

Greške u zavarenim spojevima

Bitić, Selma

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:137:773584>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-02**



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište Jurja Dobrile u Puli

Tehnički fakultet u Puli



SELMA BITIĆ

GREŠKE U ZAVARENIM SPOJEVIMA

Završni rad

Pula, rujan 2021.

Sveučilište Jurja Dobrile u Puli

Tehnički fakultet u Puli

SELMA BITIĆ

GREŠKE U ZAVARENIM SPOJEVIMA

Završni rad

JMB: 34560299987, redovni student

Studijski smjer: Proizvodno strojarstvo

Predmet: Tehnologija III

Znanstveno područje: Tehničke znanosti

Znanstveno polje: 2.11. Strojarsvo

Znanstvena grana: 2.11.03 Proizvodno strojarstvo

Mentor: Doc. dr. sc. Marko Kršulja

Pula, rujan 2021.

ZAHVALA

Na samom početku, želim se zahvaliti svim dragim osobama koje su bile uz mene tijekom studiranja, a to su prije svega moja obitelj, prijatelji i kolege. Velika zahvala ide i obrtu za usluge zavarivanja „ZAVAR-METAL“ te TISAN d.o.o za Tehnička ispitivanja i analize u praktičnom u radu. Posebna zahvala pripada mom mentoru doc. dr. sc. Marku Kršulji na nesebičnoj pomoći i savjetima tijekom pisanja rada. Također, zahvaljujem se svim zaposlenicima i vanjskim suradnicima Sveučilišta Jurja Dobrile u Puli – Tehničkog fakulteta u Puli na savjetima, pomoći i podrški.



Tehnički fakultet u Puli

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

Tehnologija III
(Predmet)

Sveučilište Jurja Dobrile u Puli
TEHNIČKI FAKULTET U PULI
ZADATAK TEME ZAVRŠNOGA RADA

Pristupniku Selma Bitić

MBS: 3456029997

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

GREŠKE U ZAVARENIM SPOJEVIMA

Sadržaj zadatka: Navesti najvažnije vrste grešaka koje se pojavljuju kod zavarenih spojeva, navesti kako se one ispituju i provesti praktičnu primjenu na nekom zavarenom spoju koje se greške pojavljuju i kako su ispitane. Na temelju praktičnog ispitivanja navesti iskustva zavarivača u svakodnevnom radu i značaj otkrivanja grešaka u zavarenom spoju.

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

(Ime i prezime studenta): **Selma Bitić**

(matični br.) : **26698091427**

(JMBAG): **0505997365067**

Redovni ili izvanredni, proizvodno strojarstvo

(status, smjer)

Datum: 21.09.2021

Potpis nastavnika

Marko Krležija



IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

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

Student

Selma Bitić

U Puli, 21. 09. 2021



IZJAVA O KORIŠTENJU AUTORSKOG DJELA

Ja, SELMA BITIĆ dajem odobrenje Sveučilištu Jurja Dobrile u Puli, kao nositelju prava iskorištavanja, da moj Završni rad pod nazivom "GREŠKE U ZAVARENIM SPOJENIMA"

koristi na način da gore navedeno autorsko djelo, kao cjeloviti tekst trajno objavi u javnoj internetskoj bazi Sveučilišne knjižnice Sveučilišta Jurja Dobrile u Puli te kopira u javnu internetsku bazu završnih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice (stavljanje na raspolaganje javnosti), sve u skladu s Zakonom o autorskom pravu i drugim srodnim pravima i dobrom akademskom praksom, a radi promicanja otvorenoga, slobodnoga pristupa znanstvenim informacijama.

Za korištenje autorskog djela na gore navedeni način ne potražujem naknadu.

U Puli, 21. 09. 2021

Potpis

Selma Bitić

Sadržaj

1. UVOD.....	8
1.1. Hipoteza	8
1.2. Predmet istraživanja.....	8
1.3. Problem istraživanja.....	8
1.4. Ciljevi rada	9
1.5. Metode znanstvenog istraživanja.....	9
1.6. Struktura rada	9
2. VRSTE GREŠAKA U ZAVARENIM SPOJEVIMA.....	10
2.2. Poroznosti	12
2.3. Uključine.....	14
2.4. Nedovoljno protaljivanje	15
2.5. Nepravilnost oblika	17
2.7. Zaostale deformacije i naprezanja	23
3. METODE ISPITIVANJA BEZ RAZARANJA	26
3.1. Vizualna provjera	26
3.2. Provjera nepropusnosti	27
3.4. Magnetsko ispitivanje.....	29
3.5. Ultrazvučno ispitivanje	32
3.6. Radiografsko ispitivanje	35
4. PRIMJERI	37
4.1. Ispitivanje bloka motora	37
4.2. Primjer magnetskog ispitivanja zavara	41
4.3. Primjer ultrazvučnog ispitivanja zavara.....	42
4.4. Primjeri radiografskog ispitivanja zavara	43
ZAKLJUČAK	50
SAŽETAK	50
SUMMARY	50
POPIS LITERATURE	54
POPIS SLIKA	54
POPIS TABLICA.....	58

1. UVOD

U ovome radu istražit će se greške na praktičnom primjeru zavarivanja. Zavarivanje ili spajanje metala topljenjem započinje prije nekoliko tisuća godina kovačkim zavarivanjem. Kako su metali imali znatan udio nečistoća, greške su bili vrlo česte i samo najvještiji i najuporniji majstori su uspijevali dobiti na kraju kvalitetan proizvod. Zavarivanje slično današnjem započinje tek krajem 19. stoljeća, a pravi razvoj nastaje tek poslije Drugog svjetskog rata. Da bi se izbjegle greške u zavarenim spojevima, danas je potrebno veliko znanje i dugogodišnje iskustvo, tako da se u praksi razvilo posebno zvanje inženjera zavarivanja koji su vrlo traženi i neizostavni u svakom ozbiljnijem zavarivačkom poslu.

1.1. Hipoteza

U ovome radu će se opisati greške koje nastaju u zavarenim spojevima, one koje se u praksi najčešće javljaju, kako se otkrivaju i primjeri nekih ispitivanja koja se često izvode u zavarivačkoj svakodnevici. Rezultate raznih vrsta ispitivanja često je dosta teško očitati. Za to je potreban dugogodišnji uporan rad i iskustvo, praćenje literature i suradnje s iskusnijim ispitivačima i inspektorima. Poneki mjerni uređaji su dosta skupi ali ako se promatra dugoročno, ulaganje se isplati i na kraju puno je jeftinije ako se zavarivanje izvodi s zanemarivim greškama budući da je zavarivanje bez grešaka nemoguća misija. Uvijek je bolje „spriječiti nego liječiti“.

1.2. Predmet istraživanja

Predmet istraživanja je kontrola zavarenog spoja tj. najčešći oblici grešaka u zavarenom spoju u svakodnevnoj praksi i kako se one pronalaze i rješavaju.

1.3. Problem istraživanja

Problem istraživanja predstavlja sam postupak zavarivanja koji pod utjecajem nepravilnog rukovanja i nepoznavanja tehnologije može dovesti do grešaka. Greške utječu na funkcionalnost proizvoda, izgled ili jednostavno smanjenje kvalitete. Zavarivanje se dosta često izvodi bez provjere same kvalitete, tako da se ne zna koliko ono može izdržati i hoće uopće izdržati. A kada se i dogode problemi s metalnom konstrukcijom, dosta puta i ne znamo kako je problem nastao. I tako se često vrtimo u krug a problemi se samo nagomilavaju, sve dok se ne dogodi neka nesreća a onda se troše ogromna sredstva da bi se otkrili uzroci nastajanja grešaka dok često puta ti zapisi godinama završe u ladicama nekih pravnih osoba. Zato je vrlo važno poznavati greške koje nastaju kod zavarenih spojeva, kako ih otkriti i na kraju kako ih ukloniti da se više ne javljaju.

1.4. Ciljevi rada

Ciljevi ovog rada su:

- tumačiti osnovne vrste grešaka kod zavarivanja;
- tumačiti osnovne metode ispitivanja zavarenih spojeva;
- tumačiti najčešće greške koje se javljaju u praksi kod zavarivača;
- prikazati i vrednovati neke primjere ispitivanja i načine objašnjavanja grešaka koje se pojavljuju u radu.

1.5. Metode znanstvenog istraživanja

Metode koja su korištene za izradu završnog rada su:

- metoda mjerenja (mjerenje točnosti i ponovljivosti rezultata ispitivanja na odabranom primjeru zavarivanja),
- metoda promatranja (prikupljeni podaci u vezi ispitivanja zavarivanja se promatraju i vodi se zapis za odabrani primjer zavarivanja),
- metoda eksperimenta (izvođenje i mjerenje stvarnih pojava pri ispitivanju zavara koji imaju za cilj otkriti nepoznate činjenice, svojstva, pojave na odabranom primjeru zavarivanja),
- matematička metoda (postupak primjene matematičkih relacija, simbola i operacija koje su nužne za odabir elektroda, voltaže i samih konačnih dimenzija zavarenog spoja i naknadne kontrole).

1.6. Struktura rada

U radu je dan uvod koji opisuje osnovnu hipotezu, predmet i problem istraživanja zajedno s metodama koje će biti primijenjene u samome radu.

U prvom poglavlju bit će dan opis osnovnih vrsta grešaka u zavarenim spojevima.

U drugom poglavlju tumačiti će se metode ispitivanja zavara bez razaranja.

U trećem poglavlju tumačit će se i vrednovati primjeri iz prakse.

Na kraju će biti dan zaključak u kojemu će se analizirati postignuta hipoteza i ciljevi rada.

2. VRSTE GREŠAKA U ZAVARENIM SPOJEVIMA

Greške u zavarenim spojevima (tablica 1) se ne mogu izbjeći ali se pažljivim planiranjem i izradom mogu znatno umanjiti. Svaka pa i najmanja pogreška u zavaru utječe na mehaničke i metalurške osobine konstrukcije kao i primjenu gotovog sklopa. Zato svaki zavareni spoj, a u konačnici i čitava struktura, mora zadovoljiti zahtjeve kvalitete koji su određeni pojedinim tehničkim propisima, normama i standardima, zavarivačkom praksom, određeni tržišnim ugovorom i drugim. Samo izvođenje zavarivanja kontroliraju zavarivači, kontrolori izvođenja zavarivanja, inspekcijske službe i drugi. Nadzor nad postupkom zavarivanja izvodi se prije, tijekom i nakon zavarivanja.

Greška može nastati i prije samog zavarivanja. Tako je, primjerice, poznato da se kod debljih valjanih limova, ali i kod tanjih, mogu pojaviti lamelarne nehomogenosti (nečistoće) u sredini lima, ali ponekad i ispod same površine. U praksi se pokazalo da je dobro provesti ultrazvučno ispitivanje odmah nakon što limovi stignu u skladište. Zbog unošenja topline zavarivanjem dolazi do lamelnog odvajanja ili slojastog trganja u zoni utjecaja topline koje se dalje može širiti na osnovni materijal. Kod odljevaka, pogotovo od sivog lijeva, ponekad se mogu naći šupljine unutar odljevka koje zavarivač primijeti tijekom ili nakon zavarivanja. Greške u zavarenim spojevima, prema preporukama Međunarodnog instituta za zavarivanje, podijeljene su u 6 osnovnih grupa, u skladu s normom EN 26520:1992.

Tablica 1. Podjela grešaka

Osnovna grupa	Oznaka grupe	Vrsta pogreške
1	100	Pukotine
2	200	Poroznosti
3	300	Uključine
4	400	Nedovoljno protaljivanje
5	500	Nepravilnost oblika
6	600	Ostale pogreške

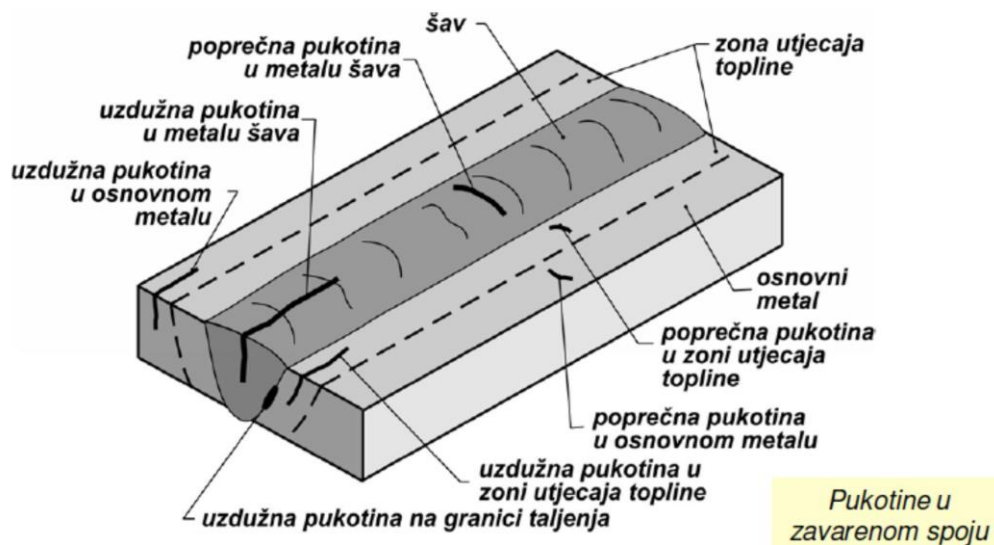
Prema iskustvu i istraživanju Američkog udruženja inženjera strojarstva (eng. American Society of Mechanical Engineers ili ASME), najviše grešaka kod zavarivanja se odnosi:

- 41% se odnosi na uvjete rada ili tehnološke greške,
- 32% se odnosi na grešku zavarivača,
- 12% se odnosi na pogrešni postupak zavarivanja,
- 10 % na pogrešne elektrode i 5 % na lošu pripremu zavarenog spoja (loša obrada utora za zavarivanje).

2.1. Pukotine

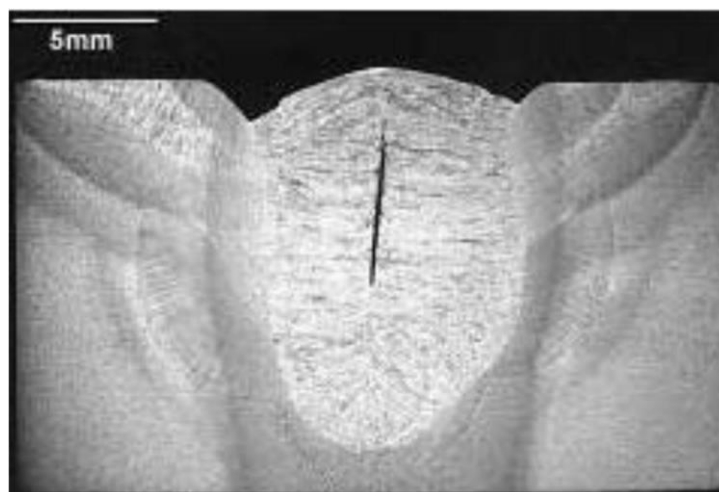
Pukotine spadaju među najopasnije greške i svakako ih treba izbjegavati jer i male pukotine s vremenom mogu postati veće i dovesti do loma konstrukcije pogotovo kod dinamičkog opterećenja (umor ili zamor materijala). Česti uzroci nastajanja pukotina su nepravilno hlađenje materijala nakon zavarivanja, nepravilno stezanje materijala koji se zavaruje, zaostala unutarnja naprezanja, metalurške promjene u zoni utjecaja topline. Pukotine se obično dijele na: hladne pukotine, tople pukotine, pukotine nastale nakon naknadne toplinske obrade i pukotine uslijed slojastog (lamelarnog) odvajanja.

Pukotine najčešće nastaju zbog loše zavarljivosti osnovnog materijala (ekvivalent ugljika ili ekvivalentni sadržaj ugljika) ili kada neki od uvjeta iz postupka zavarivanja nisu ispunjeni. Pukotine se mogu pojaviti ili u području šava zava, u zoni utjecaja topline ili u osnovnom metalu. U skladu s normama pukotine se razvrstavaju na uzdužne, poprečne, zvjezdaste, kraterske i na skupine pukotina. Na slici 1 prikazane su podjele pukotina.



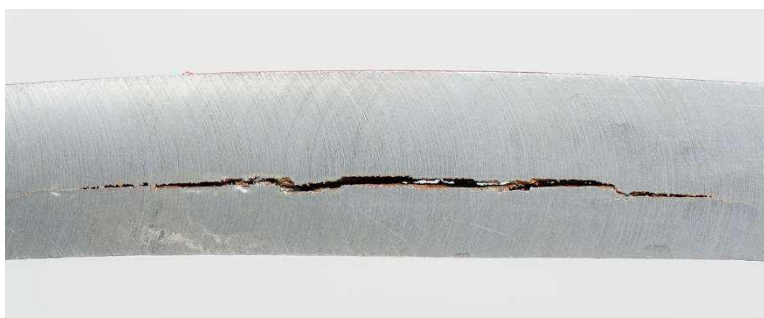
Slika 1. Podjela pukotina

(Izvor: Duško Pavletić: „Zavarivanje I“, Tehnički fakultet Rijeka, 2010.)



Slika 2. Nevidljiva unutarnja topla pukotina

(Izvor: <https://www.twi-global.com>^[10])



Slika 3. Primjer hladne pukotine nastale zbog povećane količine difuzije vodika

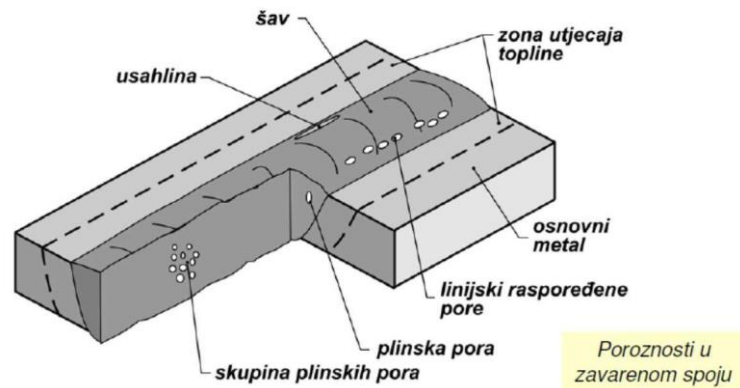
(Izvor: https://en.wikipedia.org/wiki/Hydrogen_embrittlement#/media/File:Steel-with-Hydrogen-Induced-Cracks-01.jpg^[11])

2.2. Poroznosti

Poroznost ili šupljina u zavarenim spojevima nastaje uglavnom zbog upijanja zaostalih plinova tijekom zavarivanja, vlažnosti zraka, lošeg izvođenja zavarivanja, utjecaja vjetra ako se zavaruje na gradilištu, a može nastati i zbog nečistoća na površinama zavarivanog spoja. Veličina poroznosti može biti različita, od vrlo sitnih koje se ne mogu okom vidjeti do nekoliko milimetara. Dušik i vodik se upijaju izravno, a kisik u spoju s ugljikom (ugljkov monoksid CO). Ohlađivanjem zavara plinovi naglo izranjaju iz metala u obliku mjehurića. Ako je brzina hlađenja metala veća od brzine izlučivanja plinova, mjehurići plinova ostaju zarobljeni u zavaru, što znači da je povoljno sporo hlađenje zavara. Istraživanja su pokazala da pojedinačni mjehurići kuglastog oblika u zavaru nemaju većeg utjecaja na smanjenje čvrstoće. Međutim ako su mjehurići na površini metala otvoreni, ustvari ako izgube kuglasti

oblik, štetno djeluju pogotovo na trajnu dinamičku čvrstoću zavara. Nečistoće su najčešće od korozije i okujina, masnoće i slično, a vlaga najčešće dolazi od obloge elektrode, zaštitnog plina ili praška, ali se može pojaviti i na površini zavara, naročito ako se zavaruje po hladnom vremenu. Poroznost može nastati i ako je predugačak električni luk koji slabi zaštitu taline i dopušta ulazak plinova i dodir s talinom.^[3]

Da bi se izbjegla poroznost kod zavarivanja potrebno je: dobro čišćenje mjesta zavarivanja, odmaščivanje, uklanjanje oksida kod zavarivanja aluminija, sušenje spoja plamenikom posebno kod hladnog vremena, pravilno uspostavljanje i prekidanje električnog luka (dodavanje pločica na početku i kraju zavara), pravilno držanje visine električnog luka, ispravna količina zaštitnog plina, sušenje obloženih elektroda i praška prije zavarivanja, kontroliranje čistoće zaštitnog plina, ispitivanje ispravnosti uređaja za zavarivanje, kontrola ispravnosti parametara zavarivanja i tehniku rada.^[4]



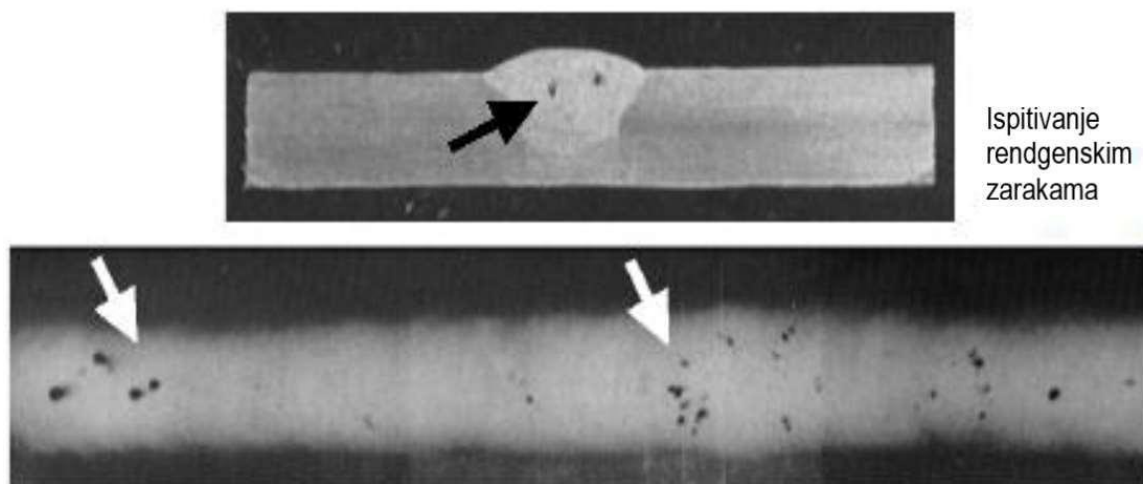
Slika 4. Poroznosti u zavarenome spoju

Izvor: Duško Pavletić: „Zavarivanje I“, Tehnički fakultet Rijeka, 2010.)



Slika 5. Šupljina ili poroznost u završnom krateru

(Izvor: Weld Imperfections and Preventive Measures: KOBE STEEL, LTD., 2015.)



Slika 6. Gnijezdo plinskih mjehurića ili poroznosti

(Izvor: Weld Imperfections and Preventive Measures: KOBE STEEL, LTD., 2015.)

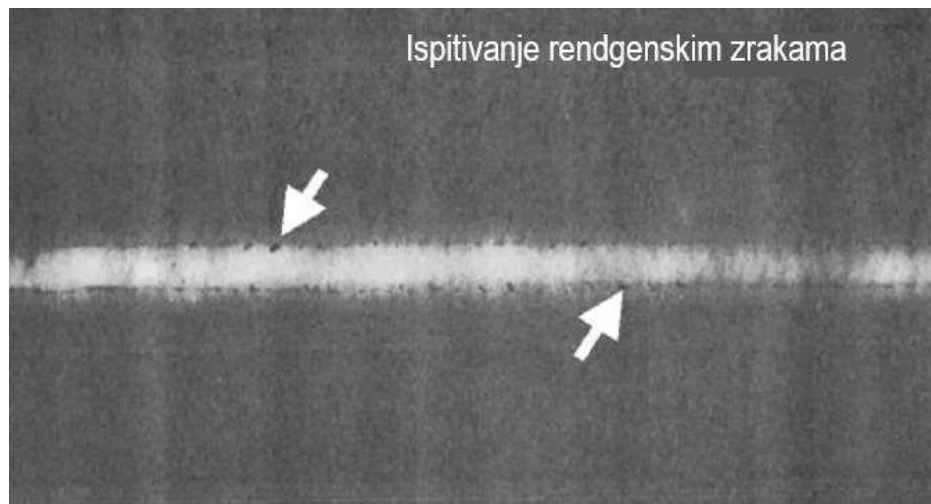
2.3. Uključine

Uključine ili uključci nastaju kao posljedica zaostalih nečistoća i drugih neotopljenih tvari u zavaru, a mogu biti: uključine troske (šljake), uključine praška, uključine raznih oksida i drugo. Čvrsti uključci mogu biti i, primjerice, uključak volframa (tipično kod TIG zavarivanja) ili oksidni spojevi kao na primjer oksidna kožica u zavaru aluminija. Često puta uključine nastaju zbog slabog čišćenja troske s prethodnog zavara i nanošenja novog zavara, ili zbog nedostatnog taljenja ili vođenja izvora topline, a smatra se kao tipična greška rada slabijih zavarivača. Uz ostalo, uključci troske nastaju zbog „sporog zavarivanja“ (nepravilnog rada zavarivača) jer mala brzina zavarivanja stvara široki zavar pa talina bježi ispred električnog luka i pokriva trosku. Nastajanje uključaka često je povezano s nastajanjem pukotina. Uključine smanjuju čvrstoću zavara jer je na mjestima uključina povećana koncentracija napreznja.



Slika 7. Uključina stranog metala

(Izvor: ASM-Metals-Handbook:06 – ASM international, 1993.^[12])

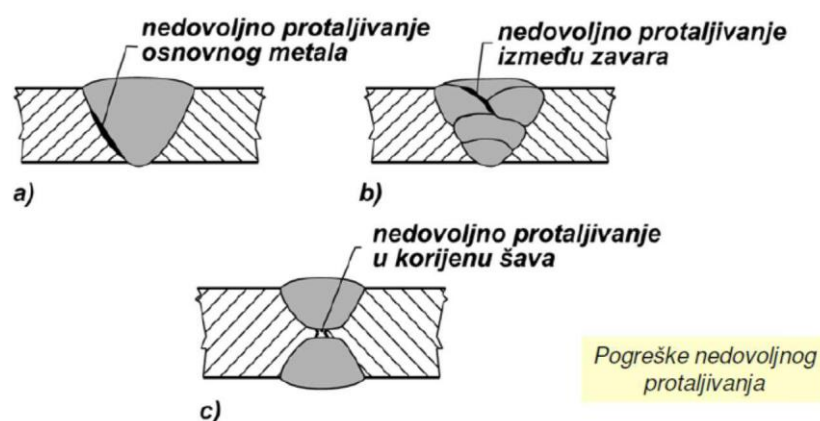


Slika 8. Čvrste uključine troske

(Izvor: Klas Weman: Welding processes handbook, Cambridge 2003.^[13])

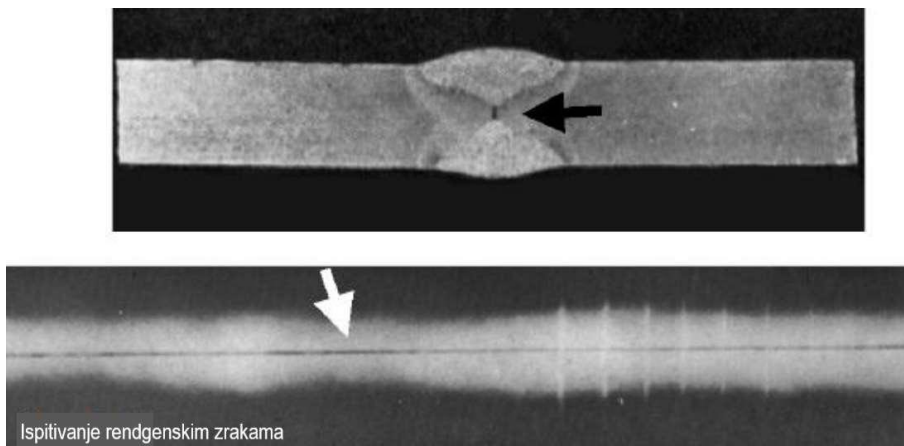
2.4. Nedovoljno protaljivanje

Nedovoljno protaljivanje može nastati između zavara i osnovnog metala, između pojedinih zavara u šavu ili u korijenu zavara. Obično nastaje zbog loše tehnologije rada zavarivača, najčešće zbog premale jakosti struje, nečistoća zaostalih na mjestu spoja, nepravilne pripreme spoja, prevelike brzine zavarivanja i drugog. U ovu grupu grešaka spada i naljepljivanje, a to se odnosi na nepostojanje čvrste strukturne veze u zavaru. Nedovoljno protaljivanje i naljepljivanje je vrlo opasno na dinamički opterećenim konstrukcijama, dok se mogu ponekad dopustiti kod slabije opterećenih konstrukcija.

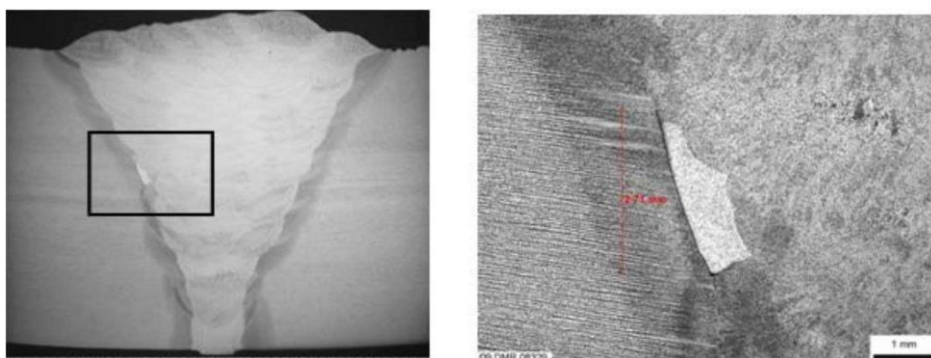


Slika 9. Pogreške nedovoljnog protaljivanja

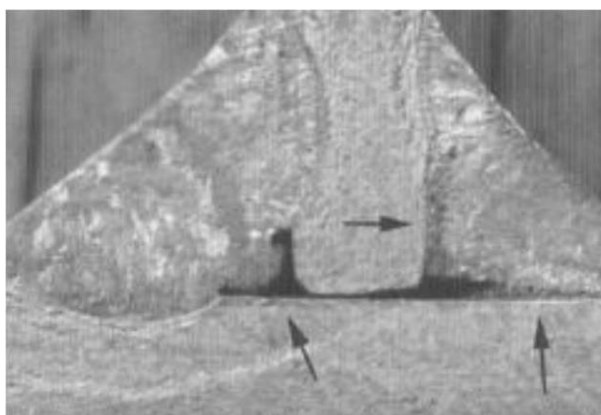
(Izvor: Duško Pavletić: „Zavarivanje I“, Tehnički fakultet Rijeka, 2010.)



Slika 10. Primjer nedovoljnog protaljanja
(Izvor: Weld Imperfections and Preventive Measures: KOBE STEEL, LTD., 2015.)



Slika 11. Naljepljivanje u sučeljenom spoju
(Izvor: <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/published-%20%20papers/manufacturing-of-welded-joints-with-realistic-defects>)

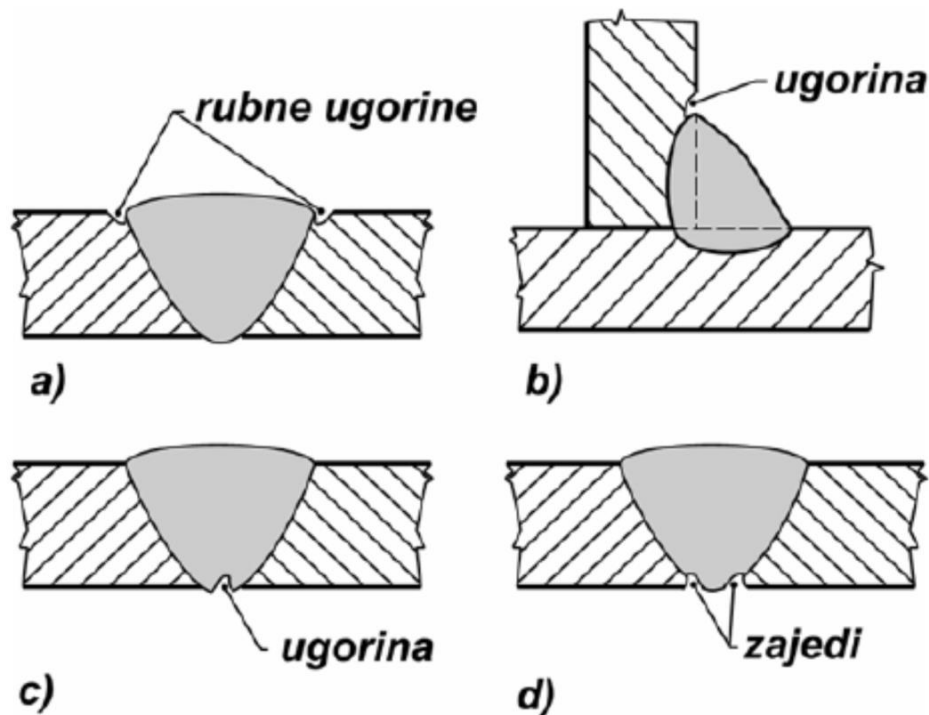


Slika 12. Naljepljivanje u kutnom spoju zbog zavarivanja velikim jakostima struje i premalim brzinama
(Izvor: I. Juraga, K. Ljubić, M. Tivičić: „Pogreške u zavarenim spojevima“, ZG 2007.)

2.5. Nepravilnost oblika

Nepravilnost oblika je greška koja se odnosi na lice i naličje šava a to mogu biti: ugorine ili zajedi, veliko nadvišenje lica šava, nepravilan kut prijelaza površine šava na osnovni metal, nedovoljno ispunjen žlijeb, nepravilnosti površine šava, udubljenja na korijenoj strani šava, loše izvedeni nastavci zavara i drugo. Greške oblika zavara nisu samo estetske prirode nego se odnose i na smanjenje nosivosti zavara koji može biti značajan, pogotovo kod dinamički opterećenih konstrukcija.

Ugorine ili rubni zajedi su greške u obliku udubljenja na rubovima šava koje nastaju zbog velike jakosti struje zavarivanja, primjene elektroda prevelikog promjera u odnosu na veličinu žlijeba, nepravilnog vođenja vrha elektrode, predugačkog električnog luka, neočišćenih žljebova prije zavarivanja i drugog. Ako su limovi tanji od 3 mm, ugorine nisu dopuštene, a ako su limovi deblji od 3 mm, ugorine su dopuštene ako su manje od 0,5 mm.



Slika 13. Primjeri ugorina

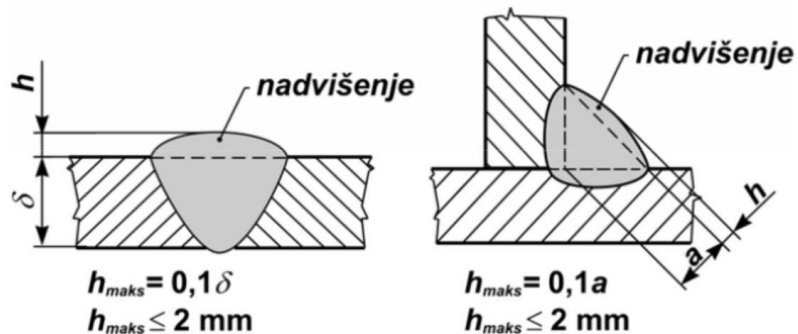
(Izvor: Duško Pavletić: „Zavarivanje I“, Tehnički fakultet Rijeka, 2010.)



Slika 14. Primjer ugorina po cijeloj dužini zavara

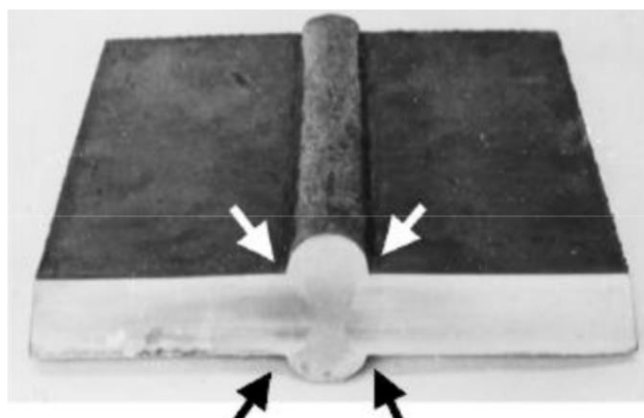
(Izvor: <http://gowelding.com/> [14])

Veliko nadvišenje lica šava nastaje obično zbog slabe jakosti struje zavarivanja, prevelikog promjera elektrode, velike brzine napredovanja električnog luka i drugog.



Slika 15. Primjeri prevelikog nadvišenja zavara

(Izvor: Duško Pavletić: „Zavarivanje I“, Tehnički fakultet Rijeka, 2010.)



Slika 16. Primjeri prevelikog nadvišenja zavara

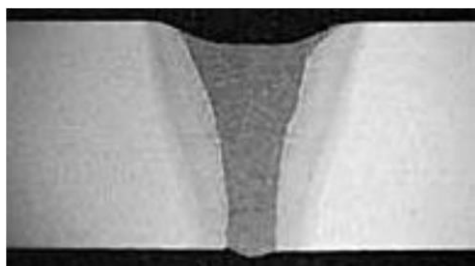
(Izvor: Klas Weman: Welding processes handbook, Cambridge 2003.)

Nedovoljna popunjenost žlijeba i ostale nepravilnosti površine šava nastaju obično zbog slijevanja rastaljenog metala, a nastaje zbog prevelikog taljenja osnovnog metala ili nedovoljne količine dodatnog materijala (na primjer kod TIG postupka).



Slika 17. Nedovoljna popunjenost zavara

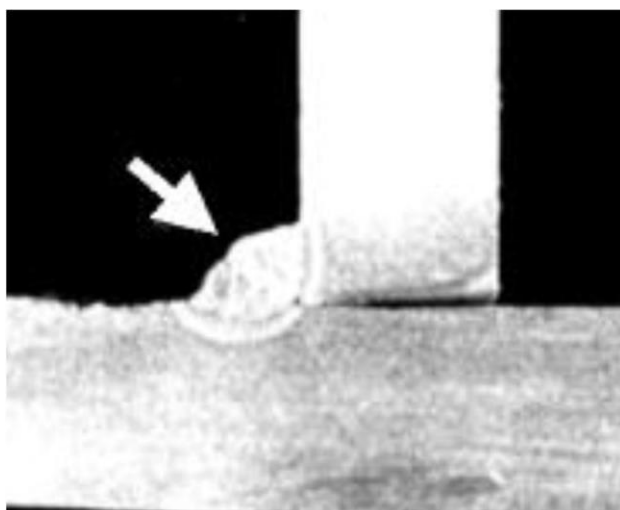
(Izvor: Duško Pavletić: „Zavarivanje I“, Tehnički fakultet Rijeka, 2010.)



Slika 18. Nedovoljna popunjenost zavara (primjer)

(Izvor: www.twi-global.com)

Pretjerana ispupčenost ili konveksnost lica zavara na kutnom spoju nastaje zbog pogrešne tehnologije rada (nepravilno gibanje i držanje vrha elektrode ili pištolja, premala brzina zavarivanja). Kod MAG i EPP zavarivanja ispupčenost kutnog zavara javlja se kod premale jakosti struje ili premalog električnog napona luka.



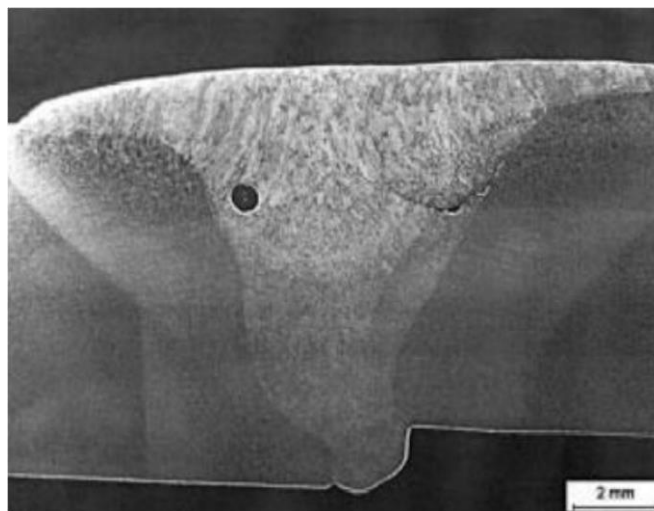
Slika 19. Pretjerana ispupčenost lica zavara na kutnom spoju
(Izvor: Klas Weman: Welding processes handbook, Cambridge 2003.)

Pretjerani provar uzrokuje višak metala u korijenu, a nastaje kod prevelikog razmaka u žljebu, pretjerane jakosti struje zavarivanja ili premale brzine zavarivanja. Izvođenje korijena zavara spada u najsloženiji postupak u zavarivanju. Korijen zavara se kod strogih zahtjeva preporučuje izvoditi TIG postupkom.



Slika 20. Pretjerani ili preveliki provar
(Izvor: www.twi-global.com)

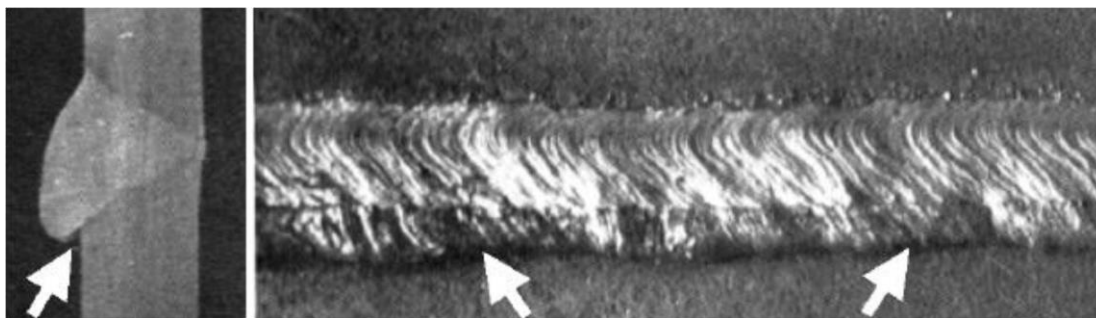
Odstupanje od osi u sučeljavanju dvaju dijelova istih debljina je greška gdje dolazi do smanjenja čvrstoće zavara, a nastaje pogrešnom pripremom spoja za zavarivanje.



Slika 21. Odstupanje od osi u sučeljavanju
(Izvor: www.twi-global.com)

Utonulost zavara ili slijeganje nanesenog dodatnog materijala nastaje zbog utjecaja gravitacije na talinu, a najčešće nastaje kod zavarivanja u okomitom položaju gdje se

prevelika količina taline javlja zbog prejake jakosti struje ili premale brzine zavarivanja. Talina se zbog utjecaja gravitacije sliježe na donju stranu zavara.



Slika 22. Odstupanje od osi u sučeljavanju

(Izvor: Klas Weman: Welding processes handbook, Cambridge 2003.)

Neravnomjerna površina zavara ili jako narebrena površina zavara nastaje zbog previsokog električnog napona električnog luka ili prevelike jakosti struje uz prskanje kapljica metala oko zavara.



Slika 23. Neravnomjerna površina zavara (lijevo), te desno pravilnog zavara

(Izvor: www.twi-global.com)

Nepravilno izveden nastavak zavara ili neravnomjernost površine zavara na mjestu nastavka zavara nastaje u obliku udubljenja ili ispupčenja. Kada se zavar nastavlja, nastaju najslabija mjesta zavara i tu su mogući počeci lomova zavara. Nastaju zbog slabe uvježbanosti zavarivača i pravilo je da slabo izvedene nastavke treba popravljati.



Slika 24. Nepravilno izveden nastavak zavar - (Izvor: www.twi-global.com)

2.6. Ostale greške zavarivanja

Ostale greške zavarivanja mogu biti mjestimična oštećenja površine osnovnog metala uz rub šava (nastalo kao posljedica velikog njihanja elektrode, odnosno bočnog otklanjanja električnog luka), onečišćenje raspršenim kapljicama metala, razna površinska oštećenja osnovnog metala ili metala zavara te smanjenje debljine zavarenog spoja nastalo brušenjem ili drugim doradama.^[6]



Slika 25. Onečišćenje raspršenim kapljicama metala

(Izvor: www.twi-global.com)



Slika 26. Oštećenja površine zavara i metala nastala nepravilnim brušenjem

(Izvor: obrada autorice)

Pobojanost ili lagano oksidirana površina u zavarenom području se uklanja mehaničkim i kemijskim postupcima.



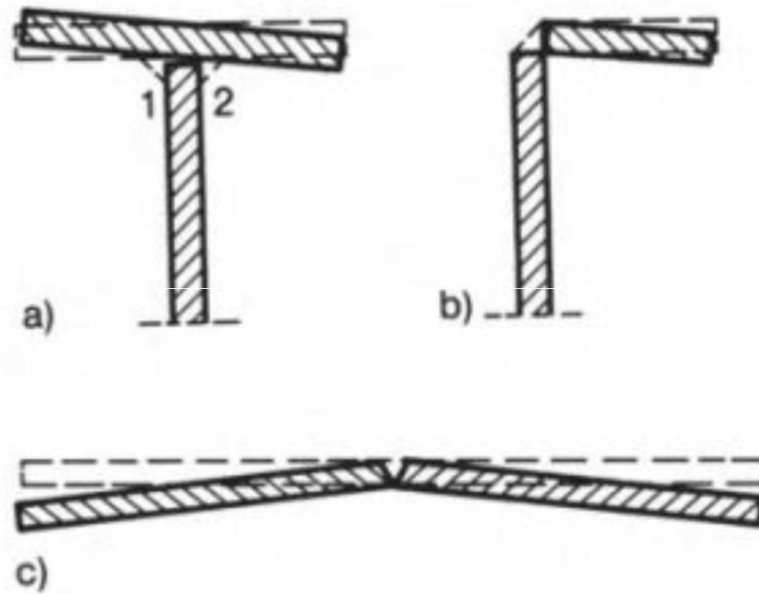
Slika 27. Pobojanost

(Izvor: ASM-Metals-Handbook: 06 – Welding, Brazing, and Soldering, ASM international, 1993.^[15])

2.7. Zaostale deformacije i naprezanja

Zaostale deformacije i naprezanja koja nastaju zbog zavarivanja nije moguće sasvim ukloniti, ali se mogu umanjiti. Na njih utječe unos i raspodjela topline zavarivanja, mehanički utjecaji poput stezanja, debljine materijala i slično te toplinska i mehanička svojstva materijala. Da bi smanjili deformacije zbog zavarivanja, možemo to izvesti prije zavarivanja, tijekom zavarivanja ili nakon zavarivanja.

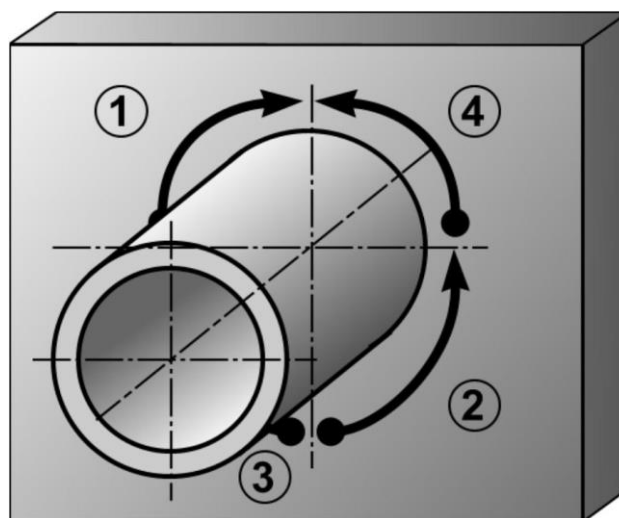
Na smanjenje deformacija prije zavarivanja možemo utjecati pravilnom konstrukcijom, pravilnim izborom pripreme i vrste spoja (na primjer za deblje limove umjesto V sučelnog spoja možemo primijeniti X spoj), pravilnom stezanjem ili predsavijanjem ili postavljanjem radnog u suprotan položaj od očekivane deformacije.



Slika 28. Primjeri postavljanja dijelova u suprotan položaj od očekivane deformacije

(Izvor: D. Radaj: HeatEffectsofWelding Temperature Field, ResidualStress, Distortion, Springer-Verlag, Berlin, 1992.^[16])

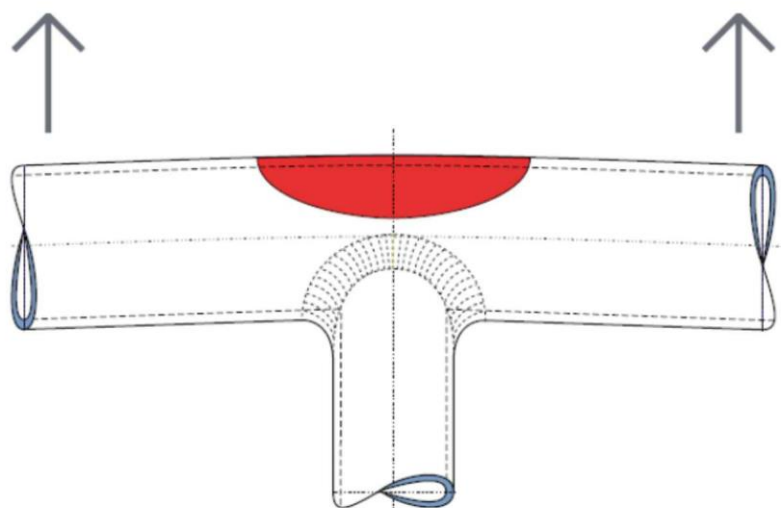
Na smanjenje deformacija tijekom zavarivanja možemo utjecati manjim unosom topline (na primjer TIG postupak zavarivanja ima često najmanji unos topline od ostalih postupaka), predgrijavanjem spoja ili redosljedom zavarivanja.



Slika 29. Redosljed zavarivanja kod ugrađivanja cijevi: zavarivanje se izvodi polaganjem zava dijametralno nasuprotno

(Izvor: Duško Pavletić: „Zavarivanje I“, Tehnički fakultet Rijeka, 2010.)

Na smanjenje deformacija i naprezanja nakon zavarivanja možemo utjecati sa žarenjem za smanjenje zaostalih naprezanja ili izravnavanjem konstrukcije koje može biti hladno ili toplo izravnavanje (u praksi se pokazalo najbolje toplo izravnavanje). Žarenje za smanjenje zaostalih naprezanja je toplinska obrada kojom se zagrijava obradak na temperaturu od 550 do 650 °C, držanja na toj temperaturi određeno vrijeme (obično nekoliko sati) te polaganog i kontroliranog hlađenja. Toplo izravnavanje se zasniva na koncentriranom zagrijavanju dijela konstrukcije na neku povišenu temperaturu (do 650 °C) pri čemu dolazi do pada granice tečenja materijala i izravnavanja deformiranog obratka.




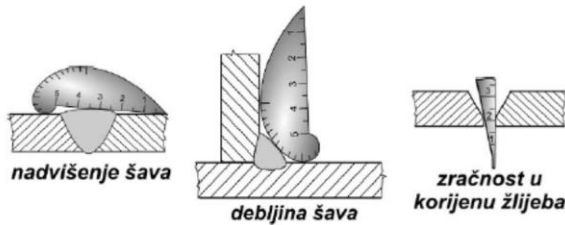

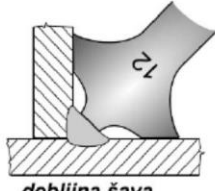

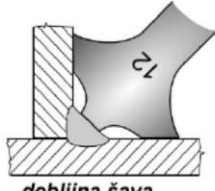
Slika 30. Primjer kružnog zagrijavanja plamenikom (crveno) za toplo izravnavanje cijevi (Izvor: Fundamentals of flame straightening, Technical information for flame processes^[17])

3. METODE ISPITIVANJA BEZ RAZARANJA

Kontrola zavarenog spoja nakon zavarivanja obično uključuje vizualnu provjeru izmjera, oblika i izgleda zavarenih spojeva, a sve više se nakon zavarivanja koriste pojedine metode ispitivanja bez razaranja ili nerazorne metode ispitivanja zavarenog spoja.

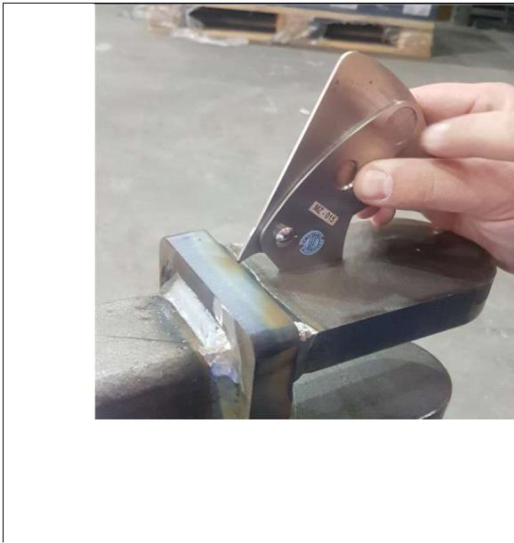
3.1. Vizualna provjera

Vizualna provjera ili nadzor provodi se prije zavarivanja, tijekom zavarivanja i nakon zavarivanja, a obuhvaća provjeru dijelova zavarene konstrukcije i pripremu zavarenih spojeva i žljebova te provjeru oblika i dimenzija šavova, izgleda površine spojeva posebice u odnosu na pojavu grešaka na licu i naličju šava zavara. Za vizualnu provjeru koriste se razni mjerni instrumenti te pribor za kontrolu oblika žljebova, zavara i šavova, povećalo za pregled stanja površine i otkrivanje mogućih pukotina, poroznosti, ogledalo ili boreskop za pregled nepristupačnih mjesta i slično. Kod žljebova prije zavarivanja se uglavnom provjerava kut zakošenja stranica žlijeba, zračnost u korijenu žlijeba te međusobni položaj dijelova. Nakon zavarivanja provjerava se debljina i veličina stranica kutnog šava, simetričnost i nadvišenje šava sučelnog spoja.

Pribor	Primjena	Debljina kutnog šava, mm
	 <i>nadvišenje šava</i>  <i>debljina šava</i>  <i>zračnost u korijenu žlijeba</i>	3 do 15
	 <i>debljina šava</i>	3 do 12

Slika 31. Mjerni pribor za kontrolu oblika i dimenzija šava

(Izvor: Duško Pavletić: „Zavarivanje I“, Tehnički fakultet Rijeka, 2010.)



Slika 32. Kontrola dimenzija zavara

(Izvor: Zvonimir Lukačević, Zavarivanje, 1998., Slavonski Brod [18])



Slika 33 Vizualna kontrola zavara ogledalom

(Izvor: Zvonimir Lukačević, Zavarivanje, 1998., Slavonski Brod)

3.2. Provjera nepropusnosti

Provjera nepropusnosti zavarenog spoja se može izvoditi na razne načine a najčešće je polijevanjem zavara mlazom vode, tlačenjem stlačenim zrakom ili vodom pojedinih dijelova zavara, vakuumskim ispitivanjem pojedinih zavara ili premazivanjem spojeva petrolejom. Kod polijevanja zavara mlazom vode s jedne strane se polije zavareni spoj snažnim mlazom vode, a na drugoj strani se traže mjesta propuštanja vode. Kod provjere tlačenjem određeni se prostor napuni stlačenom vodom ili zrakom, a s druge strane se pregledavaju zavareni spojevi. Radi lakšeg otkrivanja mogućeg propuštanja pri ispitivanju zrakom, svi zavareni spojevi se s vanjske strane premazuju sapunicom pa se na mjestima propuštanja pojavljuju mjehurići od sapunice. Premazivanje spojeva petrolejom se izvodi tako da se zavareni spoj s jedne strane dobro natopi petrolejom, a druga se strana zavarenog spoja obično premaže kredom na kojoj se u obliku masnih tragova ili mrlja otkrivaju mjesta mogućih propuštanja. Provjera nepropusnosti zavara, pogotovo za stranice parnog kotla se ispituje fluorescentnim penetrantom. Nepropusnost se ispituje samo na jedan vanjski zavar jer ukoliko bi dijelovi bili zavareni s obje strane, vrijeme čekanja prodiranja penetranta bilo bi preveliko. Nepropusnost se tada provjerava ultraljubičastim svjetlom. Vakuumsko ispitivanje zavara se zasniva na promjeni tlaka na području zavarenog spoja koji se ispituje.



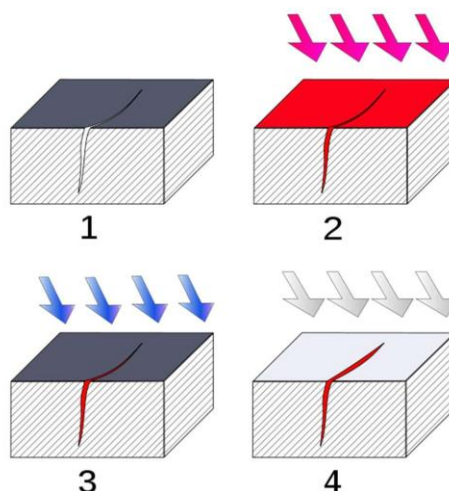
Slika 32. Ispitivanje zavora na nepropusnost fluorescentnim penetrantom
(Izvor: NDE/NDT Resource Center <https://www.nde-ed.org/AboutNDT/aboutndt.htm>^[19])

3.3. Penetrantsko ispitivanje

Penetrantsko ispitivanje se dosta često primjenjuje zbog svoje jednostavnosti, brzine izvođenja i naročito jer je jeftino. Zavareni spoj se najprije treba pripremiti što uključuje brušenje (neravni zavareni spoj se teško ispituje), čišćenje i odmašćivanje. Nakon toga se nanosi penetrant ili tekućina crvene boje (ponekad se dodaju i fluorescentne tvari) zbog lakšeg uočavanja grešaka u zavaru koji se približno ostavi od 10 do 20 minuta (potrebno je slijediti upute proizvođača). Pojedine lakohlapljive tekućine imaju znatnu sposobnost uvlačenja u najuže pukotine, poroznosti i druge površinske šupljine. Nakon toga se crveni penetrant uklanja vodom, suhom krpom ili razrjeđivačem koji se često dobiva u kompletnom setu proizvođača. Nakon što je površina zavarenog spoja suha, nanosi se razvijač, koji je najčešće bijele boje. Već nakon par minuta razvijač izvlači crveni penetrant iz pukotine što se uočava kao crvena crta na bijeloj površini. Penetrantskom metodom moguće je otkriti pukotine duljine od 0,1 mm i širine od 0,03 mm.

Osim pukotina koje se najčešće otkrivaju penetrantskim ispitivanjem, moguće je otkriti sljedeće: koncentracija crvenih točaka označuje rupičavost i poroznost; naglo crvenjenje i neprekinuta ravna linija označuje velike pukotine i otvaranja; razlomljene crte od točaka koje

se pojavljuju nakon nekoliko minuta predstavljaju sitne pukotine; niz crvenih točaka koji tvori nepravilnu liniju predstavlja pukotine od zamora ili umora materijala.^[2]



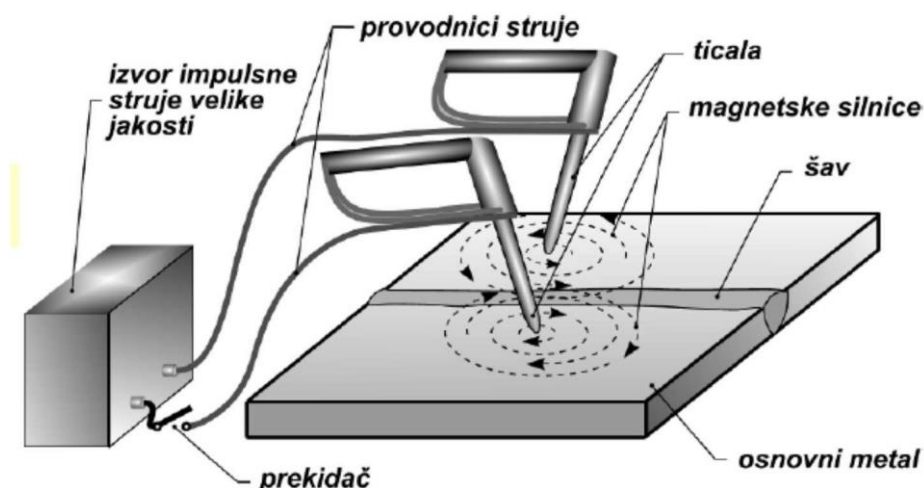
Slika 33. Obuhvat penetrantskog ispitivanja

(Izvor: Wikipedija – https://hr.wikipedia.org/wiki/Penetrantsko_ispitivanje^[20])

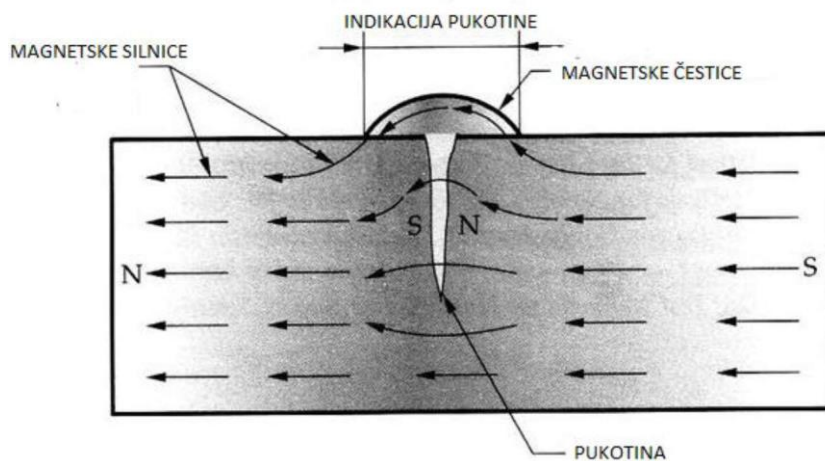
Penetrantsko ispitivanje obuhvaća: 1. ispitivana površina zavara se treba očistiti, odmastiti a ponekad i prebrusiti, 2. nanošenje crvenog penetranta 3. uklanjanje penetranta vodom, suhom krpom ili razrjeđivačem, 4. nanošenje bijelog razvijaa koji izvlači penetrant iz pukotine.

3.4. Magnetsko ispitivanje

Magnetsko ispitivanje se koristi za otkrivanje grešaka u zavaru na samoj površini ili malo ispod površine, oko 1 do 2 mm dubine. Na ispitivani zavar se nanese tanki sloj petroleja u kojem je vrlo sitni željezni prah pa se na mjestima grešaka pojave lako vidljive nepravilnosti u rasporedu željeznog praha. Na ispitivani zavar nanose se feromagnetske čestice željeznog oksida (Fe_3O_4) veličine reda zrna 1 μm . Ove čestice mogu se nanijeti na površinu posipanjem (suhom tehnikom) ili naštrecavanjem suspenzije čestica u vodi, petroleju ili lakim uljima (mokrom tehnikom). Magnetsko ispitivanje se najviše koristi u velikoserijskoj i masovnoj proizvodnji. Kako bi vidljivost grešaka bila bolja magnetske čestice, mogu biti obojene kontrastnom bojom ili se ispitna površina prethodno može premazati tankim slojem kontrastne boje. Za najveću osjetljivost mogu se koristiti fluorescentne magnetske čestice, čije greške tada očitavamo pod ultraljubičastim svjetlom. Nedostatak ovog ispitivanja je što se može izvoditi samo na feromagnetičnim materijalima.



Slika 34. Ispitivanje zavarenog spoja magnetskom kontrolom
(Izvor: Duško Pavletić: „Zavarivanje I“, Tehnički fakultet Rijeka, 2010.)



Slika 35. Način djelovanja ispitivanja magnetskim česticama
(Izvor: Duško Pavletić: „Zavarivanje I“, Tehnički fakultet Rijeka, 2010.)



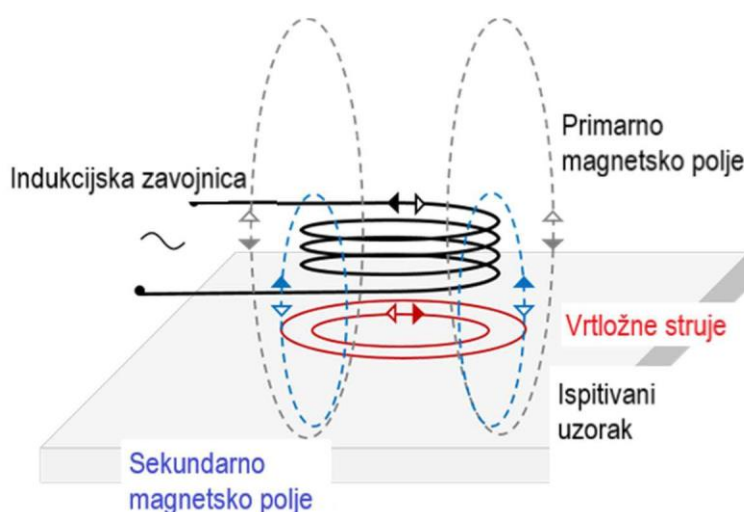
Slika 36. Primjer premaza kontr. bojom i ispitivanja pomoću magnetskog jarma
(Izvor: Wikipedia – https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Nondestructive_testing ^[21])



Slika 37. Pukotina vidljiva ispitivanjem magnetskih čestica

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

Ispitivanje zavarenog spoja pomoću vrtložnih struja omogućava otkrivanje nedostataka u zavaru i do 15 mm dubine. Ispitivanjem se uspoređuje ponašanje primarnog i sekundarnog elektromagnetskog polja. Postavljanjem elektromagnetske zavojnice, kroz koju prolazi izmjenična struja, iznad zavara, u zavarenom spoju inducirat će se sekundarno elektromagnetsko polje. Kod nailaska primarnog elektromagnetskog polja do mjesta neke greške u zavarenom spoju dolazi do poremećaja u sekundarnom elektromagnetskom polju, a to se bilježi u uređaju. Uobičajeno je pomoću vrtložnih struja utvrditi postojanje i mjesto greške, a zatim se radiografskim snimanjem utvrdi o kakvoj se vrsti greške radi.

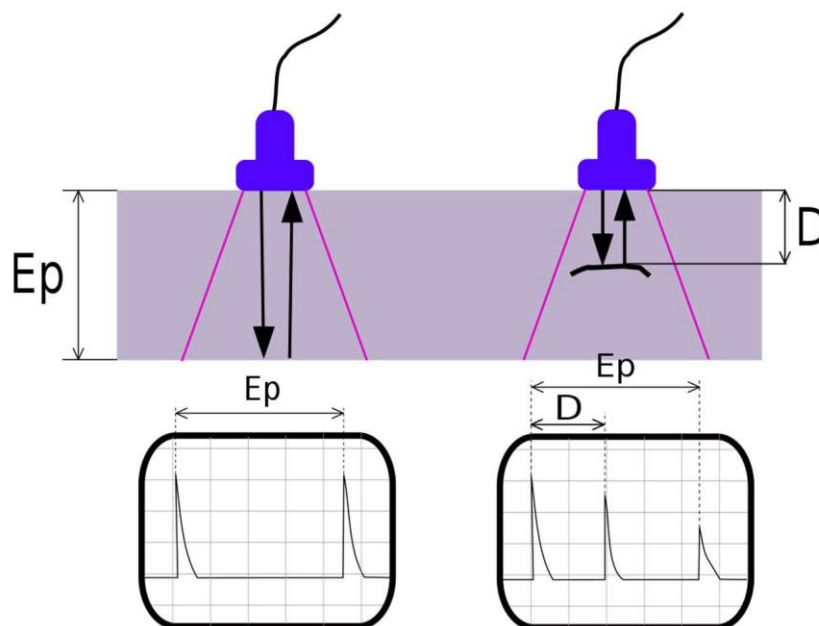


Slika 38. Način rada ispitivanja zavarenog spoja pomoću vrtložnih struja

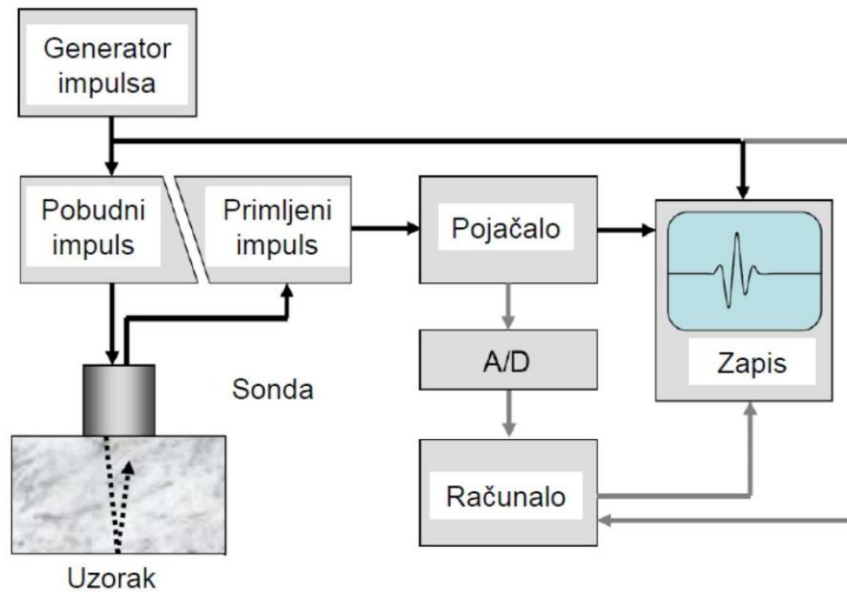
(Izvor: Wikipedia – https://en.wikipedia.org/wiki/Eddy-current_testing ^[22])

3.5. Ultrazvučno ispitivanje

Ultrazvučno ispitivanje zavarenih spojeva zasniva se na svojstvu ultrazvuka da se širi kroz istovrsne (homogene) materijale i da se odbija na granici materijala različitih zvučnih (akustičnih) osobina (otpornosti), odnosno od grešaka (nehomogenosti) u materijalu. Od izvora ultrazvuka šire se ultrazvučni valovi kroz materijal koji se kontrolira. Kada ultrazvučni valovi naiđu na grešku, dio se valova odbija i vraća natrag u ultrazvučnu glavu, gdje se uz odašiljač obično nalazi i primatelj ultrazvučnih valova. Ultrazvučnim ispitivanjem moguće je pronaći pojedine greške u unutrašnjosti zavarenog spoja bez obzira na debljinu zavara. Uređaj za ispitivanje se sastoji od aparata s ekranom i vibratora, koji se napajaju iz visokofrekventnog generatora za stvaranje impulsa. Vibrator se povlači određenim pokretima po površini (lijevo – desno) koja se ispituje, a zbog boljeg signala površina se premazuje mašću. Na mjestu dodira između vibratora i radnog komada koji se ispituje u materijal ulaze ultrazvučni valovi, okomito ili pod kutom (ovisno o vrsti zavara), tako da sam vibrator treba biti podešen za kut koji se ispituje.

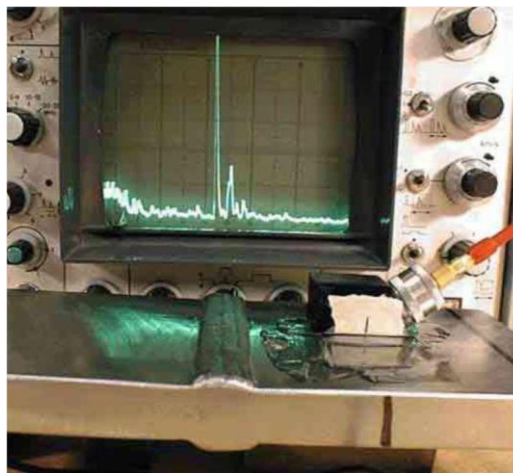


Slika 39. Način kako se pronalazi greška kod ultrazvučnog ispitivanja
(Izvor: Wikipedija – https://hr.wikipedia.org/wiki/Ultrazvu%C4%8Dna_kontrola)



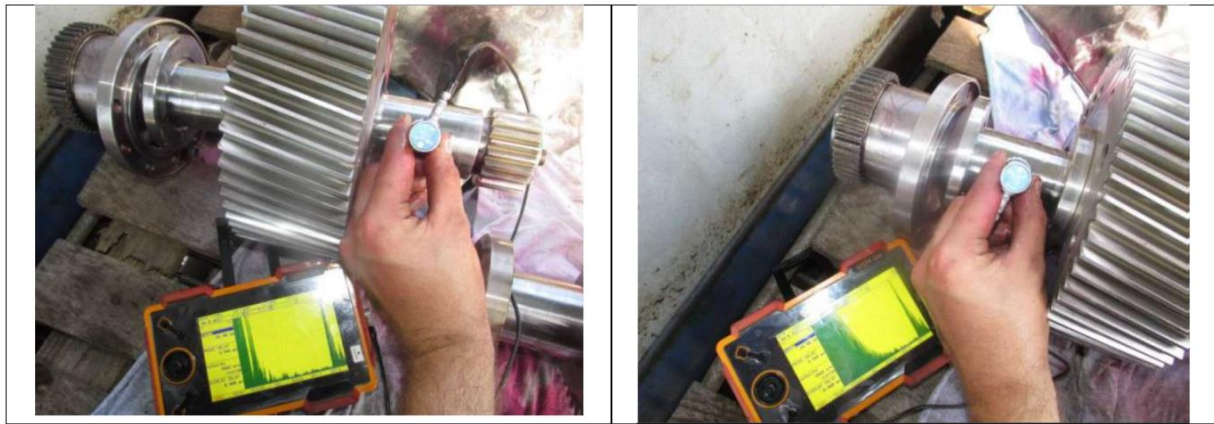
Slika 40. Skica ultrazvučne opreme za ispitivanje zavora

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



Slika 41. Ultrazvučna kontrola zavarenog spoja

(Izvor: Wikipedia – https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Nondestructive_testing)

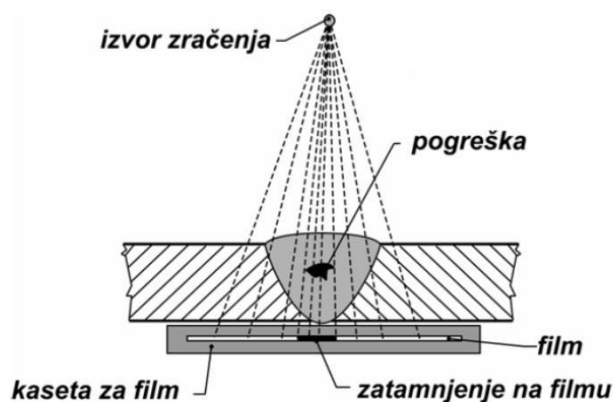


Slika 42. Ispitivanje ležajnih rukavaca kod pogonskog zupčanika

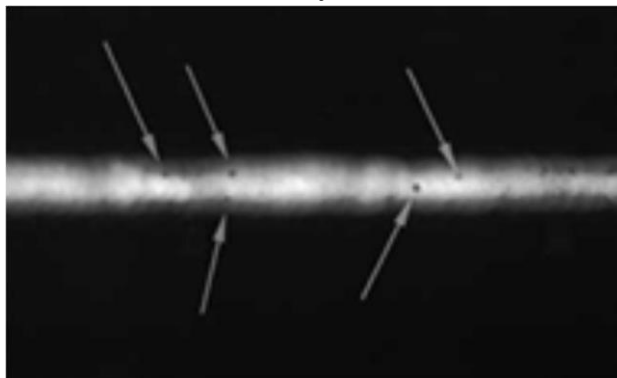
(Izvor: Wikipedia – https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Nondestructive_testing)

3.6. Radiografsko ispitivanje

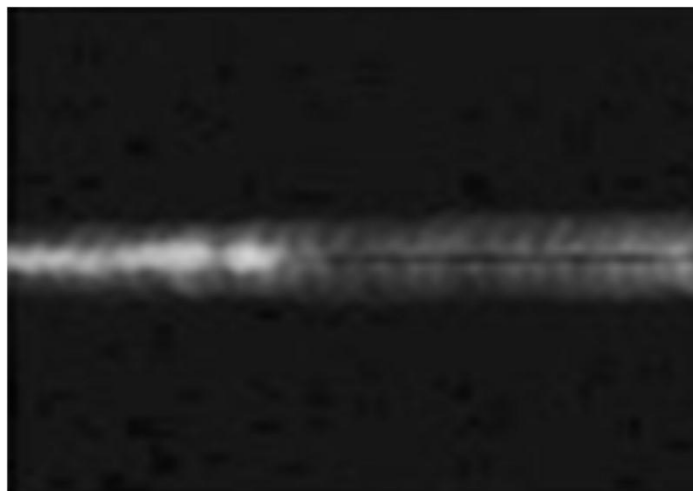
Radiografsko ispitivanje su uglavnom koristi za sučeljno zavarene spojeve a služi za otkrivanje grešaka kao što su pukotine, poroznosti, nemetalne uključine, nedovoljno protaljivanje (pogotovo korijen zavora) i ostale vrste grešaka koje nisu na površini zavarenog spoja. Radiografsko ispitivanje se izvodi na dva načina: s rendgenskim zrakama (za tanje limove) i radioaktivnim zrakama (gama-zrakama za deblje limove preko 20 mm), koje prolaze kroz zavar i djeluju na fotografski film, smješten s druge strane od izvora zračenja i zavora. Ako su u zavarenom spoju neke greške, elektromagnetske zrake će zbog lakšeg i bržeg prolaza na tim mjestima izazvati jača zatamnjenja filma koja su na svjetlijoj pozadini jasno vidljiva pa se na osnovi oblika i položaja mrlja na filmu može točno utvrditi o kakvoj se greški radi. [7]



Slika 43. Skica koja prikazuje način radiografskog ispitivanja zavarenog spoja
(Izvor: Duško Pavletić: „Zavarivanje I“, Tehnički fakultet Rijeka, 2010.)



Slika 44. Poroznosti na zavaru uočene radiografskim ispitivanjem
(Izvor: <https://www.nde-ed.org>)



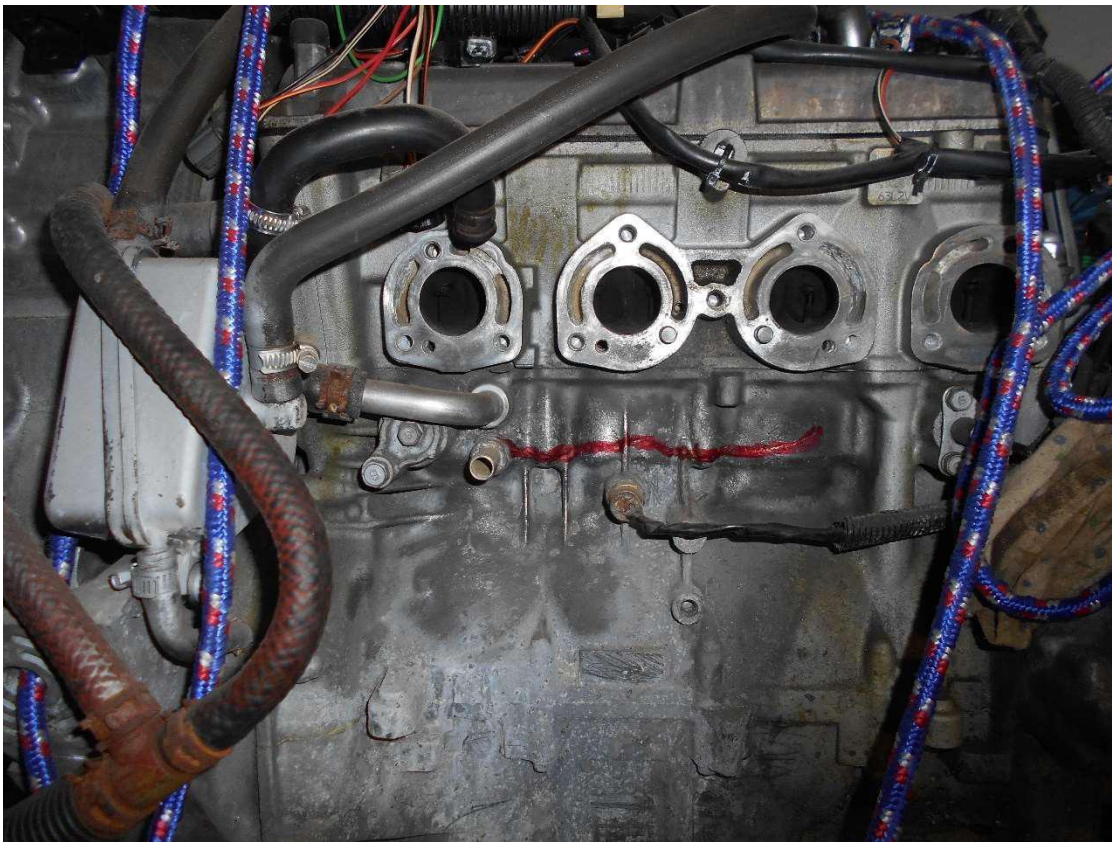
Slika 45. Nedovoljno protaljivanje korijena zavora na radiogramu

(Izvor: <https://www.nde-ed.org>)

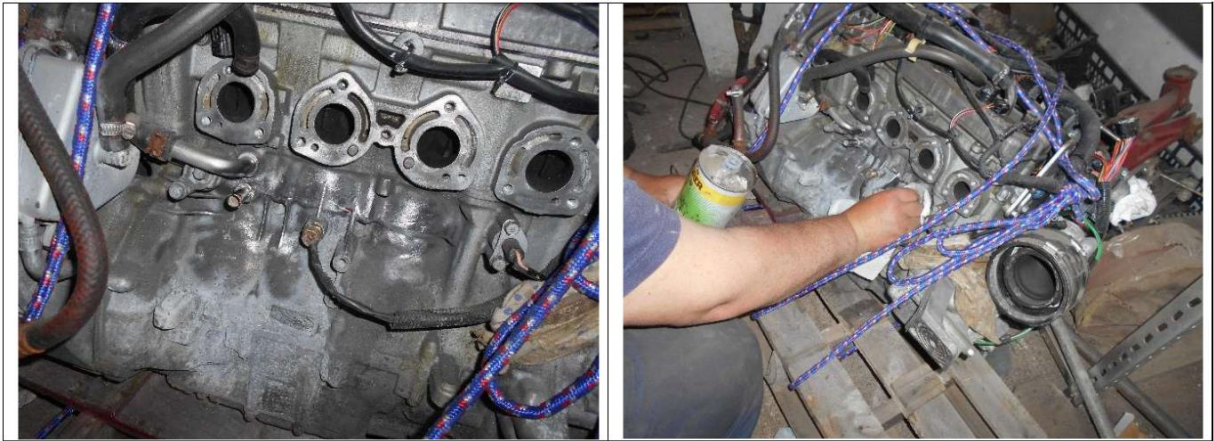
4. PRIMJERI

4.1. Ispitivanje bloka motora

Na ispitivanom bloku brodskog motora proizvođača Yamaha uočene su pukotine na odljevku koje smanjuje radnu snagu motora i nepravilan rad motora. Naručitelj je označio gdje mu dolazi do ispuštanja plinova.



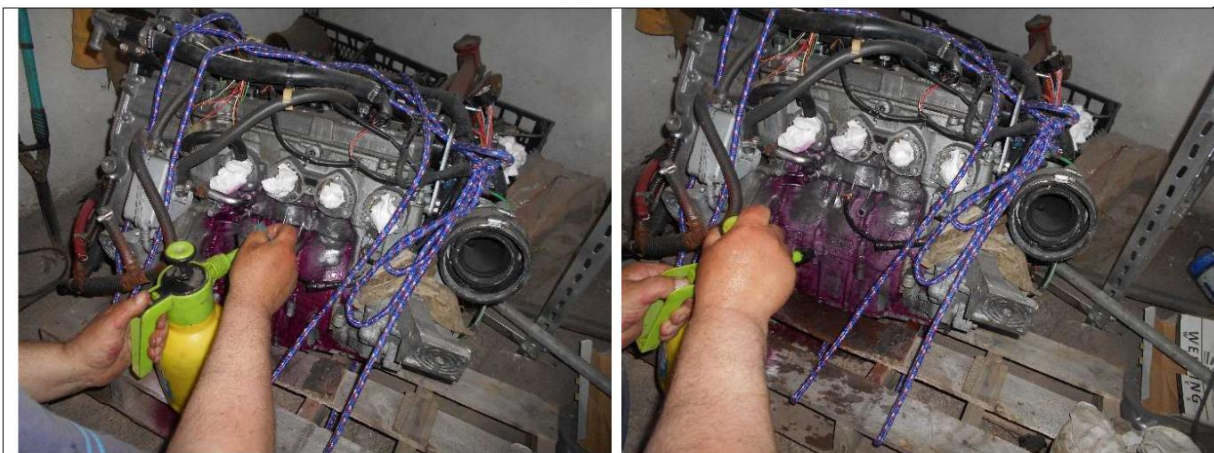
Slika 46. Prvo se pristupa brušenju površine, odmašćivanju i čišćenju razrjeđivačem
(Izvor: obrada autorice)



Slika 47. Nakon što se površina osušila pristupilo se nanošenju crvenog penetranta
(Izvor: obrada autorice)



Slika 48. Prema uputi proizvođača čekalo se 20 minuta da se penetrant upije i zatim se isprao vodom i nakon toga se ponovno očistio razrjeđivačem
(Izvor: obrada autorice)

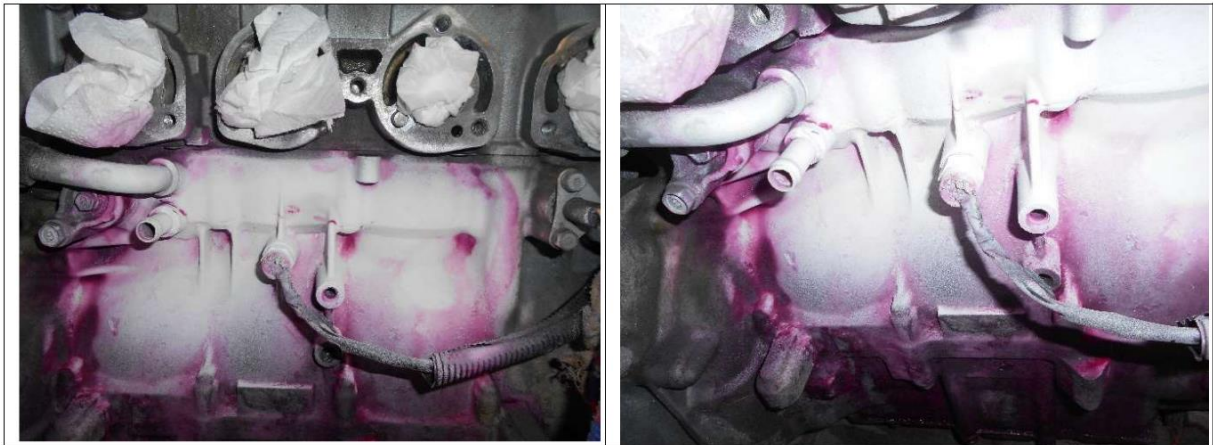


Slika 49. Nakon što se površina osušila, pristupilo se nanošenju bijelog razvijača
(Izvor: obrada autorice)



Slika 50. Nakon 5 minuta već su se otkrile dubinske pukotine kojih je ipak bilo manje nego se očekivalo

(Izvor: obrada autorice)



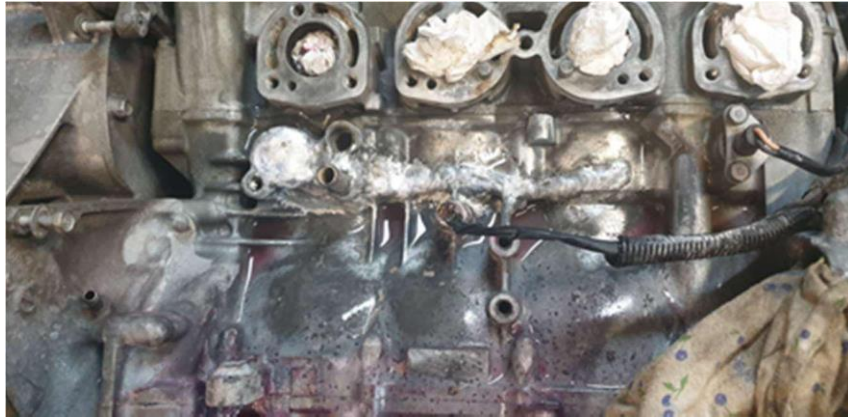
Slika 51. Dubinske pukotine su se nakon toga izbrusile („iskopale“) prstastim glodalom

(Izvor: obrada autorice)

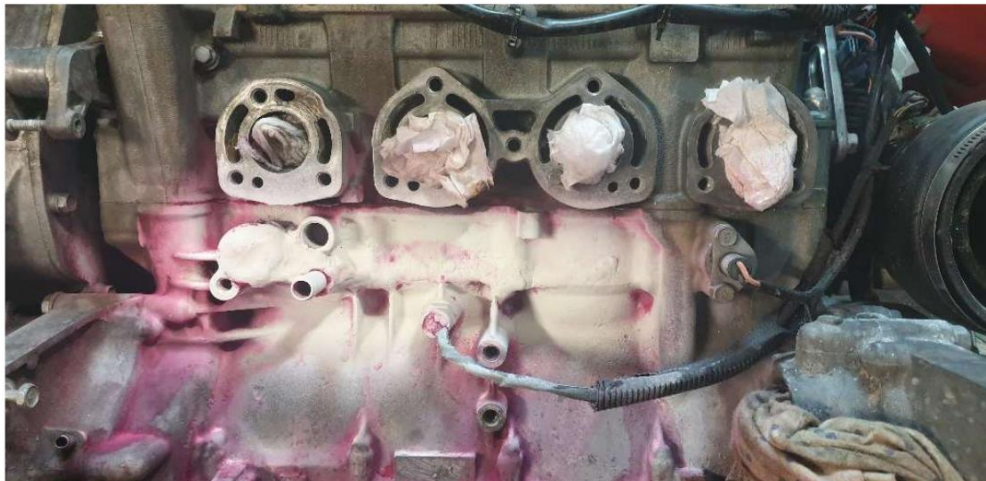


Slika 52. Nakon toga se pristupilo TIG postupku zavarivanja

(Izvor: obrada autorice)



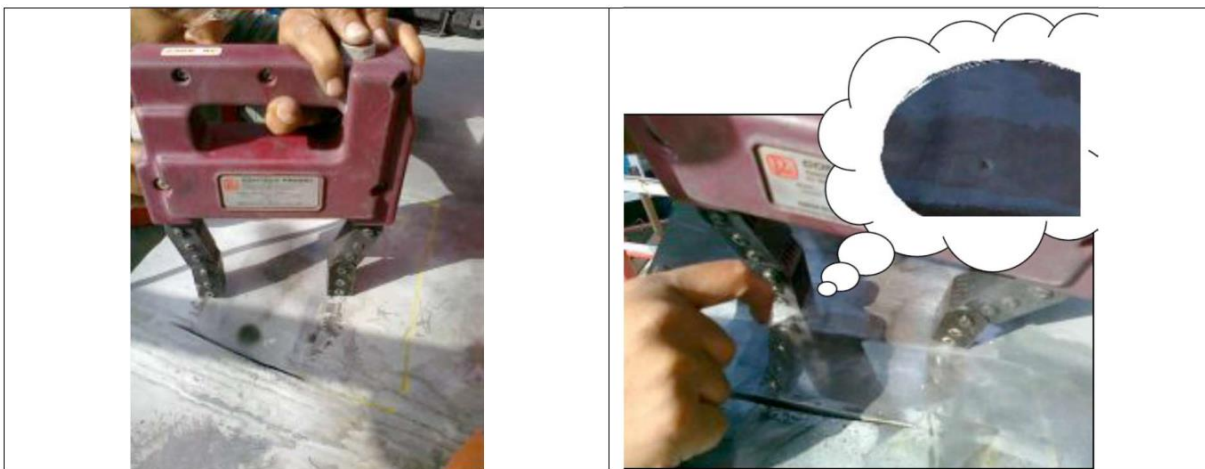
Slika 53. Nakon zavarivanja ponovno se pristupilo penetranskom ispitivanju
(Izvor: obrada autorice)



Slika 54. Nakon zavarivanja ponovno se pristupilo penetranskom ispitivanju
(Izvor: obrada autorice)

4.2. Primjer magnetskog ispitivanja zavara

Budući da je magnetska metoda površinska, potrebno je prvo fino obraditi površinu. Na površinu se potom nanosi bijela boja, za bolje uviđanje površinskih (do 6 mm) pukotina i nepravilnosti u materijalu.



Slika 55. Primjer magnetskog ispitivanja zavara
(Izvor: obrada autorice)

Mjerenje se zasniva na elektromagnetskoj indukciji pa se može vršiti samo na feromagnetnim materijalima. Uređaj predstavlja magnetske elektrode koje rade puštanjem električne struje kod njih. Nakon šta pustimo struju kroz elektrode, na materijal obojan bijelom bojom nanosi se otopina magnetske prašine i vode.

Magnetska prašina se stvara u ovisnosti na silnice te tako upozorava na pukotine. Ako je vidljiva nakupina prašine u obliku pukotine, mjesto se označi markerom, za kasniji popravak. Primjer pukotine koji je prikazan je okrugla pukotina. Ona za statički napregnute konstrukcije nije toliko problem jer svojim oblikom blago zakrivljuje silnice. Točnije po standardu su dopuštene takve pukotine od 3 do 4 mm promjera.



Slika 56. Primjer nedopuštenih pukotina koje se trebaju popraviti
(Izvor: obrada autorice)

4.3. Primjer ultrazvučnog ispitivanja zavara

Ispitivanje ultrazvukom tehnički je manje zahtjevno, ali treba više znanja za uočavanje grešaka u zavaru. Kontrola koja se koristila na gradilištu vršena je s 4 MHz frekvencijom valova i kutom od 0° i 45° . Prvo se treba smiješati tekućina kojom će podmazati dio površine koji se želi ispitati (slika lijevo). Tada se ultrazvučnom glavom prelazi preko tog područja (slika desno).



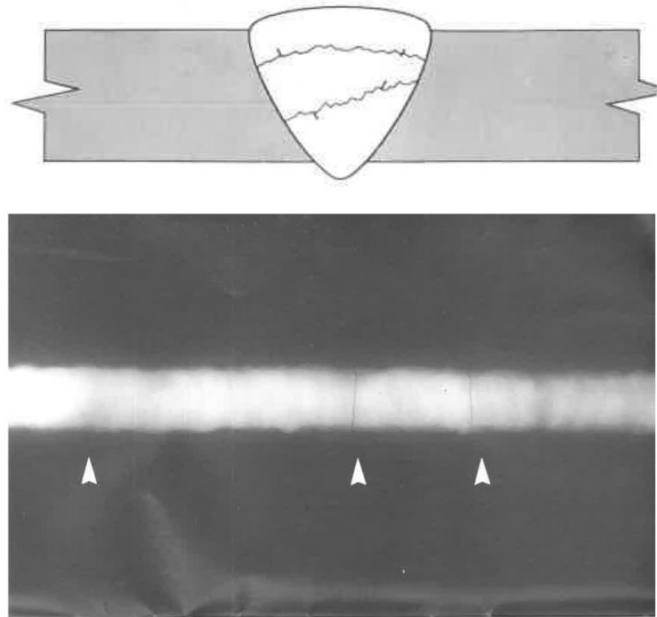
Slika 57. Primjer ultrazvučnog ispitivanja zavara 1/2

Rezultati su vidljivi na računaru s kojim je spojena ultrazvučna glava (slika lijevo). Kratka skica rada ultrazvučnog uređaja za ispitivanje kontrole materijala je slika desno.

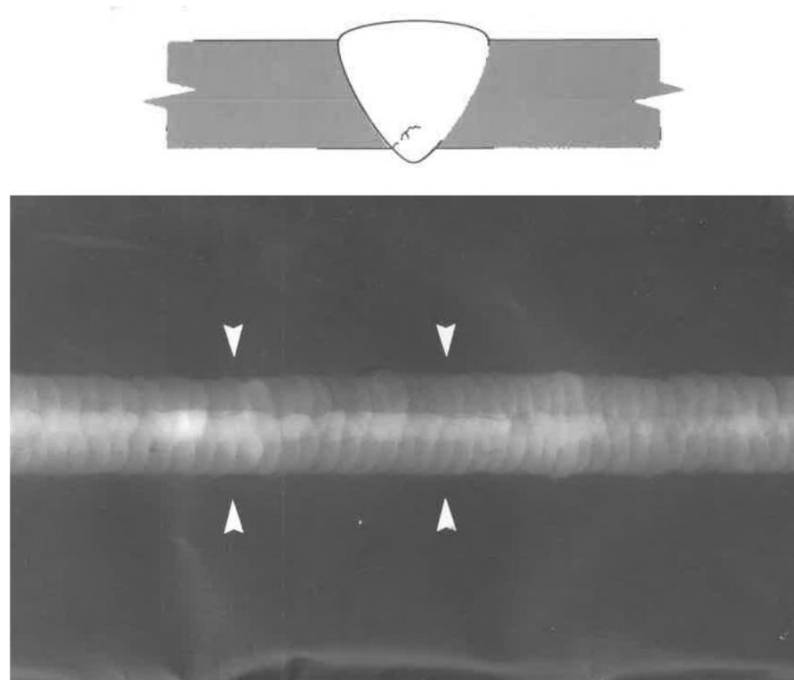


Slika 58. Primjer ultrazvučnog ispitivanja zavara 2/2
(Izvor: obrada autorice)

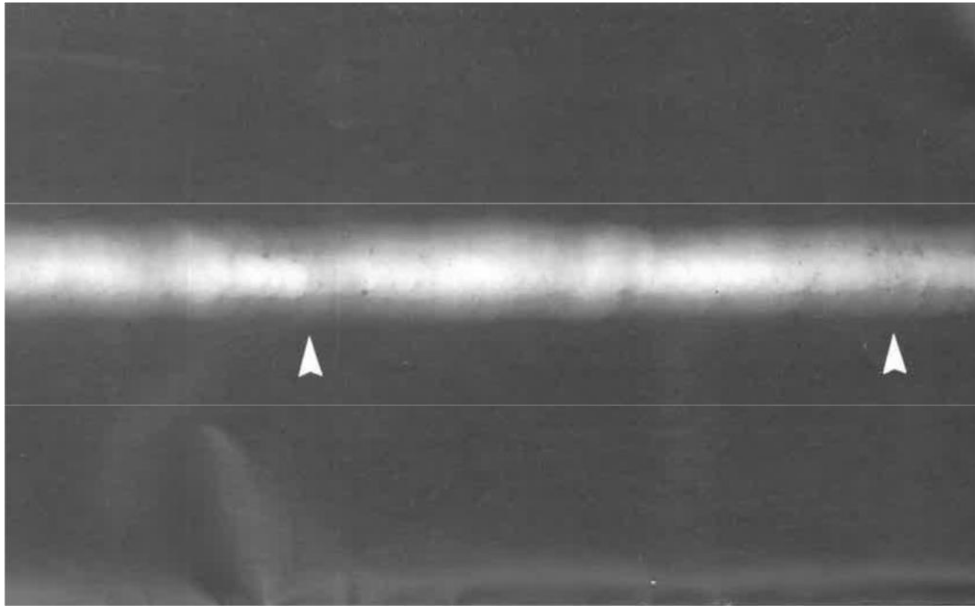
4.4. Primjeri radiografskog ispitivanja zavara



Slika 59. Primjer pukotina vidljivih radiografskim ispitivanjem
(Izvor: <https://www.nde-ed.org>)

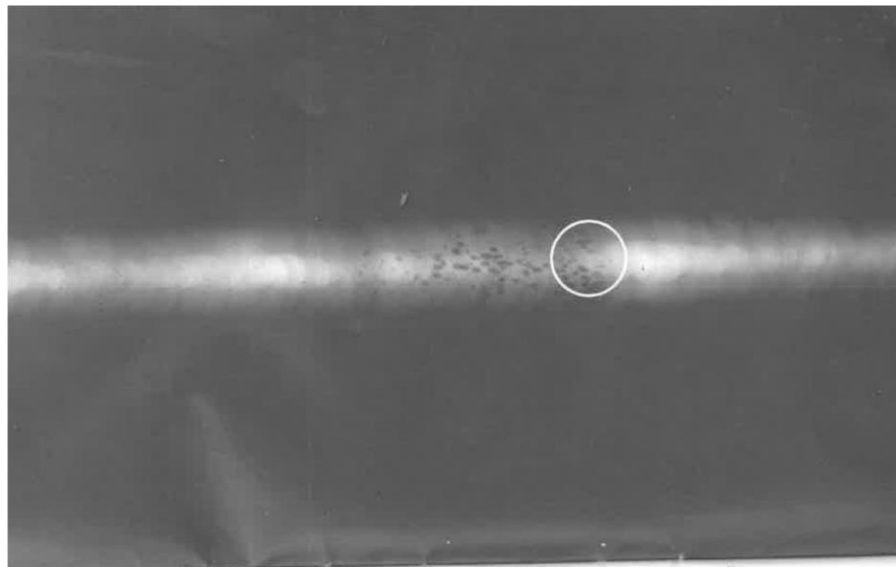


Slika 60. Primjer pukotina u korijenu zavara vidljivih radiografskim ispitivanjem
(Izvor: <https://www.nde-ed.org>)



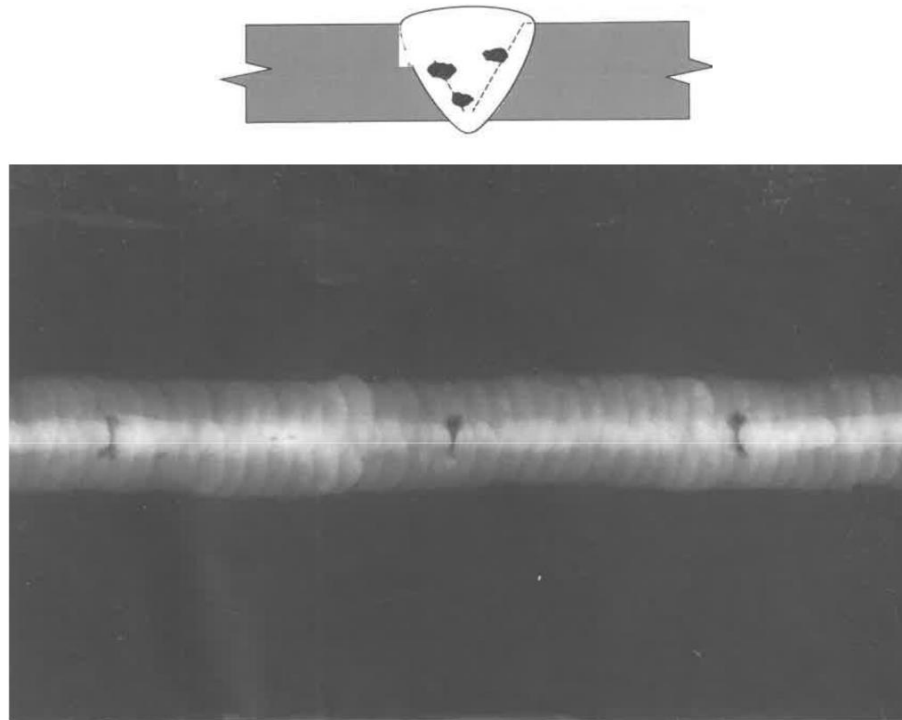
Slika 61. Primjer poroznosti vidljivih radiografskim ispitivanjem

(Izvor: <https://www.nde-ed.org>)

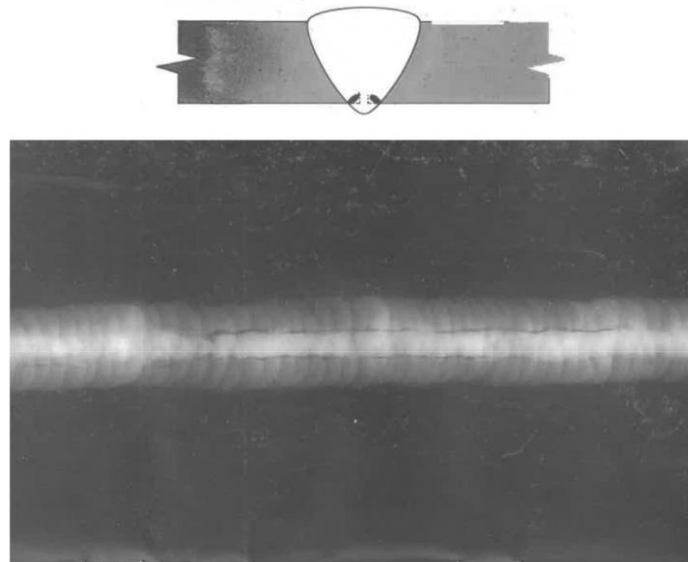


Slika 62. Primjer nakupina poroznosti vidljivih radiografskim ispitivanjem

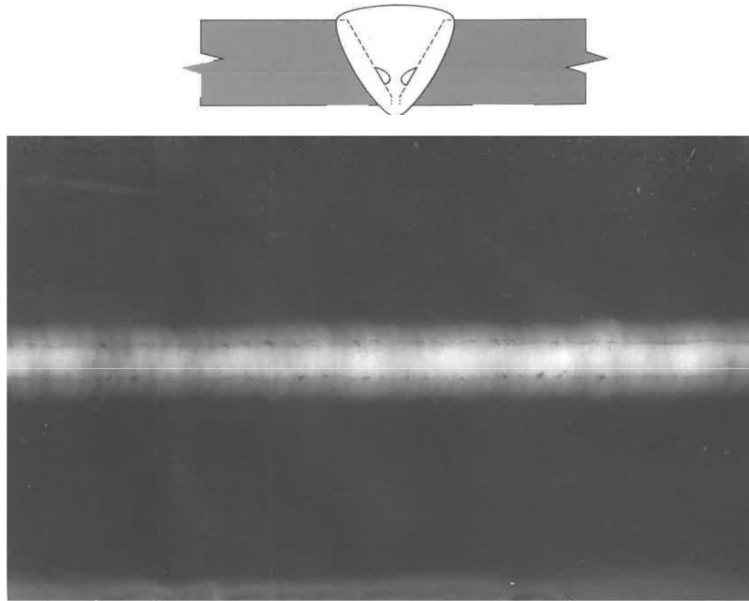
(Izvor: <https://www.nde-ed.org>)



Slika 63. Primjer uključina vidljivih radiografskim ispitivanjem
(Izvor: <https://www.nde-ed.org>)

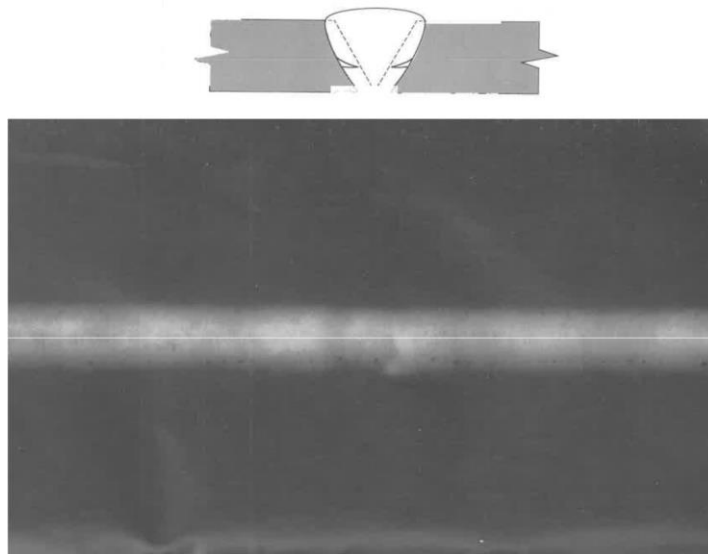


Slika 64. Primjer uključina u korijenu zavora vidljivih radiografskim ispitivanjem
(Izvor: <https://www.nde-ed.org>)



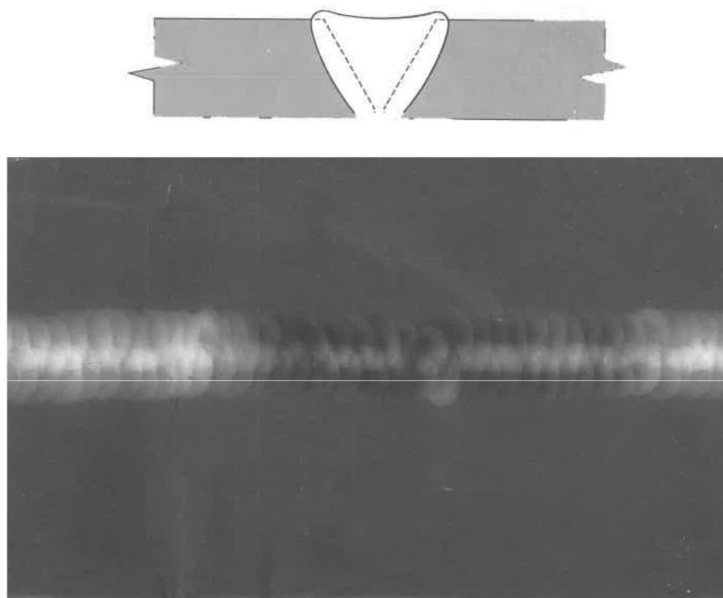
Slika 65. Primjer nedovoljnog protaljivanja vidljivih radiografskim ispitivanjem

(Izvor: <https://www.nde-ed.org>)



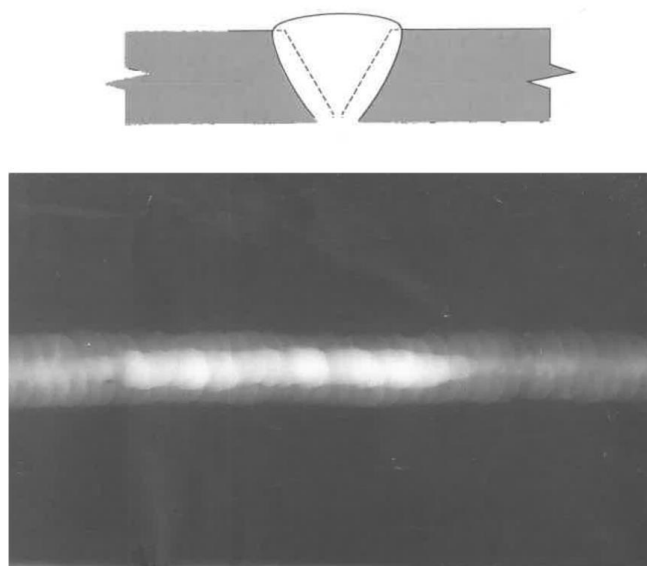
Slika 66. Primjer nedovoljnog protaljivanja vidljivih radiografskim ispitivanjem

(Izvor: <https://www.nde-ed.org>)



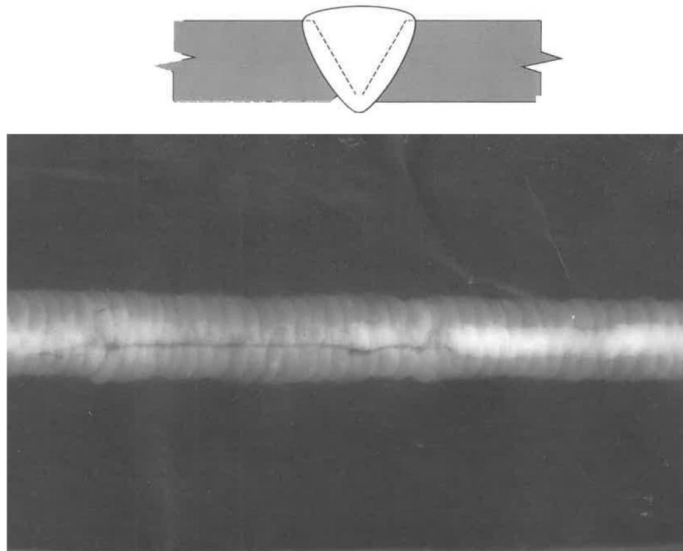
Slika 67. Primjer grešaka oblika (nedovoljna popunjenost) vidljivih radiografskim ispitivanjem

(Izvor: <https://www.nde-ed.org>)



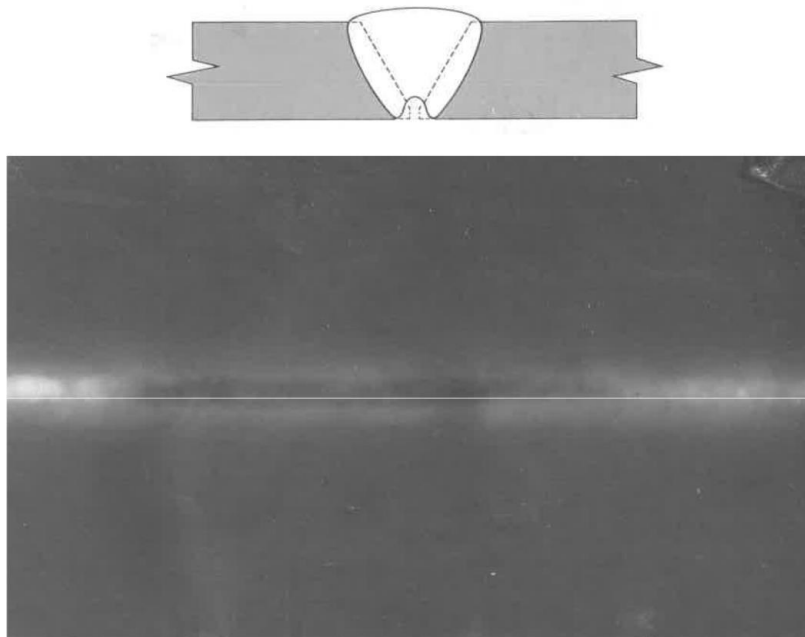
Slika 68. Primjer grešaka oblika (pretjerani provar) vidljivih radiografskim ispitivanjem

(Izvor: <https://www.nde-ed.org>)



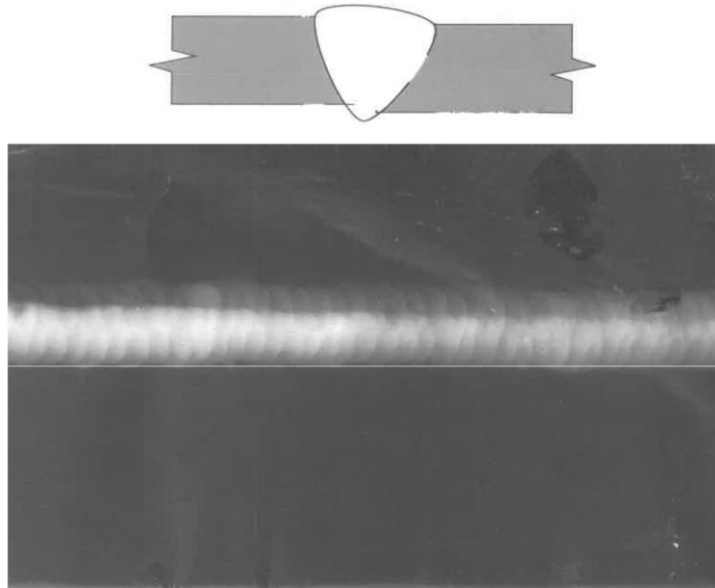
Slika 69. Primjer grešaka oblika (rubna ugorina) vidljivih radiografskim ispitivanjem

(Izvor: <https://www.nde-ed.org>)



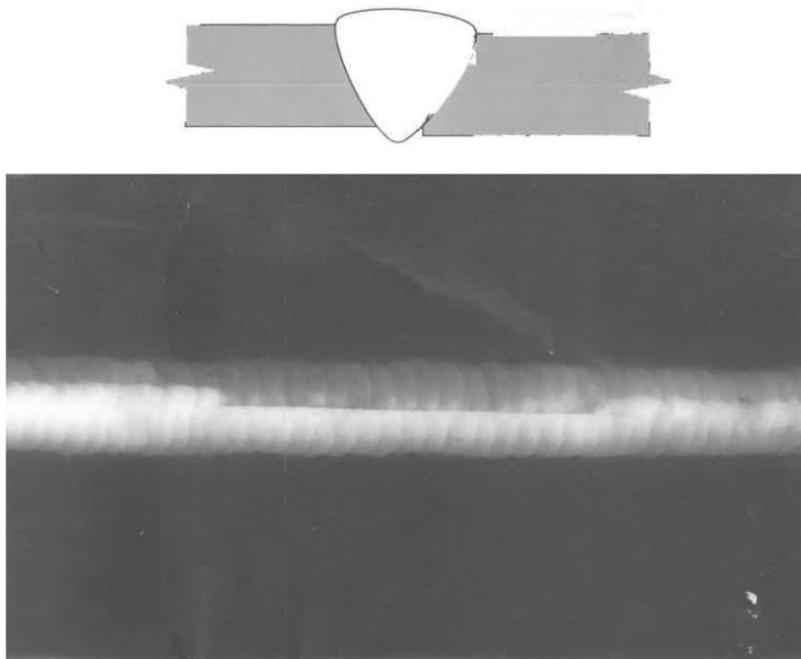
Slika 70. Primjer grešaka oblika (nedovoljno protaljivanje korijena zavora) vidljivih radiografskim ispitivanjem

(Izvor: <https://www.nde-ed.org>)



Slika 71. Primjer grešaka oblika (odstupanje od osi) vidljivih radiografskim ispitivanjem

(Izvor: <https://www.nde-ed.org>)



Slika 72. Primjer grešaka oblika (odstupanje od osi) vidljivih radiografskim ispitivanjem

(Izvor: <https://www.nde-ed.org>)

ZAKLJUČAK

Hipoteza je ostvarena na praktičnom primjeru koji je pokazao zadovoljavajuću kvalitetu i smanjen broj grešaka. Kod zavarivanja dolazi do velikog broja različitih grešaka. Većinu njih vizualno nije moguće otkriti bez obzira na iskustvo i znanje zavarivača ili inspektora. Zbog toga vrlo je važno ispitivati zavare da bi se greške uočile i uklonile. Pogotovo su važne metode ispitivanja zavara bez razaranja jer su brze i ne uništavaju materijal koji se zavaruje. U zadnje vrijeme u našem kraju, Istri i Rijeci, sve je manje prisutno ispitivanje zavara zbog zatvaranja „Uljanika“ i sve slabije strojarske industrije. Osim toga, cijena čelika je u zadnjoj godini dana porasla više nego duplo, što još više umanjuje zavarivanje u praksi. Zavarivači najviše koriste vizualnu i penetransku kontrolu zavara zbog brzine i male cijene ispitivanja, ali veliki broj grešaka ostaje neotkriven što je pogotovo važno za opterećenije metalne konstrukcije koje mogu dovesti do nesreća u radu. Kada se neka nesreća dogodi, onda se veliki napor i novac troši na otkrivanje uzroka. Zbog toga bi društvo trebalo puno više ulagati u ispitivanje zavara, pogotovo ultrazvučnu i radiografsku metodu kako bi se smanjio broj grešaka kod zavarivanja, u smislu „bolje spriječiti nego liječiti“. Tako bi se omogućilo manjim poduzetnicima zavarivačima ne samo da jeftinije ispituju zavare nego da unaprijede svoju vještinu uklanjanjem grešaka jer bi se došlo do poznavanja uzroka grešaka kod zavarivanja.

No metode ispitivanja zavara bez razaranja se mogu koristiti i šire, ne samo za zavarivanje. Tako zavarivači često penetranskom metodom otkrivaju greške kod odljevaka koje znaju biti dosta česte kod nekih proizvođača, kao na primjer kod odljevaka Industrije motora i traktora Rakovica kod Beograda. Za kontrolu grešaka kod odljevaka pogodno je također ultrazvučno ispitivanje. Ultrazvučno ispitivanje se često koristi za otkrivanje lamelnog odvajanja ili slojastog trganja („lameliranje“) kod vruće valjanih limova. Ultrazvučno ispitivanje se ponekad koristi za otkrivanje debljine nekog materijala. Ultrazvučno ispitivanje se u metalurškoj praksi koristi i kod ispitivanja otkivaka, ispitivanja traka i profila, ispitivanja cijevi. Ako postoje značajne greške kod odljevaka i vruće valjanih limova, dobro je ispitati materijale prije bilo kakve strojne obrade, jer je obrada na lošem materijalu samo trošak i gubitak vremena.

Praksa je pokazala da se oko 73% grešaka kod zavarivanja odnosi na uvjete rada ili tehnološke greške te na greške zavarivača. Zato je vrlo bitno često ispitivati zavare kako bi zavarivač otklonio i popravio greške koje mu se ponavljaju. Što više ispitivanja to je manje grešaka i veća je sigurnost konstrukcije i opreme koja dolazi na tržište zavarivanjem.

Cilj ovog rada je upoznati se sa stvarnim i praktičnim otkrivanjem grešaka u svakodnevnom radu zavarivača, s namjerom da se one ne ponavljaju. Često je to jako teško i za to je potrebno ogromno znanje i iskustvo. Kada se dobiju prvi rezultati ispitivanja, teško je na prvi pogled otkriti o kojoj se greški tu radi. Tijekom ovog rada lakše će biti otkrivanje grešaka no i dalje se ova tema može produbiti i proširiti. Zato smo pažljivo radili s iskusnim zavarivačem penetranskom metodom kako bismo otkrili kako ih on otkriva i rješava. Također smo se upoznali s načinom provođenja ispitivanja s magnetskom i ultrazvučnom metodom ispitivanja zavara. Pokušali smo doći i do praktičnog ispitivanja radiografskom metodom ali je u današnjim uvjetima naše privrede to bilo dosta teško budući da su se u posljednje vrijeme zatvorile škole zavarivanja u „Uljaniku“, „3. maju“, „Viktor Lencu“ i ostalim većim tvrtkama iz ovog podneblja.

SAŽETAK

U ovome radu prikazane se najčešće greške koje se javljaju u svakodnevnom radu zavarivača, te kako se otkrivaju s naglaskom na metode ispitivanja bez razaranja. U prvom dijelu greške prema klasifikaciji europskih normi, dok u drugom dijelu se navode najprisutnije metode bez razaranja materijala koje ih otkrivaju. Nakon toga su navedeni neki primjeri pronalaženja grešaka zavarenih spojeva kojima sam sama prisustvovala. Očito je da to nije ni malo lak zadatak, tako da je potrebno veliko znanje i dugogodišnja praksa kako bi se odmah prepoznalo o čemu se radi i na kraju, što je najvažnije, kako ih ukloniti da se ne pojavljuju ponovno.

Ključne riječi: greške, zavareni spojevi, ispitivanja, zavarivanje, bez razaranja

SUMMARY

This paper presents the most common welding defects that occur in the daily work of welders, and how they are detected with an emphasis on non-destructive testing methods (NDT). The first part presents welding defects according to the classification of European standards, while the second part present the most present non-destructive methods that reveal them. The following are some examples of finding welding defects that I myself have attended. Obviously, this is not an easy task, so it takes a lot of knowledge and years of practice to quickly recognize what it is about and finally, most importantly, how to remove them so that they do not repeat.

Keywords: defects, welded joints, tests, welding, non-destructive

POPIS LITERATURE

- [1] Duško Pavletić: „Zavarivanje I“, Sveučilišni studij strojarstva i brodogradnje, Tehnički fakultet Rijeka, 2010.
- [2] „Metode nerazornih ispitivanja“ www.fsb.unizg.hr, 2012.:
https://www.fsb.unizg.hr/ndt/download/teh3_2003-04pred.pdf
- [3] Bičić M., Gotesman M.: „Greške u zavarenim spojevima“, Uljanik Pula, 2005.
- [4] I. Juraga, K. Ljubić, M. Tivičić: „Pogreške u zavarenim spojevima“, Zagreb, 2007.
- [5] „Weld Imperfections and Preventive Measures“, KOBE STEEL, LTD., 2015.
- [6] Norma EN ISO 6520-1 „Classification of geometric imperfections in metallic materials“ 2007.
- [7] Furlan Z., Lučin N., Pavelić A.: „Tehnologija gradnje broskog trupa“, Zagreb, 1986.
- [8] Ivan Samardžić: „Kontrola kvalitete zavarenih spojeva, metode ispitivanja bez razaranja“, Strojarski fakultet u Slavonskom brodu, 2014.
- [9] <https://www.nde-ed.org>
- [10] <https://www.twi-global.com>
- [11] https://en.wikipedia.org/wiki/Hydrogen_embrittlement#/media/File:Steel-with-Hydrogen-Induced-Cracks-01.jpg
- [12] ASM-Metals-Handbook:06 – ASM international, 1993.
- [13] Klas Weman: Welding processes handbook, Cambridge 2003.
- [14] <http://gowelding.com/>
- [15] ASM-Metals-Handbook: 06 – Welding, Brazing, and Soldering, ASM international, 1993.
- [16] D. Radaj: Heat Effects of Welding Temperature Field, Residual Stress, Distortion, Springer-Verlag, Berlin, 1992.
- [17] Fundamentals of flame straightening, Technical information for flame processes
- [18] Zvonimir Lukačević, „Zavarivanje“, 1998., Slavonski Brod)
- [19] NDE/NDT Resource Center <https://www.nde-ed.org/AboutNDT/aboutndt.htm>
- [20] Wikipedija – https://hr.wikipedia.org/wiki/Penetrantsko_ispitivanje
- [21] Wikipedia – https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Nondestructive_testing
- [22] Wikipedia – https://en.wikipedia.org/wiki/Eddy-current_testing

POPIS SLIKA

Slika 1. Podjela pukotina.....	Error! Bookmark not defined.
Slika 2. Nevidljiva unutarnja topla pukotina.....	12
Slika 3. Primjer hladne pukotine nastale zbog povećane količine difuzij. vodika	Error! Bookmark not defined.
Slika 4. Poroznosti u zavarenome spoju.....	Error! Bookmark not defined.
Slika 5. Šupljina ili poroznost u završnom krateru.....	Error! Bookmark not defined.
Slika 6. Gnijezdo plinskih mjehurića ili poroznosti.....	14
Slika 7. Uključak stranog metala	14
Slika 8. Čvrste uključine troske	15
Slika 9. Pogreške nedovoljnog protaljivanja.....	15
Slika 10. Primjer nedovoljnog protaljivanja	15
Slika 11. Naljepljivanje u sučeljenom spoju	16
Slika 12. Naljepljivanje u kutnom spoju zbog zavarivanja velikim jakostima struje i premalim brzinama	16
Slika 13. Primjeri ugorina	17
Slika 14. Primjer ugorina po cijeloj dužini zavara	18
Slika 15. Primjeri prevelikog nadvišenja zavara	18
Slika 16. Primjeri prevelikog nadvišenja zavara	19
Slika 17. Nedovoljna popunjenost zavara	19
Slika 18. Nedovoljna popunjenost zavara (primjer).....	19
Slika 19. Pretjerana ispupčenost lica zavara na kutnom spoju	20
Slika 20. Pretjerani ili preveliki provar	20
Slika 21. Odstupanje od osi u sučeljavanju.....	20
Slika 22. Utonulost zavara	Error! Bookmark not defined.
Slika 23. Neravnomjerna površina zavara (lijevo) te desno pravilnog zavara.....	Error! Bookmark not defined.
Slika 24. Nepravilno izveden nastavak zavara.....	21
Slika 25. Onečišćenje raspršenim kapljicama metala	22
Slika 26. Oštećenja površine zavara i metala nastala nepravilnim brušenjem.....	22
Slika 27. Pobojanost	23
Slika 28. Primjeri postavljanja dijelova u suprotan položaj od očekivane deformacije	24
Slika 29. Redoslijed zavarivanja kod ugradivanja cijevi: zavarivanje se izvoditi polaganjem zavara dijametralno nasuprotno.....	24

Slika 30. Primjer kružnog zagrijavanja plamenikom (crveno) za toplo izravnavanje cijevi	25
Slika 31. Mjerni pribor za za kontrolu oblika i dimenzija šava	26
Slika 32. Kontrola dimenzija zavara	Error! Bookmark not defined.
Slika 33. Vizualna kontrola zavara	Error! Bookmark not defined.
Slika 34. Ispitivanje zavara na nepropusnost fluorescentnim penetrantom.....	28
Slika 35. Obuhvat penetrantskog ispitivanja	29
Slika 36. Ispitivanje zavarenog spoja magnetskom kontrolom.....	30
Slika 37. Način djelovanja ispitivanja magnetskim česticama.....	30
Slika 38. Primjer premaza kontr. bojom i ispitivanja pomoću magnetskog jarma.....	30
Slika 39. Pukotina vidljiva ispitivanjem magnetskih čestica	30
Slika 40. Način rada ispitivanja zavarenog spoja pomoću vrtložnih struja	31
Slika 41. Način kako se pronalazi greška kod ultrazvučnog ispitivanja.....	32
Slika 42. Skica ultrazvučne opreme za ispitivanje zavara.....	33
Slika 43. Ultrazvučna kontrola zavarenog spoja	33
Slika 44. Ispitivanje ležajnih rukavaca kod pogonskog zupčanika	34
Slika 45. Skica koja prikazuje način radiografskog ispitivanja zavarenog spoja	35
Slika 46. Poroznosti na zavaru uočene radiografskim ispitivanjem.....	35
Slika 47. Nedovoljno protaljivanje korijena zavara na radiogramu.....	36
Slika 48. Prvo se pristupa brušenju površine, odmašćivanju i čišćenju razrjeđivačem	37
Slika 49. Nakon što se površina osušila pristupilo se nanošenju crvenog penetranta	Error!
Bookmark not defined.	
Slika 50. Prema uputi proizvođača čekalo se 20 minuta da se penetrant upije i zatim se isprao vodom i nakon toga ponovo se očistio razrjeđivačem	38
Slika 51. Nakon što se površina osušila, pristupilo se nanošenju bijelog razvijača.....	38
Slika 52. Nakon 5 minuta već su se otkrile dubinske pukotine kojih je ipak bilo manje nego se očekivalo.....	Error! Bookmark not defined.
Slika 53. Dubinske pukotine su se nakon toga izbrusile („iskopale“) prstastim glodalom	39
Slika 54. Nakon toga se pristupilo TIG postupku zavarivanja (Izvor: obrada autorice)	Error!
Bookmark not defined.	
Slika 55. Nakon zavarivanja ponovno se pristupilo penetranskom ispitivanju.....	Error! Bookmark not defined.
Slika 56. Nakon zavarivanja ponovno se pristupilo penetranskom ispitivanju.....	40
Slika 57. Primjer magnetskog ispitivanja zavara	41
Slika 58. Primjer nedopuštenih pukotina koje se trebaju popraviti	41
Slika 59. Primjer ultrazvučnog ispitivanja zavara 1/2	42

Slika 60. Primjer ultrazvučnog ispitivanja zavara 2/2	42
Slika 61. Primjer pukotina vidljivih radiografskim ispitivanjem.....	43
Slika 62. Primjer pukotina u korijenu zavara vidljivih radiografskim ispitivanjem	43
Slika 63. Primjer poroznosti vidljivih radiografskim ispitivanjem.....	43
Slika 64. Primjer nakupina poroznosti vidljivih radiografskim ispitivanjem	44
Slika 65. Primjer uključina vidljivih radiografskim ispitivanjem	45
Slika 66. Primjer uključina u korijenu zavara vidljivih radiografskim ispitivanjem	45
Slika 67. Primjer nedovoljnog protaljivanja vidljivih radiografskim ispitivanjem.....	46
Slika 68. Primjer nedovoljnog protaljivanja vidljivih radiografskim ispitivanjem.....	46
Slika 69. Primjer grešaka oblika (nedovoljna popunjenost) vidljivih radiografskim ispitivanjem	47
Slika 70. Primjer grešaka oblika (pretjerani provar) vidljivih radiografskim ispitivanjem.....	47
Slika 71. Primjer grešaka oblika (rubna ugorina) vidljivih radiografskim ispitivanjem.....	47
Slika 72. Primjer grešaka oblika (nedovoljno protaljivanje korijena zavara) vidljivih radiografskim ispitivanjem.....	48
Slika 73. Primjer grešaka oblika (odstupanje od osi) vidljivih radiografskim ispitivanjem.....	49
Slika 74. Primjer grešaka oblika (odstupanje od osi) vidljivih radiografskim ispitivanjem.....	49

POPIS TABLICA

Tablica 1. Podjela grešaka.....	10
---------------------------------	----