

# 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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:524862>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-03**



*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

ODJEL: Odjel za strojarstvo

STUDIJ: preddiplomski stručni studij Proizvodno strojarstvo

PREDSJEDNIK: Nikola Mikulek

STATISTIČKI BROJ: 1513/336

DATA: 28.04.2021.

KOLEGIJ: Tehnologija 3

NASLOV RADA: Mjerenje i kontrola dimenzija zavarenih spojeva

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU: Measurement and control of welded joint dimensions

MENTOR: dr.sc. Matija Bušić

ZVANJE: docent

### ČLANOVI POVJERENSTVA

1. doc.dr.sc. Zlatko Botak predsjednik povjerenstva
2. doc.dr.sc. Matija Bušić, mentor, član
3. Merko Horvat, dipl.ing. član
4. doc.dr.sc. Tomislav Veliki, rezervni član
- 5.

## Zadatak završnog rada

BROJ: 348/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 mjerenje dimenzija i otkrivanje grešaka na zavarenim spojevima.

U eksperimentalnom dijelu rada na zadanim uzorcima zavarenih spojeva potrebno je pomoću dostupnih mjernih alata izvršiti mjerenje dimenzija zavara. Prezentirati rezultate mjerenja te donijeti zaključke na temelju iskustva steknutog kroz rad na eksperimentu.

DATUM IZVJEŠTA:

04. 05. 2021.



M. Bušić



**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 tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s Interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga 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 isključivi 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 tuđih 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 objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, Nikola Mikulek (ime i prezime) neopozivo 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 mjerenje 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 mjerenja i kontrole dimenzija zavarenih spojeva.

Ključne riječi: nerazorna metoda, ispitivanje zavarenih spojeva, mjerenje 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

<b>NDT (KBR)</b>	kontrola bez razaranja (Non-destructive testing)
<b>DT (KR)</b>	kontrola razaranjem (Destructive testing)
<b>ZT</b>	zona taljenja
<b>ZUT</b>	zona utjecaja topline
<b>EPP</b>	elektrolučno zavarivanje pod zaštitom praška
<b>REL</b>	ručno elektrolučno zavarivanje
<b>MIG</b>	elektrolučno zavarivanje taljivom žicom u zaštiti inertnog plina
<b>MAG</b>	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.	Greške u zavarenim spojevima .....	5
3.1.	Potencijalne greške koje je moguće uočiti 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 mjerenje dimenzija zavarenih spojeva .....	21
4.1.	Boroskopi i razna povećala .....	22
4.2.	Jednostavno mjerilo u obliku kapljice vode .....	22
4.3.	Šablone za mjerenje 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 eksploatacije 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 eksploatacije proizvoda dođe do otkaza pojedinih komponenti. Kada se zavareni spojevi nebi kontrolirali, nitko nebi mogao garantirati da zavareni spojevi osiguravaju traženu čvrstoću i da će proizvod tijekom eksploatacije 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 eksploataciji pa se u industriji najčešće koristi NDT metoda ispitivanja.

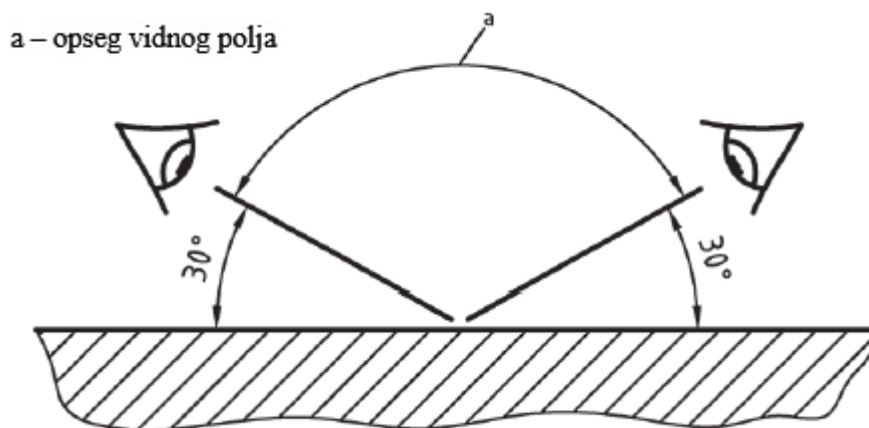
Za samu nerazornu metodu ispitivanja postoji norma HRN EN ISO 17637:2017. Norma HRN EN ISO 17637:2017 je europska norma koja je prihvaćena i u hrvatskoj. Ta se norma temeljni na vizualnoj kontroli zavarenih spojeva nastalim taljenjem. Dakako ta norma vrijedi i za samu pripremu pozicije koja se zavaruje.

Sam sadržaj norme diktira nam način na koji i kako se pravilno kontrolira sam postupak prije zavarivanja kao i sam zavareni 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 tijekom 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 osvijetljenje od 500 lx. Za izravan pregled površine, sama površina koja se kontrolira mora biti 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 osvijetljenja 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 osposobljena 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 izveden 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 bilo kakve 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 dali 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 provjereno 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 nekima 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]

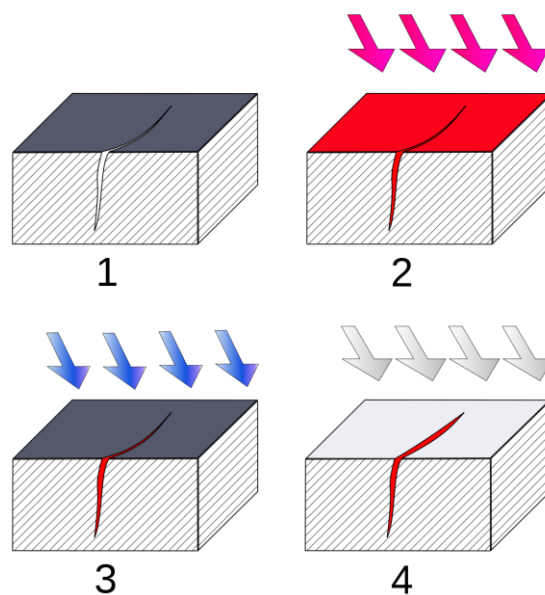
**Metalurške greške** su greške koje se javljaju u zoni taljenja i one su vezane uz termodinamičke pojave kod procesa taljenja materijala. Te greške ovise o daljnjem hlađenju rastaljene kupke metala, te pojavom kristalizacije. U metalurške greške spadaju razni uključci, zatim pukotine, zaostala troska 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 razvijач, koji je različite boje od penetranta. Nakon nekog vremena ako postoji pukotina u koju se zavukao penetrant, razvijач 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

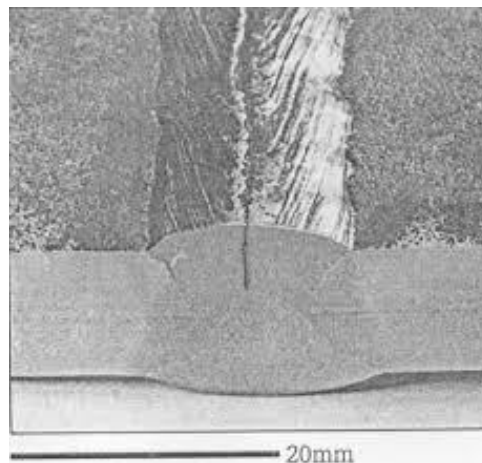
nastaju zbog zarobljenog vodika koji nije uspio izaći iz zavarenog spoja. Sklonost hladnim pukotinama može se analitički izračunati preko ekvivalenta ugljika.

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 daljnjim 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 klica kristalizacije i daljnjem hlađenju i skupljanju materijala, ako unutar zavara ostane neka nečistoća, daljnjim hlađenjem stvara se naprezanje unutar zavara i dolazi do toplog loma.

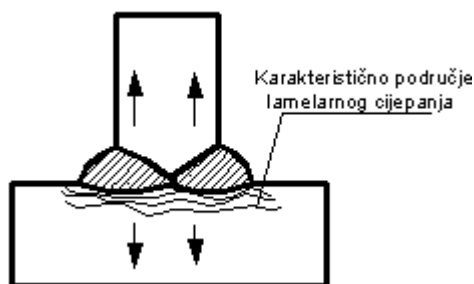
Podsolidusne pukotine često nastaju u zoni utjecaja topline. Također mogu nastati okomito na smjer zavarenog spoja, paralelno sa smjerom zavarenog spoja ili pod bilo kojim drugim kutom. Nastaju kao posljedica nehomogenosti strukture osnovnog materijala. Odnosno na granicama zrna prilikom zagrijavanja osnovnog materijala pojave se nečistoće. Daljnjim 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 daljnjeg 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 lamelnog 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 neželjenog 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

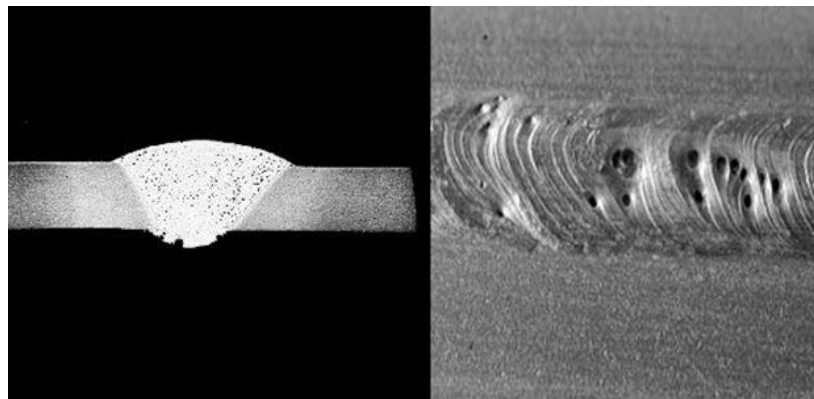
Poroznosti su nesavršenosti unutar zavarenog spoja koje se manifestiraju kao plinski mjehurići. Unutar samog zavarenog spoja pojavljuju se kao šupljine koje se mogu nalaziti na samoj površini, ili dublje u zavaru. Nastaju kao posljedica zaostalog plina koji nije uspio izaći iz metalne kupke prije nego 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, mjehurići plinova krenu izranjati na površinu. Međutim, ukoliko je brzina skrutnjavanja prevelika, plinovi ostaju zarobljeni u zavarenom spoju 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:

- Vlaga 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

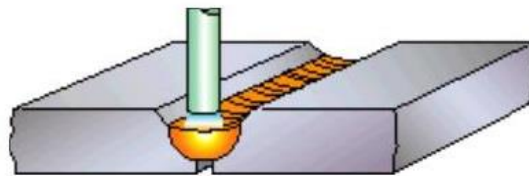
Nedovoljan provar je greška koja se javlja u samom korijenu zavara. Prilikom taljenja osnovnog i dodatnog materijala, nije došlo do protaljivanja samog korijenskog dijela zavara. Naljepljivanje je pak nepostojanje čvrste veze unutar zavarenog spoja. Naljepljivanje može biti na stranice žlijeba osnovnog 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:

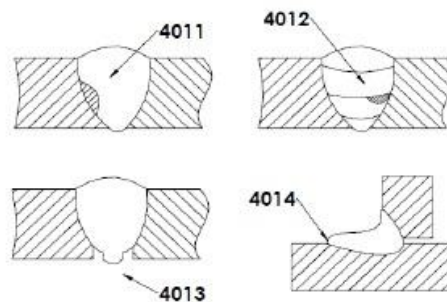
- Premala jakost struje i prevelika brzina povlačenja elektrode ili sapnice [3]
- Nepravilan položaj zavarivanja (pogrešno držanje nagiba elektrode ili sapnice) [3]
- Nedovoljno dobra ili pogrešna priprema spojnog mjesta [3]
- Nedovoljno čiste površine spoja [3]

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 zavora 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 aluminijskog oksida 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 izaći na površinu prije samog skrutnjavanja ili pak može biti zarobljen pijesak ukoliko se vrši postupak zavarivanja pod zaštitom pijeska. 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.

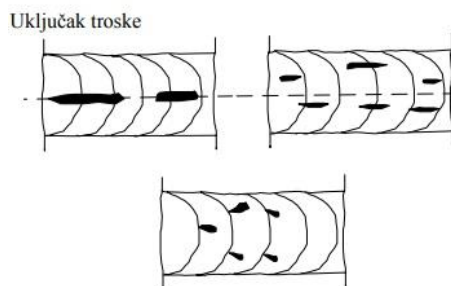
Ukoliko unutar prolaza ostane zarobljen uključak strane materije, zbog sila koje djeluju na materijal koji se ohlađuje, može doći do pukotina samog zavora. Ukoliko i ne dođe do samih pukotina, uključci negativno utječu na čvrstoću i pouzdanost zavarenog spoja. Veličina kao i količina uključaka drastično utječe na čvrstoću samog zavora 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 mjerenja tih odstupanja.[4]

### 3.2.1. Ugorine u zavaru

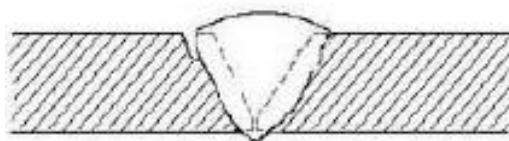
Ugorine su vrste pogrešaka oblika zavarenog spoja koje se manifestiraju kao vrlo oštri zarezi na mjestu prijelaza između osnovnog materijala i zavarenog prolaza. Najčešće se javljaju kod sučeonih i kutnih spojeva prijelaza zavar-osnovni materijal, međutim mogu se javiti i kod prijelaza zavar-zavar kod 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 zavora

Preveliko nadvišenje zavora je prekomjerno gomilanje dodatnog materijala na licu zavora [4]. Ovakav tip pogreške prilikom zavarivanja najčešće nastaje u zavarivanju sa više prolaza. Najčešće se u pretposljednem zavoru 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].

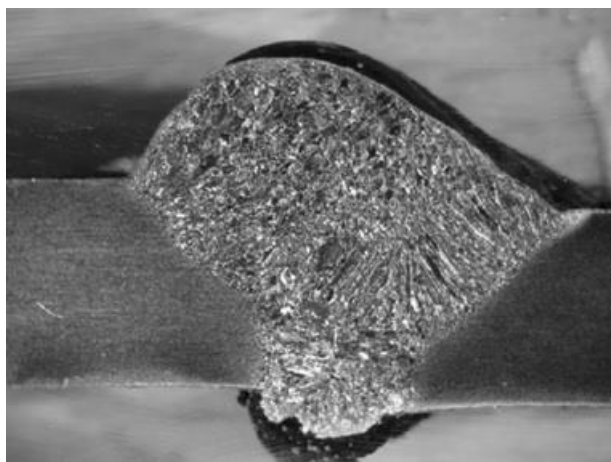
Osim neprivlačnog vizualnog izgleda zavora, posljedice ove pogreške u eksploataciji mogu biti katastrofalne. Naime zbog samog nadvišenja i oštrog prijelaza između lica zavora i osnovnog materijala, tijekom eksploatacije može doći do otkaza dijela konstrukcije. Sam oštri rub ukoliko je dio konstrukcije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

Načini nastanka prevelikog nadvišenja zavora:

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

Načini sprječavanja nastanka prevelikog nadvišenja lica zavora:

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



*Slika 3.7. Prikaz nadvišenja lica zavora [3]*

### 3.2.3. Preveliko nadvišenje korijena zavara

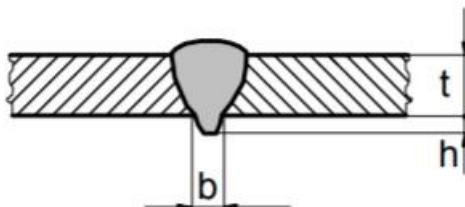
Preveliko nadvišenje korijenskog dijela zavara je višak materijala u korijenskom dijelu koji se manifestira kao ispupčenost. Kod sučeonih spojeva ovakva vrsta pogreške javlja se ukoliko je razmak između pripremljenih stijenki ( u žlijebu ) prevelik [3]. Isto kao i kod nadvišenja lica zavara ovaj tip 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 podesiti parametre zavarivanja
- Obučiti zavarivača



Slika 3.9. Nadvišenje korijena zavara [4]

### 3.2.4. Konkavnost korijena zavara

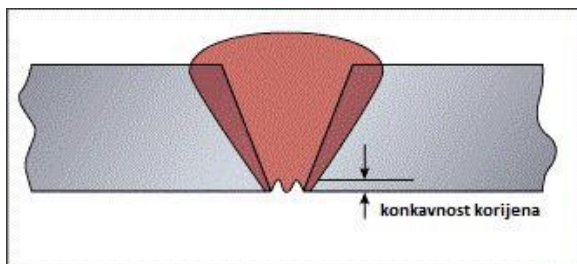
Konkavnost je tip pogreške koji se manifestira kao nedovoljno popunjeni korijenski zavar. Ova vrsta pogreške ima za posljedicu smanjenje debljine zavarenog spoja. Nastaje najčešće u nadglavnom položaju zavarivanja sučeonih spojeva [4]. Zbog gravitacije u nadglavnom položaju talina se slijeva u centar 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  $\alpha$  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  $\alpha$ .

Uzroci stvaranja ovog tipa pogreške:

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

Načini sprječavanja nastanka ovog tipa pogreške:

- Podesiti parametre zavarivanja [3]
- Obučiti zavarivača



Slika 3.11. Premali kut nadvišenja [4]

### 3.2.6. Preklop materijala zavora na površine osnovnog materijala bez staljivanja

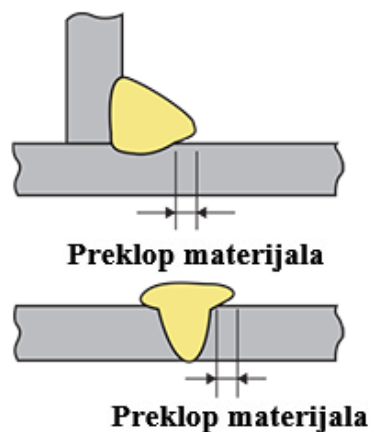
Ovakav tip pogreške može se dogoditi kod sučeonih i kutnih tipova zavarenih spojeva. Česti slučaj je da se preklop dogodi kao u licu zavora tako i u korijenskom dijelu. Do ove greške dolazi ukoliko se prilikom postupka zavarivanja stvara velika kupka taline. Ukoliko površine osnovnog materijala nisu 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 zavora 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

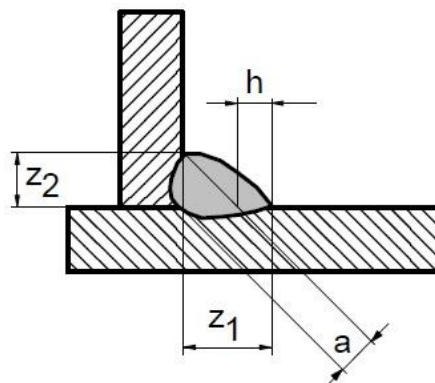
Ovakva vrsta pogreške nastane prilikom kutnog zavarivanja. Na jednoj stranici kutnog zavara nalazi se veći dio zavara, dok na drugoj stranici manji. Najčešće nastaje prilikom vodoravnog zavarivanja kutnog zavara prilikom kojeg je došlo do nepravilnog držanja elektrode ili sapnice pištolja za zavarivanje. 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:

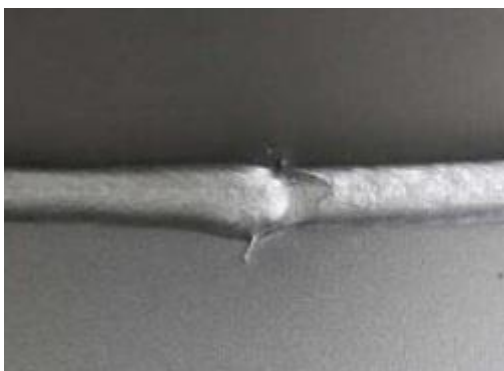
- Podesiti pravilne parametre zavarivanja
- Visine zavara iznad 5 mm izvoditi u više prolaza [3]
- Obučiti zavarivača



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 obučiti za pojedine postupke zavarivanja.



Slika 3.14. Nepravilno izveden nastavak zavora [6]

### 3.2.9. Ulegnuće lica zavora

Ovo je vrsta pogreške slična pogrešci u kojoj imamo previše uzdignuti materijal na licu zavora. Ovdje se javlja kao manjak materijala u žlijebu zavora. Za posljedicu ima manju debljinu zavarenog spoja u sučeonoj izvedbi kao i u kutnoj izvedbi zavora. 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 zavora. 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 zavora:

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

Načini sprječavanja nastanka ulegnuća zavora:

- Obučiti zavarivača
- Podesiti ispravne parametre za postupak zavarivanja



Slika 3.16. Ulegnuće lica zavora [6]

### 3.3. Dimenzijske pogreške prilikom zavarivanja

#### 3.3.1. Linearna pomaknutost u sučeljavanju

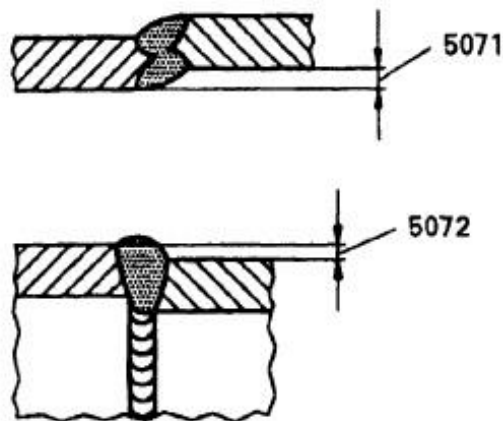
Ovakva vrsta pogreške nastaje prilikom neadekvatne pripreme prije samog postupka zavarivanja. Ovo je pogreška koja za posljedicu ima dva osnovna materijala koja mogu ali i ne moraju biti jednake debljine, a koja nisu u ravnini sa osima. Pogreška ovog tipa uzrokuje mnogo problema ukoliko se na ovaj način 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 vrtložnja 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

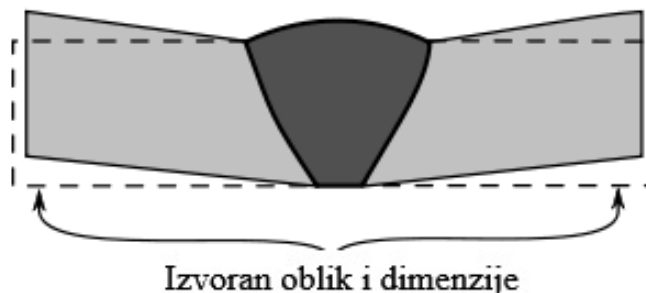
Ova vrsta pogreške javlja se nakon zavarivanja a posljedica joj je odstupanje jednog dijela konstrukcije od zadanog pravca. Sam uzrok ove pogreške leži u pripremi koja se mora obaviti prije samog postupka zavarivanja. Nedovoljnom pripremom i osiguravanjem pozicije koje se zavaruju. Prilikom zavarivanja, 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 mjerenje 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 mjerenja 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 mjerenje dimenzija zavarano spoja. 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 daljnjim postupcima kako bi se uklonila moguća daljnja oštećenja konstrukcije. Pravilno ispitivanje se vrši na način da se u svakoj točki mjerenje vrši tri puta. Mjerenje se vrši tri puta kako bi se ustanovila točnost mjerenja. Za to je potrebno da se sva tri puta mjerenje 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 mjerenja dimenzija zavarenih spojeva opisati će se razna mjerila sa nonius skalama, pomoću koji 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.

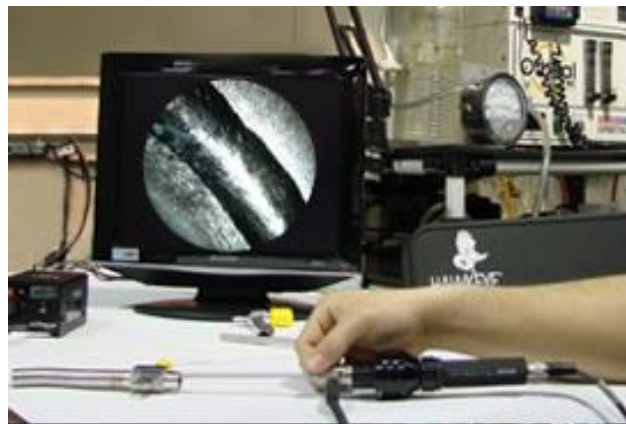
Osobe koje izvode postupak kontrole i mjerenja, moraju biti obučene za taj postupak i moraju postupati u skladu sa normama.

## 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 zavora. Boroskopi se koriste kod nedostupnih mjesta gdje upotreba povećala nije moguća.



*Slika 4.0. Povećalo za kontrolu zavora*



*Slika 4.1. Kontrola zavora pomoću boroscopa*

## 4.2. Jednostavno mjerilo u obliku kapljice vode

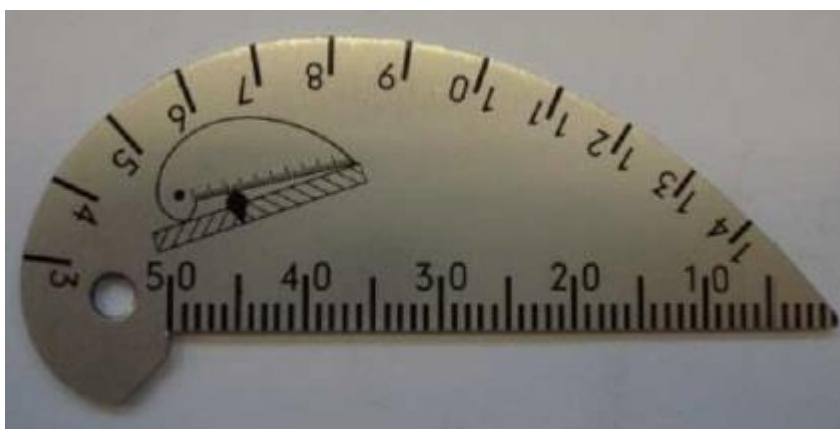
Ovo je mjerilo u obliku polovine kapljice vode kojim se vrši mjerenje dimenzija u kutnim i sučeonim zavarenim spojevima. Pomoću ovog mjerila mjeri se nadvišenje i debljina zavarenog spoja pri kutnoj i sučeonoj izvedbi. Na slici 4.2 Prikazano je mjerilo. To mjerilo ima mogućnost mjerenja nadvišenja do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

#### □ **Mjerenje nadvišenja kod sučeonih izvedbe**

Kod sučeonih 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 nadvišenje 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 zavora**

Kod mjerenja visine kutnog zavarenog spoja mjerilo također mora mjereni komad dodirivati u tri točke. Mjerilo se postavlja na način da se zakrivljeni dio prisloni uz stranice kutnog zavora i da ga dodiruje, a nadvišenje korijenskog dijela zavora mora dodirivati mjerilo u trećoj točki. Kada mjerna sprava dodiruje kutni zavar u tri točke, na zakrivljenoj 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 mjerenja nadvišenja kod sučeonog spoja, može doći do pogrešnog očitavanja zbog linearne pomaknutosti cijevi ili komada lima koji su zavareni. Također može doći i do pogrešnog očitavanja 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 mjerenja. 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 mjerenje potrebno je da je kut između zavarenih dijelova što bliže kutu od  $180^\circ$ . Ukoliko je konstrukcijski izvedeno da je kod sučeonog spoja kut drastično veći ili manji od  $108^\circ$ , a kod kutnog drastično veći ili manji od  $90^\circ$ , tada treba težiti nekim drugim metodama za mjerenje nadvišenja ili debljine zavara. Prednost ovog mjerila je jednostavno i brzo mjerenje. Male dimenzije omogućuju relativno lako mjerenje na ne tako pristupačnim mjestima.

Kod kutnog zavarenog spoja ovim mjerilom mjeri se visina korijenskog zavara. Ovakvo mjerilo nema svrhe kod mjerenja 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. Mjerenje 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  $0.5^\circ$ , a kod debljina koje su bliže 3 mm odstupanje od okomitosti mora biti u granicama od  $1^\circ$ . [6]

### 4.3. Šablone za mjerenje visine kutnog zavara

Ove vrste mjernih šablona koriste se za brzu kontrolu visina, kutnih zavarenih spojeva. Mjerenje 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 šablona koja ima ravne stranice koristi se za mjerenje visina ravnih kutnih spojeva. Dok se šablona koja je zaobljena, koristi za mjerenje visina kutnih zavara koji su izvedeni u konveksnom obliku i zavara koji imaju lagano nadvišenje.

#### □ Prednosti i nedostaci šablona

Prednost ovih šablona 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 mjerenja koja ne zahtijevaju veliku točnost mjerenja. [8]

Nedostaci su ti da su materijali izrade šablona uglavnom aluminijske legure, pa uslijed korištenja dolazi do habanja vrhova i samim tim se smanjuje preciznost mjerenja. Kod mjerenja visine zavara ravnih zavarenih spojeva mjernom 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 mjerenja. A i sama točnost mjerenja je 1 mm. Kod mjerenja 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 mjerenja.

Ovakve šablone koriste se kod kontrole gdje nije važno precizno mjerenje 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 mjerenje više veličina nakon sučeonog postupka zavarivanja. Ona omogućuje mjerenje nadvišenja sučeonog zavarenog spoja, prilikom zavarivanja cijevi mjeri se debljina same stijenke cijevi, moguće je mjerenje razmaka između cijevi. Omogućuje mjerenje linearne pomaknutosti s unutarnje ili vanjske strane pripreme spoja. [9]

##### □ Mjerenje nadvišenja

Mjerenje nadvišenja izvodi se na način da se jedna od od nožica postavi tako da cijelom dužinom naliže 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 očitavanja 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 stijenkiju 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 stijenkiju cijevi. Nakon toga, na vrhu skale se očitava linearno odstupanje prikazano na slici 4.5. [9]



*Slika 4.6. Mjerenje linearne posmaknutosti*

#### □ **Mjerenje debljine stijenke**

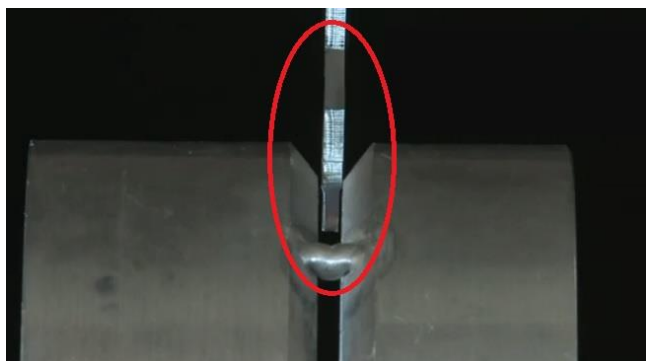
Debljina stijenke mjeri se na sličan način kao i linearna pomaknutost. Razlika je u tome što se prilikom mjerenja debljine stijenke koristi samo jedna nožica, odnosno samo jedno ticalo. Ticalo se umetne u unutrašnjost cijevi, a fiksni dio položi se da naliježe na vanjsku stijenkiju cijevi. Zatim se povlači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



*Slika 4.6. prikaz očitavanja debljine stijenke*

#### □ Mjerenje širine razmaka u korijenskom dijelu žlijeba

Mjerenje razmaka između pripremljenih 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 mjerenja razmaka korijenskog dijela žlijeba*

#### □ Mjerenje kosine na pripremljenom žlijebu

Pripremljena 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 stijenku cijevi. Nakon što je mjerilo okomito u odnosu na cijev, 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]



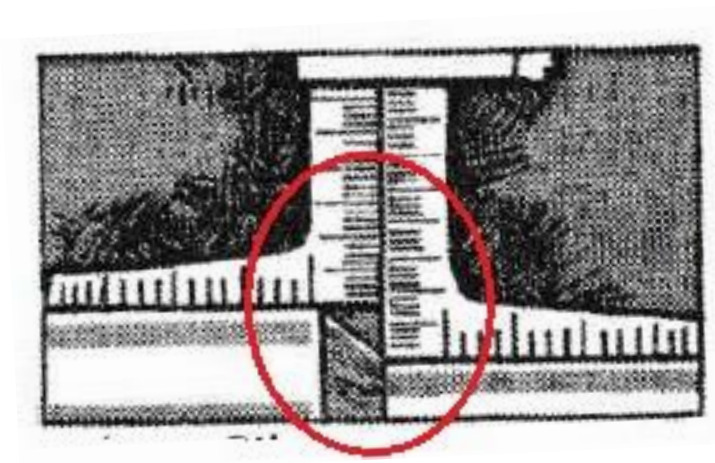
*Slika 4.7. mjerenje skošenja pripremljenog žlijeba*



#### □ Mjerenje dimenzija kutnog zavora

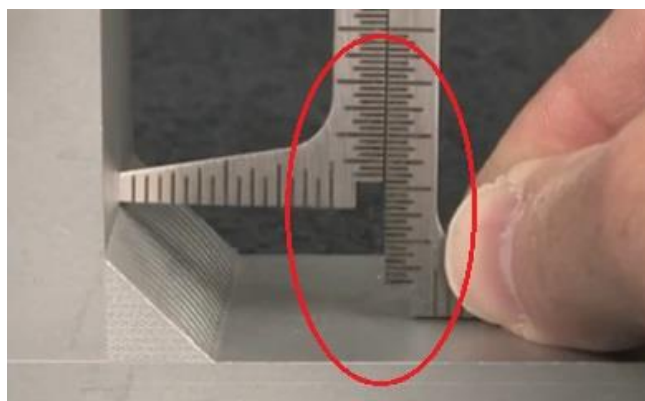
Mjerenje dimenzija kutnog zavora može se izvoditi na dva načina. Prvi način je mjerenje kraka zavora ukoliko je visina kraka i visina stijenke jednaka. A drugi način je klasično mjerenje kraka zavora kod kojeg je zavar niži u odnosu na stijenku.

Da bi se izmjerila visina kraka zavora jedna nožica mora cijelom dužinom nalijegati na vanjsku površinu lima ili cijevi, a druga nožica naliježe na drugu stijenku ukoliko je visina kraka zavora jednaka visini stijenke. Sa *slike 4.7.* vidi se način mjerenja i očitavanja visine kraka zavora. [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 očitavanja dimenzija vidljiv je sa *slike 4.8.* [10]



*Slika 4.8. Prikaz postavljanja i očitavanja mjerila*

#### □ **Prednosti i mane HI-LO mjerila**

Prednosti ovog mjerila su te da je jednim mjerilom moguće mjeriti 6 različitih dimenzija kod kutne i sučeeone izvedbe zavarenog spoja. Mjerenje linearnog odstupanja, nadvišenja kod sučeeonog spoja i visine kraka kod kutnog spoja moguće je izmjeriti sa točnošću od 0.1 mm, dok je mjerenje debljine stijenke cijevi ili komada lima moguće izmjeriti sa točnošću 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.

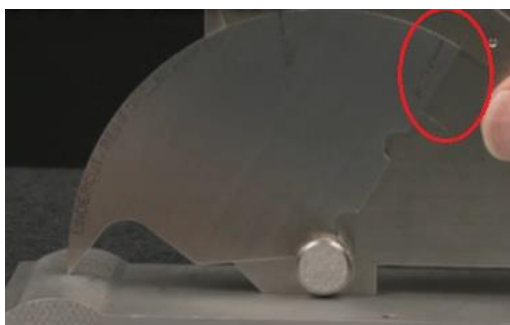
Nedostatak ovog mjerila uočljiv je prilikom mjerenja razmaka u korijenskom dijelu pripremljenog žlijeba. Naime ticala su izvedena kao dvije šablone, jedna tanja debljine 1.5875mm, a druga deblja debljine 2.38125mm. Ovim mjerilom moguće je izmjeriti zadovoljava li korijenski razmak zadani kriterij, ali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

#### **4.5. Bridge cam gauge (mostno mjerilo)**

Ovo je vrsta mjerne skale pomoću koje se mjere nadvišenja sučeeonih i kutnih spojeva, visina kraka kod kutne izvedbe, nagib skošenja pripremnog žlijeba, linearno 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 eksploatacijskih uvjeta i nije podložna prevelikom habanju. To nam omogućuje dosta precizna mjerenja. Ovom mjernom skalom koja se nalazi na *slici 4.8.* mjere se nadvišenja kod sučeeonih spojeva, dubina ugorine te visinu kraka kod kutne izvedbe spoja, koju moguće je izmjeriti sa točnošću od 0.1mm. [11]

#### □ **Mjerenje nadvišenja sučeeonog spoja**

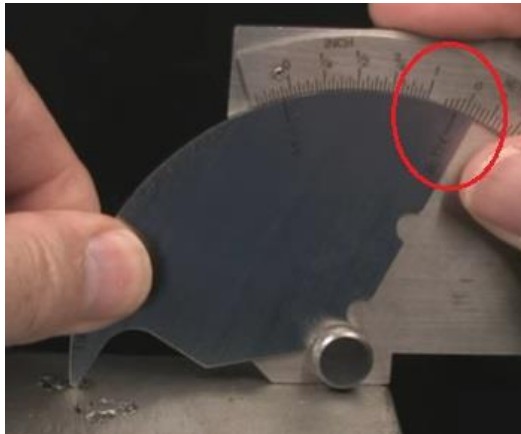
Mjerenje nadvišenja sučeeonog spoja izvodi se na način da se donji ravni dio mjerila postavi na vanjski ravni dio lima ili na vanjsku stijenku cijevi na način da naliže na tu površinu u potpunosti. Nakon toga spušta se oštro ticalo koje mora dodirivati najvišu točku nadvišenja. Nadvišenje se čita sa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



*Slika 4.8. Mjerenje nadvišenja sučeeonog spoja*

#### □ Mjerenje ugorina ili drugih ulegnuća

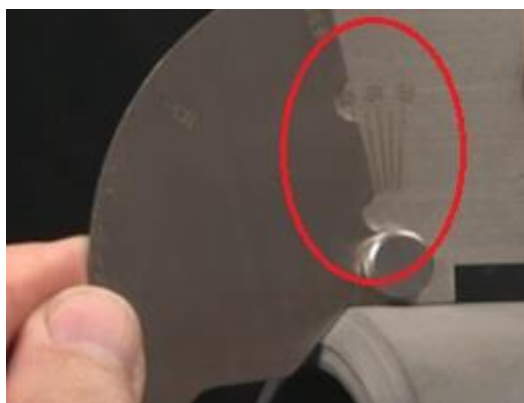
Mjerenje ugorina izvodi se na sličan način kao i mjerenje nadvišenja. Jedina razlika je u tome što vršak ticala ne ide na vrh nadvišenja, nego se spušta u krater ugorine, odnosno u najnižu točku. Dubina se očitava sa iste skale kao i kod mjerenja nadvišenja. Sa *slike 4.9.* je vidljivo da je oštećenje 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 pripremljenih stranica ( žlijeba )

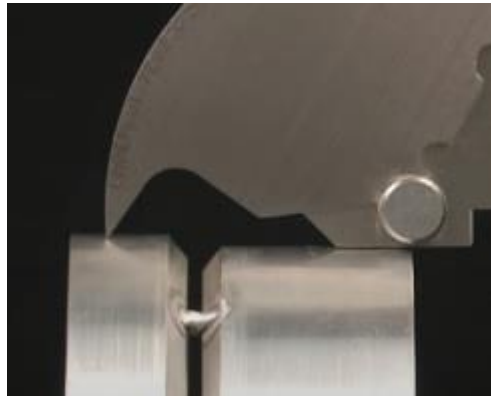
Mjerenje skošenja izvodi se na način da se donji dio mjerila postavi na vanjski ravni dio lima ili na vanjsku stijenku cijevi na način da naliže na tu površinu u potpunosti. Kada je mjerna sprava okomita u odnosu na mjerni dio, tada se spušta ticalo čiji je donji dio ravan. Taj ravan dio tako dugo se 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 pripremljenog žlijeba*

□ **Mjerenje linearnog odstupanja vanjske stijenke**

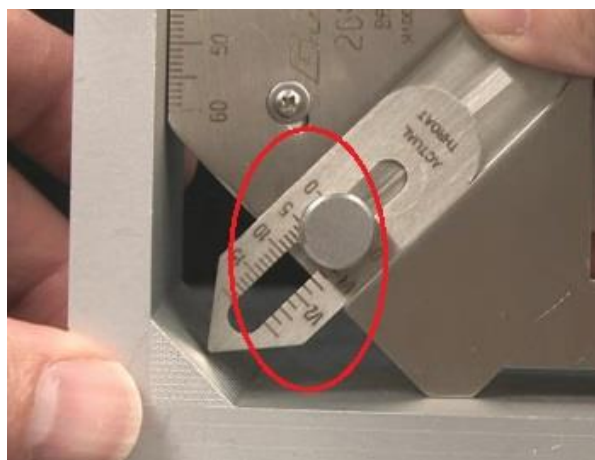
Mjerenje linearnog odstupanja vrši se na sličan način kao i mjerenje nadvišenja kod sučeonog spoja. U ovom slučaju, donji ravni dio mjerila mora u potpunosti nalijegati na vanjsku stijenku, a vršak pomičnog ticala spušta se na drugu susjednu stijenku. Nakon toga očitava se linearno odstupanje u mm sa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



*Slika 4.11. Prikaz mjerenja linearnog odstupanja vanjske stijenke cijevi*

□ **Mjerenje nadvišenja kutnog zavara**

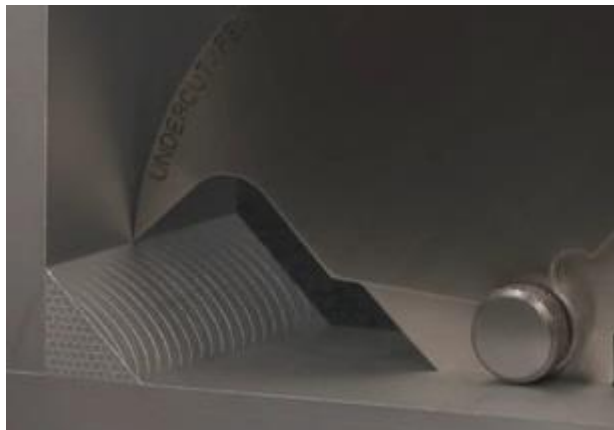
Mjerenje nadvišenja kutnog zavara vrši se istim mjerilom ali drugim ticalom. Sa stražnje strane mjerila nalazi se ticalo za mjerenje nadvišenja kutnih zavara. Moguće je mjeriti kutne zavare u izvedbi od  $90^\circ$  uz dozvoljene male oscilacije od  $1^\circ$ . Mjerenje se vrši na način da mjerilo naliježe 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 očitavanja mjerenja nadvišenja kutnog spoja*

#### □ **Mjerenje visine kraka kutnog zavora**

Visina kraka kutnog zavora mjeri se istim ticalom kao i nadvišenje sučeonog spoja. Na horizontalnu stranicu stavi se mjerilo tako da naliže cijelom dužinom. Nakon toga spušta se zakrivljeno 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 sučeonih tako i kutnih spojeva, te omogućuje mjerenje skošenja žlijeba zavora sa točnošću od 5°, dok mjerilo HI-LO ima zadanu 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 mjerenja nadvišenja v-wac mjerilom

#### □ Mjerenje dubina ugorina i ulegnuća

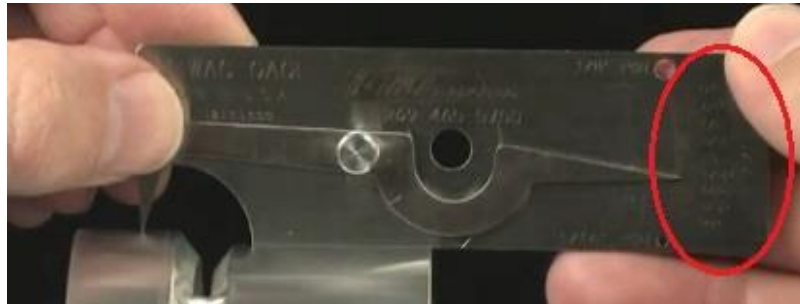
Ugorine se mjere na način da se mjerilo poravnava sa ravninom koja se mjeri, na način da donja strana mjerila u potpunosti naliježe na radni komad. Nakon toga ticalo se spušta u ugorinu ili udubljenje i sa skale koja je prikazana na slici 4.15. očitava se dubina neravnina ili dubina ugorine. [12]



Slika 4.15. Mjerenje ugorina ili udubljenja v-wac

#### □ Mjerenje linearnog odstupanja vanjske stijenke cijevi ili lima v-wac mjerilom

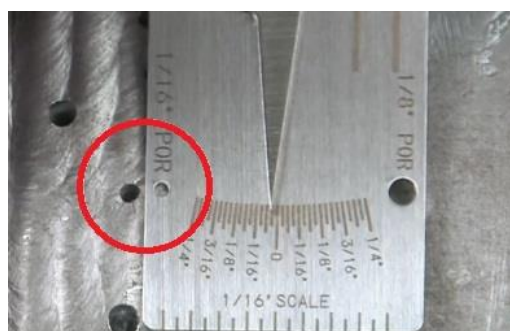
Mjerenje se vrši na sličan način kao kada se mjeri nadvišenje ili ugorina. U ovom slučaju mjerilo se također stavlja na način da njegov donji dio naliže na stijenku cijevi ili vanjsku stranu lima. A ticalo se spušta na susjednu vanjsku stijenku cijevi ili lima. Sa skale koja je prikazana na slici 4.16.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



Slika 4.16. mjerenje linearnog 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 mjernoj 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 mjerenje dubine ugorina kao i kontrolu dimenzija kratera nastalih kao posljedica poroznosti.

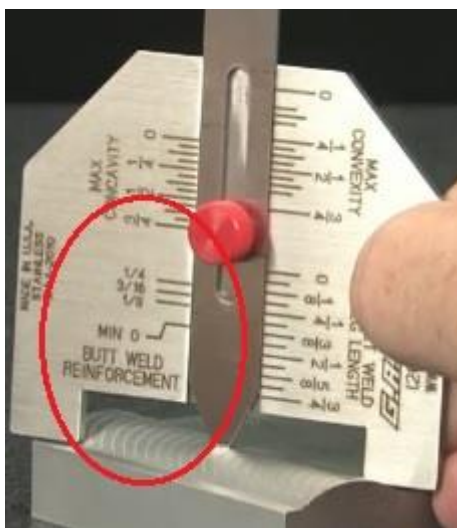
Nedostaci su ti da se onemogućuje mjerenje nadvišenja kutnog spoja, kao i nemogućnost mjerenja skošenja pripremljenog žlijeba. Ovim mjerilom je nemoguće mjeriti širinu korijenskog dijela pripremnog žlijeba. [12]

#### 4.7. AWS mjerna skala

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

##### □ Mjerenje nadvišenja sučeonog spoja

Mjerenje 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 mjerenja od 3.175 mm do 6.36 mm sa točnošću od 1.59 mm [13]



Slika 4.18. Prikaz mjerenja i očitavanja nadvišenja sučeonog spoja



#### □ Mjerenje visine kraka kod kutne izvedbe zavarenog spoja

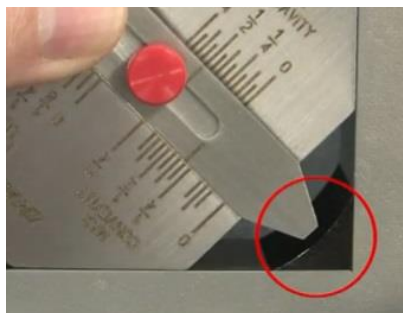
Mjerenje visine kraka izvodi se na način da bočna stranica mjerila bude priljubljena uz vertikalnu ili horizontalnu stijenkku cijevi ili ploču lima, a da donja strana mjerila dodiruje vršak zavarenog spoja uz tu stijenkku. Nakon ovog poravnjanja spušta se ticalo koje dodiruje drugu stijenkku cijevi ili 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 stijenkki cijevi. Nakon toga spušta se ticalo koje mora dodirivati lice zavarenog spoja. Sa skale se očitava točna visina lica zavora 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 zavora u kutnoj izvedbi. Postupak je prikazan na slici 4.20 u kojoj je vidljivo da visina zavora 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 (mjerenje 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 mjerenja od 1.59 mm. *Slika 4.21* prikazuje postupak mjerenja i kontrole konveksnosti zavarenog spoja u kutnoj izvedbi. [13]



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

#### □ **Prednosti i nedostaci ovog mjerila**

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

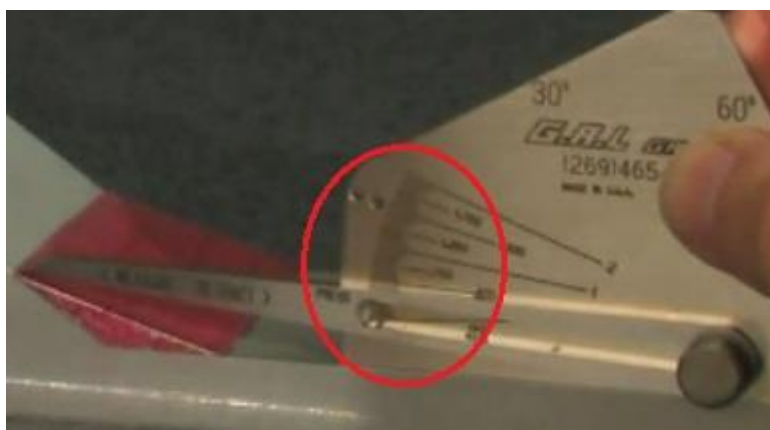
Nedostaci mjerila jesu ti da prilikom mjerenja kutne izvedbe, samo odstupanje kutnog spoja od 90° može se tolerirati u uskim granicama od nekih 1° više ili manje, ukoliko je odstupanje veće mjereni rezultati neće biti točni. Prilikom mjerenja nadvišenja sučeonog spoja, ukoliko postoji linearno odstupanje, moramo znati koliko je kako bismo mogli tu vrijednost uzeti u obzir prilikom mjerenja samog nadvišenja. Ovo mjerilo nema mogućnost mjerenja 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 mjerenja. [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 naliže 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 izveden pod nekim kutem koji nije  $90^\circ$ , 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 mjerenja 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 mjerenja kuta nebi smetalo. Nakon toga donja strana mjerila se polaže tako da naliže 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 mjerenja, sa skale koja se nalazi na *slici 4.22*. očitava se vrijednost kuta pod kojim se nalaze ove ploče lima ili cijevi. Točnost mjerenja kuta ovim mjerilom je  $2.5^\circ$ . Najmanji kut koji je moguće izmjeriti je kut od  $30^\circ$ . [14]



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

#### □ **Prednosti i nedostaci**

Prednost ovog mjerila je ta da postoji mogućnost mjerenja 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 mjerenja nadvišenja kod kutne i sučeeone izvedbe iako bi se kod sučeeone izvedbe mjerenje moglo izvesti, ali zbog oblika završetka ticala to mjerenje nebi bilo precizno nego okvirno. Još jedan nedostatak je taj da je mjerno područje ograničeno na kutove između 30° i 90°.

## 5. Eksperimentalni rad

U ovom dijelu rada govoriti će se o postupcima i metodama mjerenja kao i rezultatima danim mjerenjem. Ovaj eksperimentalni rad izveden 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 daljnjem 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 izveden u jednom prolazu. Debljina žice dodatnog materijala iznosila je 1.6 mm.

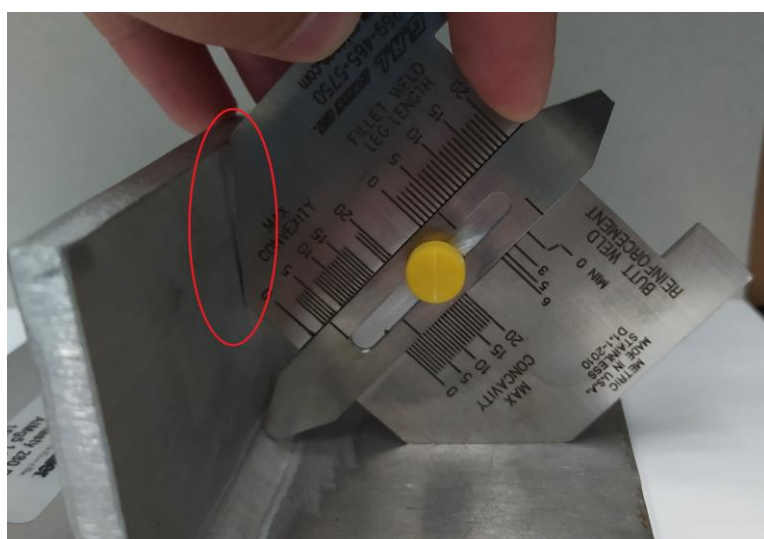


*Slika 5.1. Prikaz kutnog spoja AlMg5 izvedenog TIG postupkom*

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 mjerenjem kuta između dvije ploče. Daljnjim vizualnim pregledom nisu pronađene nikakve pogreške kao što su mogle biti razne

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

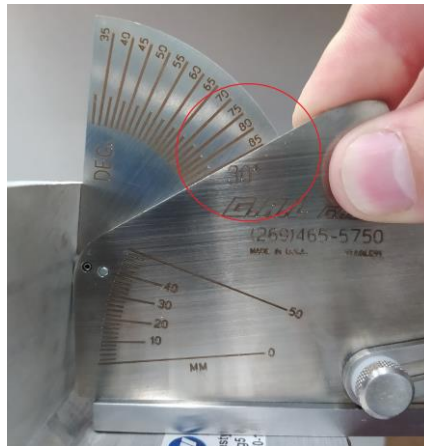
Prva dimenzija koja se mjerila bila je visina kutno izvedenog spoja uz pomoću šablone od 4 mm. Nakon toga visina kutnog spoja mjerila se uz pomoć AWS mjerila. Kako je na početku navedeno da postoji odstupanje od okomitosti, mjerenjem visine AWS mjerilom bilo je potvrđeno kako postoji odstupanje. Na horizontalnu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



Slika 5.2. Prikaz mjerenja visine spoja i odstupanje od okomitosti

Visina spoja mjerila se i mostnim mjerilom, a svi podaci mjerenja navedeni u *tablici 1*. Mjerenje mostnim mjerilom također je bilo otežano. Sva navedena mjerila služe za mjerenja visine spoja kod kutne izvedbe, a spojevi moraju biti izvedeni po kutom od 90°. Dozvoljena su mala odstupanja od 1° kako bi točnost mjerenja 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 mjerenje kuta između dvije ploče u kutnoj izvedbi. Rezultat mjerenja kuta iznosi 85°. Rezolucija mjerenja je 2.5°. Kao što je ranije u ovom radu navedeno mjerenje 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 mjerenja kuta

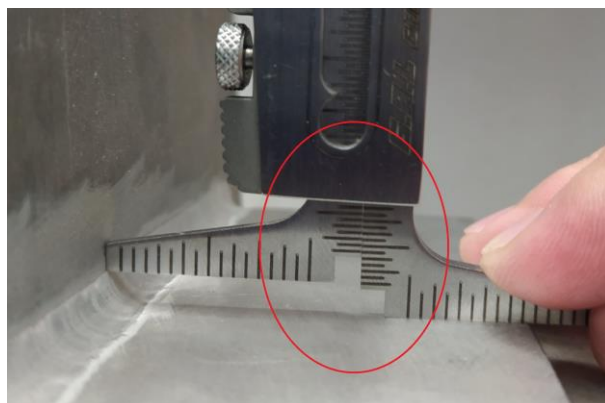
Ime mjerila	Pozicija mjerenja	Rezolucija	Rezultati ( očitano )
AWS mjerilo	Visina kutnog spoja	1 mm	5 mm
Mostno mjerilo	Visina kutnog spoja	1 mm	6 mm
Šablona 4 mm	Visina kutnog spoja	-	4 mm
SKEW- T mjerilo	Mjerenje kuta nagiba	2.5°	85°
Srednja vrijednost			5 mm

Tablica 1. Prikaz rezultata mjerenja visine AlMg5 kutnog spoja

Rezultati mjerenja visine zavara kreću se između 4 mm i 6 mm. Srednja visina bila bi 5 mm. Najbliži rezultat mjerenja 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 mjerenja na slici 5.4.





Slika 5.4. Mjerenje visine kraka kutne izvedbe spoja AlMg5

Ime mjerila	Pozicija mjerenja	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 zavora iznosi  $0.7 \times$  visina kraka zavora [13]. Izračunata je nominalna visina zavora i ona iznosi 4.025 mm. Prema nekim kriterijima ova debljina zavora bila bi zadovoljavajuća jer je srednja vrijednost visine zavora 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 mjerenja je pomičnim 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.



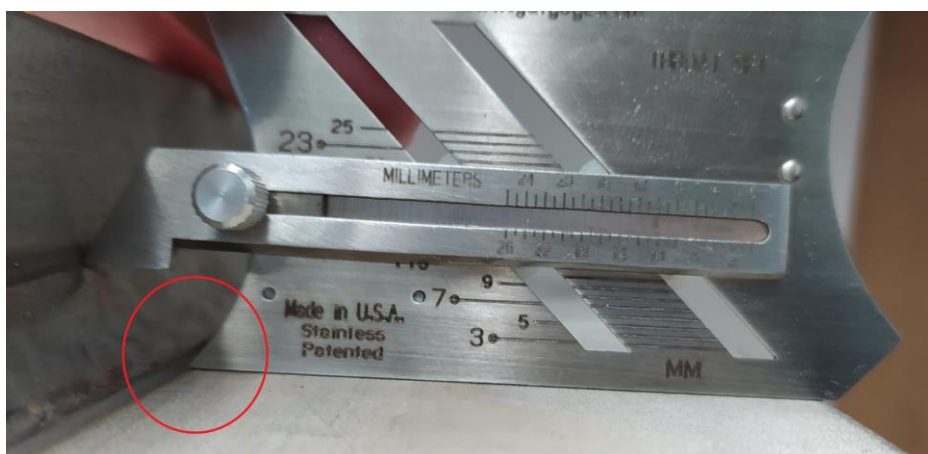


Slika 5.5. Kutni spoj čeličnih ploča X5CrNiMo 17-12-2

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

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

Mjerenje 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.

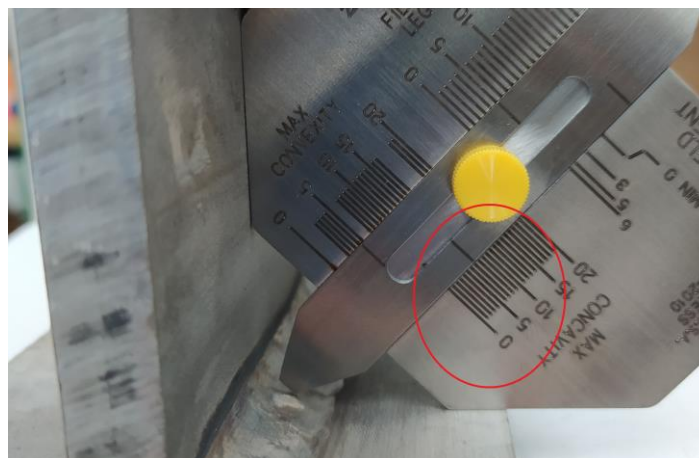


Slika 5.6. Prikaz mjerenja visine kraka podesivim kutnim mjerilom

Ime mjerila	Pozicija mjerenja	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 mjerenja visine kraka kutne izvedbe spoja X5CrNiMo 17-12-2

Nakon izvedenog postupka mjerenja visine kraka, krenulo se sa mjerenjem visine kutnog spoja. Visina kutnog spoja bila je mjerena mjerilom AWS i mostnim mjerilom. Rezultati mjerenja kao i srednja vrijednost visine kutnog spoja sadržana je u *Tablici 4*. Na *slici 5.7*. prikazano je mjerenje 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 mjerenja visine kutnog spoja AWS mjerilom i dokaz neodstupanja okomitosti

Ime mjerila	Pozicija mjerenja	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 mjerenja 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.

#### □ **Sučeonni spoj S235**

Treća ispitivana pozicija bio je sučeoni spoj dvije ploče zavarene EPP postupkom. Zavarene su dvije ploče, zavar je izveden sa obje strane. Jedna strana izvedena je postupkom EPP DCEP, to znači da je za zavarivanje korišten izvor istosmjernje struje, a elektroda je na plus polu. Kod ovog postupka jačina struje bila je 600 A, a napon je bio 28 V. Druga strana sučeonog 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 sučeonog spoja i odstupanja od dimenzija i oblika izvornog spoja*

Sa *slike 5.8.* vidljivo je da je ovaj sučeoni spoj izveden istim postupkom zavarivanja, ali na drugačijem režimu rada zavarivačkog stroja. Gornji zavar izveden 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 oštrij 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 protaljšivanje 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 mjerenjem dimenzija zavarenog spoja. Prije mjerenja nadvišenja lica zavara, mjerilo se odstupanje od oblika i dimenzija zavarenog spoja uz pomoć SKEW- T mjerila. Mjerenje odstupanja prikazano je na *slici 5.9*. Svi rezultati mjerenja navedeni su u *tablici 5*.



*Slika 5.9. Prikaz mjerenja odstupanja od dimenzija i oblika*

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

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

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

*Tablica 5. Rezultati mjerenja nadvišenja i odstupanja od oblika i dimenzija*

Mjerenje nadvišenja sučeonog 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 očitano 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 mjerenje 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 mjerenje 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 mjerenju dimenzija tih spojeva. Opisane su pozicije zavarenih spojeva, mjernim spravama mjerene su dimenzije tih spojeva, a u tablicama su navedeni rezultati mjerenja. U odnosu na kriterije koje zavareni spoj mora ispunjavati, na kraju ispitivanja doneseni 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 mjerenje 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 Samarđžić, 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](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. Preklap materijala sučeonog i kutnog spoja.....	16
Slika 3.13. Asimetričnost kutnog zavara [4] .....	17
Slika 3.14. Nepravilno izveden 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 očitavanja skale za nadvišenje zavara.....	25
Slika 4.6. Mjerenje linearne posmaknutosti .....	26
Slika 4.6. prikaz očitavanja 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 očitavanja 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 linearnog odstupanja vanjske stijenke cijevi.....	31
Slika 4.12. prikaz mjerenja i očitavanja 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 mjerenja i očitavanja nadvišenja sučeonog spoja .....	35
Slika 4.19. Prikaz mjerenja i očitavanja vrijednosti visine kraka kutne izvedbe spoja .....	36
Slika 4.20 Prikaz mjerenja i kontrole dimenzija konkavnog zavarenog spoja u kutnoj izvedbi .....	36
Slika 4.21 Prikaz mjerenja nadvišenja ( konveksnosti ) zavarenog spoja u kutnoj izvedbi .....	37
Slika 4.21. Prikaz mjerenja visine i duljine kraka kutno izvedenog spoja .....	38
Slika 4.22 Prikaz mjerenja 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 mjerenja visine spoja i odstupanje od okomitosti .....	41
Slika 5.3. Prikaz mjerenja 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 mjerenja visine kraka podesivim kutnim mjerilom .....	44
Slika 5.7. Prikaz mjerenja 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 mjerenja odstupanja od dimenzija i oblika .....	47

## **Popis tablica**

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