranjem dimenzija zavarenog spoja. Prije mjerjenja nadvišenja lica zavara, mjerilo se odstupanje od oblika i dimenzija zavarenog spoja uz pomoć SKEW-T mjerila. Mjerjenje odstupanja prikazano je na *slici 5.9*. Svi rezultati mjerjenja navedeni su u *tablici 5*.



Slika 5.9. Prikaz mjerena odstupanja od dimenzija i oblika

Kako bi se moglo izvesti mjerjenje, moralo se koristiti podložne pločice kako bi stranice mjerila u potpunosti nalijegale na mjerne površine. Sa slike 5.9. vidljivo je da je izmjereno 85° . kada se izmjerenoj veličini doda 90° dobije se krajnji rezultat od 175° koje zatvara kut između dvije ploče koje su zavarene u sučeonoj izvedbi. Kada bi imali izvedbu koja ne bi odstupala od oblika i dimenzija, tada bi kut između dvije zavarene ploče iznosio 180° . U ovom slučaju, mjerjenje sa jedne strane daje nam rezultat od 175° , a sa druge strane 185° .

Mjerjenje nadvišenja izvodilo se uz pomoć AWS mjerila, mostnog mjerila i HI-LO mjerila. Rezultati mjerjenja navedeni su u *tablici 5*. Mjerjenje se vršilo sa strane koja je bila zavarivanja EPP BALANCE 50/50 postupkom.

Ime mjerila	Pozicija mjerjenja	Rezolucija	Rezultati (očitano)
AWS mjerilo	Sučevni spoj	2 mm	4 mm
Mostno mjerilo	Sučevni spoj	1 mm	3 mm
HI-LO mjerilo	Sučevni spoj	1 mm	4 mm
SKEW- T mjerilo	Sučevni spoj	2.5°	85°
	Srednja vrijednost		3.66 mm

Tablica 5. Rezultati mjerjenja nadvišenja i odstupanja od oblika i dimenzija

Mjerenje nadvišenja sučevnog spoja uz pomoć AWS mjerila dalo je rezultate između 3 i 5 mm. Pošto je rezolucija 2 mm, rezultat koji je upisani u tablicu je očitan okvirno. Srednja vrijednost nadvišenja spoja iznosi 3.66 mm.

6. Zaključak

U ovom radu slijedno je opisano kako i na koji način se vrši kontrola zavarenih spojeva kao i mjerjenje samih dimenzija zavarenih spojeva. Navedene su i pobliže objašnjene pogreške koje se mogu javiti prilikom postupka zavarivanja, kao i posljedice koje se mogu javiti zbog tih pogrešaka. Način kontrole koji se odvija u tri slijeda, prije, za vrijeme i nakon postupka zavarivanja trebao bi umanjiti mogućnost da nesukladan proizvod prođe kontrolu i završi na policama trgovina i da se nađe u eksploataciji. Uz pomoć raznih pomagala i mjernih sprava navedenim u ovom radu, u procesu kontroliranja vrši se pregled i mjerjenje dimenzija zavarenih spojeva. Za svaku navedenu spravu opisani je pravilni postupak korištenja kao i potencijalni nedostaci, ali i prednosti u odnosu na druge sprave.

U eksperimentalnom dijelu rada u prostorijama sveučilišta uz pomoć mentora izvršeno je kontroliranje već zavarenih spojeva. Kontroliranje se temeljilo na vizualnoj provjeri zavarenih spojeva i mjerenu dimenzija tih spojeva. Opisane su pozicije zavarenih spojeva, mjernim spravama mjerene su dimenzije tih spojeva, a u tablicama su navedeni rezultati mjerjenja. U odnosu na kriterije koje zavareni spoj mora ispunjavati, na kraju ispitivanja donesen je zaključak na temelju dobivenih rezultata, zadovoljava li izvedeni spoj kriterije ili ne. Na kraju ovog rada i temeljem malog, ali vlastitog iskustva iznosi se zaključak da je vizualna kontrola i mjerjenje dimenzija zavarenih spojeva od izuzetne važnosti. U postupku zavarivanja može doći do nebrojenih sitnih pogrešaka koje možda na prvu ne izgledaju kritično, međutim u eksploatacijskom procesu te pogreške mogu dovesti do otkaza proizvoda. Zbog toga je vizualna kontrola zavarenih spojeva ključna kako bi se umanjila mogućnost otkaza proizvoda.

7. Literatura

- [1] Norma BS EN ISO 17637:2011 „Non-destructive testing of welds — Visual testing of fusion welded joints (ISO 17637:2003)
- [2] Greške u zavarenim spojevima u izradi i eksploataciji; sadržaj predavanja kolegija Tehnologija III; autor: Prof.dr.sc. Ivan Samardžić, IWE
- [3] Pogreške u zavarenim spojevima; Ivan Juraga, Kruno Ljubić, Milan Živčić , Hrvatsko društvo za tehniku zavarivanja, Zagreb 1998.
- [4] Norma BS EN ISO 6520-1:1998 „Welding and allied processes — Classification of geometric imperfections in metallic materials“
- [5] <https://www.google.com/search?q=temperatura+tali%C5%A1ta+aluminijevog+oksida&oq=temperatura+tali%C5%A1ta+aluminijevog+oksida&aqs=chrome..69i57j33i160.10769j0j4&sourceid=chrome&ie=UTF-8>
Temperatura tališta aluminijevog oksida (pretraženo 7.4.2021)
- [6] Završni rad; Sveučilište u Zagrebu; Fakultet strojarstva i brodogradnje; Autor: Mateo Budimilić; Zagreb 2010
- [7] Norma BS EN ISO 5817:2014 „ Fusion welded joints in steel – Quality levels for imperfections“
- [8] Bilješke sa kolegija „ Mjerenja u proizvodnji“
- [9] https://www.youtube.com/watch?v=uV_LjUbIBxE „Mogućnosti mjerenja i opisani postupak pravilnog mjerenja HI-LO mjerne skale“
- [10] Upute za rad mjerilima u laboratoriju; Gal gage co.
- [11] <https://www.youtube.com/watch?v=AiDw1xxJh5A> „Mogućnosti mjerenja i opisani postupak pravilnog mjerenja mostnom mjernom skalom“
- [12] <https://www.youtube.com/watch?v=zwNHgOUtvz8> „Mogućnosti mjerenja i opisani postupak pravilnog mjerenja V-WAC mjernom skalom“
- [13] <https://www.youtube.com/watch?v=QgUKGkREZvA> „Mogućnosti mjerenja i opisani postupak pravilnog mjerenja AWS mjernom skalom“
- [14] <https://www.youtube.com/watch?v=5MgOZXbwKWk&t=122s> „Mogućnosti mjerenja i opisani postupak pravilnog mjerenja SKEW-T mjernom skalom“

Popis slika

Slika 1.0. Vizualna kontrola ravne površine	2
Slika 3.1. Penetrantska metoda ispitivanja pukotina [2].....	6
Slika 3.2. Prikaz tople pukotine zavarenog spoja [2]	7
Slika 3.3. Prikaz lamelarnog raslojavanja [2].....	8
Slika 3.4. Prikaz površinske i unutarnje poroznosti zavarenog spoja [2]	9
Slika 3.5. nedovoljni provar [4]	10
Slika 3.6. Naljepljivanje [4].....	10
Slika 3.7. Uključak u obliku zarobljene troske [4].....	11
Slika 3.7. Prikaz ugorine [4].....	12
Slika 3.7. Prikaz nadvišenja lica zavara [3]	13
Slika 3.9. Nadvišenje korijena zavara [4].....	14
Slika 3.10. Konkavnost korijena zavara [6]	15
Slika 3.11. Premali kut nadvišenja [4]	15
Slika 3.12. Preklop materijala sučeonog i kutnog spoja.....	16
Slika 3.13. Asimetričnost kutnog zavara [4]	17
Slika 3.14. Nepravilno izведен nastavak zavara [6]	18
Slika 3.16. Ulegnuće lica zavara [6]	18
Slika 3.15. Linearna pomaknutost u sučeljavanju [7]	19
Slika 3.17. Promjene dimenzija i oblika radnog komada	20
Slika 4.0. Povećalo za kontrolu zavara.....	22
Slika 4.1. Kontrola zavara pomoću boroscopa.....	22
Slika 4.2 Prikaz mjerila u obliku kapljice [6]	23
Slika 4.3 Šablone kod kontrole kutnih zavara [8].....	25
Slika 4.4. Prikaz očitanja skale za nadvišenje zavara.....	25
Slika 4.6. Mjerenje linearne posmakinosti	26
Slika 4.6. prikaz očitanja debljine stijenke	26
Slika 4.6. prikaz mjerenja razmaka korijenskog dijela žlijeba.....	27
Slika 4.7. mjerenje skošenja pripremnog žlijeba.....	27
Slika 4.7. prikaz mjerenja visine kraka zavarenog spoja [10]	28
Slika 4.8. Prikaz postavljanja i očitanja mjerila	28
Slika 4.8. Mjerenje nadvišenja sučeonog spoja.....	29
Slika 4.9. Mjerenje ulegnuća na lokalnom dijelu cijevi	30
Slika 4.10. Mjerenje skošenja pripremnog žlijeba	30
Slika 4.11. Prikaz mjerenja linearног odstupanja vanjske stijenke cijevi	31
Slika 4.12. prikaz mjerenja i očitanja mjerenja nadvišenja kutnog spoja	31
Slika 4.13. Prikaz mjerenja visine kraka kutnog spoja.....	32
Slika 4.14. prikaz mjerenja nadvišenja v-wac mjerilom	33
Slika 4.15. Mjerenje ugorina ili udubljenja v-wac	33
Slika 4.16.mjerenje linernog odstupanja v-wac mjerilom.....	34

Slika 4.17. Prikaz usporedbe kratera i rupe na mjerilu v-wac	34
Slika 4.18. Prikaz mjerena i očitanja nadvišenja sučeonog spoja	35
Slika 4.19. Prikaz mjerena i očitavanja vrijednosti visine kraka kutne izvedbe spoja	36
Slika 4.20 Prikaz mjerena i kontrole dimenzija konkavnog zavarenog spoja u kutnoj izvedbi	36
Slika 4.21 Prikaz mjerena nadvišenja (konveksnosti) zavarenog spoja u kutnoj izvedbi	37
Slika 4.21. Prikaz mjerena visine i duljine kraka kutno izvedenog spoja.....	38
Slika 4.22 Prikaz mjerena kuta pod kojim se nalaze ploče u kutnoj izvedbi spoja.....	39
Slika 5.1. Prikaz kutnog spoja AlMg5 izvedenog TIG postupkom	40
Slika 5.2. Prikaz mjerena visine spoja i odstupanje od okomitosti	41
Slika 5.3. Prikaz mjerena kuta	42
Slika 5.4. Mjerenje visine kraka kutne izvedbe spoja AlMg5.....	43
Slika 5.5. Kutni spoj čeličnih ploča X5CrNiMo 17-12-2	44
Slika 5.6. Prikaz mjerena visine kraka podesivim kutnim mjerilom.....	44
Slika 5.7. Prikaz mjerena visine kutnog spoja AWS mjerilom i dokaz neodstupanja okomitosti	45
Slika 5.8. Prikaz sučeonog spoja i odstupanja od dimenzija i oblika izvornog spoja	46
Slika 5.9. Prikaz mjerena odstupanja od dimenzija i oblika	47

Popis tablica

Tablica 1. Prikaz rezultata mjerena visine AlMg5 kutnog spoja	42
Tablica 2. Prikaz rezultata mjerena visine kraka kutne izvedbe AlMg5 spoja	43
Tablica 3. Prikaz rezultata mjerena visine kraka kutne izvedbe spoja X5CrNiMo 17-12-2	45
Tablica 4. Rezultati mjerena visine kutnog spoja	45
Tablica 5. Rezultati mjerena nadvišenja i odstupanja od oblika i dimenzija	48