

MATERIJAL ZA PREDAVANJA IZ PREDMETA

**OBEZBEĐENJE I
KONTROLA KVALITETA
ZAVARENIH SPOJEVA**

handout – v.2.4

Greške zavarenih spojeva.

Praktična nastava:

Greške zavarenih spojeva, primeri iz prakse.

dr Miloš Đukić, vanredni profesor

Beograd, 2015

3. Greške zavarenih spojeva

3.1. Uvodna razmatranja o greškama zavarenih spojeva

U inženjerskoj praksi uobičajeno je da se zavarivanje istovremeno definiše kao stručna i naučna disciplina. I pored toga što je izvesno, da je za izradu kvalitetne i pouzdane zavarene konstrukcije neophodan kako stručni tako i naučni pristup, uglavnom se preveliki akcenat stavlja na praktične aspekte zavarivanja. Uglavnom, čak i među inženjerima, važi uvreženo mišljenje da nema dobrog zavarivanja bez iskusnih zavarivača i kvalitetne kontrole u svim fazama izrade.

Međutim, neophodno je istaći vrlo složenu i često nedovoljno istraženu i predvidljivu interakciju velikog broja naučnih disciplina na kojima se zasniva proces zavarivanja. Proces zavarivanja u svojoj osnovi podleže čitavom nizu složenih fizičkih i hemijskih zakona. Dobro poznavanje fizičkih, hemijskih i toplotnih procesa tokom procesa zavarivanja omogućava da se još od početne faze konstruisanja, pa sve do izrade zavarene konstrukcije, obezbedi zahtevani visoki kvalitet i odsustvo grešaka, što predstavlja preduslov za pouzdanu eksploataciju zavarene konstrukcije tokom celokupnog projektom predviđenog radnog veka.

Kvalitet izrađenog zavarenog spoja je predvidiv isključivo ako su svi **ulazni parametri procesa zavarivanja** poznati. Praksa je pokazala da su parametri procesa zavarivanja (uključujući i tzv. kritične parametre), njihov značaj i međusobna zavisnost najčešće nedovoljno razjašnjeni sa aspekta obezbeđenja kvaliteta. Često se pojedini "parametri zavarivanja", u najširem smislu reči, zanemaruju i neadekvatno kontrolišu tokom procesa izrade, što ima za rezultat promenljiv i najčešće neodgovarajući kvalitet zavarene spojeva i konstrukcija. Tokom izrade specifikacije tehnologije zavarivanja i njene kvalifikacije neophodno je da se izvrši pravilna identifikacija i procena značaja kritičnih parametara zavarivanja. Važno je istaći da je značaj i međusobna zavisnost pojedinih parametara zavarivanja u direktnoj relaciji sa konstruktivnim i eksploatacionim karakteristikama same zavarene konstrukcije.

Zahtevani kvalitet zavarene konstrukcije može se obezbediti isključivo ako se tokom konstruisanja, izbora materijala, propisivanja tehnologije zavarivanja i izrade, pravilno izaberu, strikno poštuju i kontrolišu usvojeni parametri zavarivanja. Greške u zavarenim spojevima javljaju se kao posledica neprepoznavanja i odsustva kontrole, jednog ili više **kritičnih faktora**. Praksa u izradi zavarenih konstrukcija je pokazala da se greške, kod zavarenih spojeva, najčešće javljaju kao posledica ne jednog, već najčešće većeg broja međusobno povezanih faktora – uzročnika. Podela grešaka prema uzroku nastajanja od izuzetnog je značaja da bi se shvatila ekstremna kompleksnost problematike obezbeđenja kvaliteta zavarenih spojeva.

Podela grešaka zavarenih spojeva ne može se jednoznačno obaviti i u inženjerskoj praksi se koriste različite klasifikacije. Kao što je već istaknuto u poglavlju 1, jedan od načina podele grešaka je i tzv. *hronološka podela*, prema kojoj se greške dele na: konstrukcione greške, tehnološke greške, greške izrade, eksploatacione greške i greške reparacije. Ovakav, opšti tip podele, je sa inženjerskog aspekta najpogodniji, jer ističe u prvi plan vreme nastajanja greške, odnosno ukazuje da se greške kod zavarenih spojeva javljaju u svim fazama životnog ciklusa jedne zavarene konstrukcije.

Pod pojmom **nepravilnog (nesavršenog) zavarenog spoja** podrazumeva se bilo koji vid odstupanja od idealnog zavarenog spoja. Opšti pregled mogućih kategorija koje se odnose na **odstupanja od idealnog zavarenog spoja**, pri čemu **greške zavarenog spoja** predstavljaju samo jednu od kategorija odstupanja, prikazan je u Tabeli 3.

Pod pojmom **greške zavarenog spoja** u najopštijem smislu se podrazumeva svako odstupanje od zahteva definisanog tehničkom dokumentacijom koje može da se odnosi na bilo koju karakteristiku zavarenog spoja tako da se ovaj pojam često koristi i kao sinonim za nepravilan (nesavršen) zavareni spoj.

Prisustvo grešaka u zavarenim spojevima ne znači uvek i gubitak radne sposobnosti zavarene konstrukcije. Da bi se ocenila radna sposobnost i upotrebljivost zavarene konstrukcije (Fitness for Purpose) potrebno je analizirati vrstu greške, njihovu veličinu i učestanost s obzirom na tip konstrukcije na kojoj se zavareni spoj nalazi i karakter opterećenja.

Tabela 3: Kategorije odstupanja od kvaliteta zavarenog spoja

ODSTUPANJA OD IDEALNOG ZAVARENOG SPOJA			
GREŠKE ZAVARENOG SPOJA	NEDOSTATCI U OSOBINAMA ZAVARENOG SPOJA	ODSTUPANJA USLED KONSTRUKTIVNIH PROPUSTA	ODSTUPANJA U PROCESU IZRADE I PRERADE
a) ravanske greške	a) prevelika koncentracija napona	a) neodgovarajući izbor i kvalitet osnovnog i dodatnog materijala	a) neodgovarajuća priprema za zavarivanja
b) zapreminske greške	b) preveliki zaostali naponi	b) neodgovarajuća konstrukcija	b) neodgovarajuća tehnologija zavarivanja
c) greške oblika	c) neodgovarajuće mehaničke osobine	- tehnološkičnost	
	c) nedovoljna sposobnost deformacije	- oblici	
	d) neodgovarajuća koroziona postojanost	c) neodgovarajuća procena radnih uslova	b) neodgovarajući tehnološki postupak oblikovanja
	e) nehomogen i neodgovarajući hemijski sastav	- vrsta, karakter i promena opterećenja	
	f) neodgovarajuće mikrostrukturne karakteristike	- temperatura i promena temperature	b) neodgovarajuća naknadna termička obrada
		- uticaj vetra, opterećenje snežnog pokrivača	
		- seizmički potresi	
		- koroziono dejstvo medijuma i okoline	
		- posebni uslovi	

3.2. Klasifikacija (podela) grešaka zavarenih spojeva

Svaki tehnološki postupak nosi sa sobom stalnu opasnost od nastajanja određenih grešaka. Na opasnost od pojave grešaka posebnu pažnju treba obratiti tokom izrade zavarenih konstrukcija. Postoje različite klasifikacije grešaka zavarenih spojeva, a sve greške se mogu podeliti u dve kategorije:

a) *Greške u zavarenim spojevima koje nastaju tokom procesa izrade.*

b) *Greške u zavarenim spojevima koje nastaju tokom eksploatacije.*

Različite klasifikacije grešaka zavarenih spojeva koje nastaju u izradi prikazane su na slici 16.



Slika 16. Klasifikacija grešaka zavarenih spojeva

3.2.1. Klasifikacija grešaka prema uzroku nastajanja

Klasifikacija grešaka zavarenih spojeva po uzroku nastajanja je izuzetno važna jer ukazuje i na mogućnost otklanjanja uzroka.

Zato bi jedan od osnovnih interesa trebalo da bude i utvrđivanje raspodele broja grešaka po uzrocima i po vremenu njihove pojave tokom izrade, ali i tokom eksploatacije po svim grupama, a ne samo po pojedinim. Međutim, u analizi rezultata određivanja uzroka pojave greške, ako se ona uopšte i sprovodi, ima mnogo nedostataka u praksi, iako je poznato da ona predstavlja jednu od karika u lancu mera koje se preduzimaju u cilju obezbeđenja kvaliteta zato što:

- često nije moguće odrediti uzrok pojave greške;
- umesto uzroka pojave ističe se karakter, kao npr. zamorna prslina, naponska korozija, itd.
- skoro u svim slučajevima analize uzroka pojave greške/oštećenja odsustvuje kvantitativna analiza udela dejstva različitih činilaca u pojavi grešaka. Ovakav pristup, kao i odsustvo razrađene metodologije u analizi pronalaženja uzroka pojave grešaka dovodi do subjektivizma pri utvrđivanju uzroka.

Prema uzroku nastajanja greške zavarenih spojeva se mogu podeliti na:

- **Konstrukcione greške**
- **Metallurške greške**
- **Tehnološke greške**

3.2.1.1. Konstrukcione greške

Konstrukcione greške su, kako samo ime kaže, posledica propusta u fazi konstruisanja, pre svega, nepravilnog konstruktivnog oblikovanja zavarene konstrukcije ili nekog njenog dela. Propusti u konstruisanju koji su odgovorni za nastajanje konstruktivnih grešaka različitih vrsta i pojavnog oblika se odnose pre svega na:

1. Neodgovarajući polazni materijal niske zavarljivosti.
2. Neodgovarajuće konstruktivno rešenje sa aspekta procene radnih uslova.
3. Nepravilan izbor dimenzija elemenata konstrukcije.
4. Nepravilno oblikovanje detalja na zavarenoj konstrukciji sa aspekta radnog opterećenja.
5. Zavarivanje u nepristupačnom i skućenom prostoru uslovljeno konstruktivnim rešenjem.

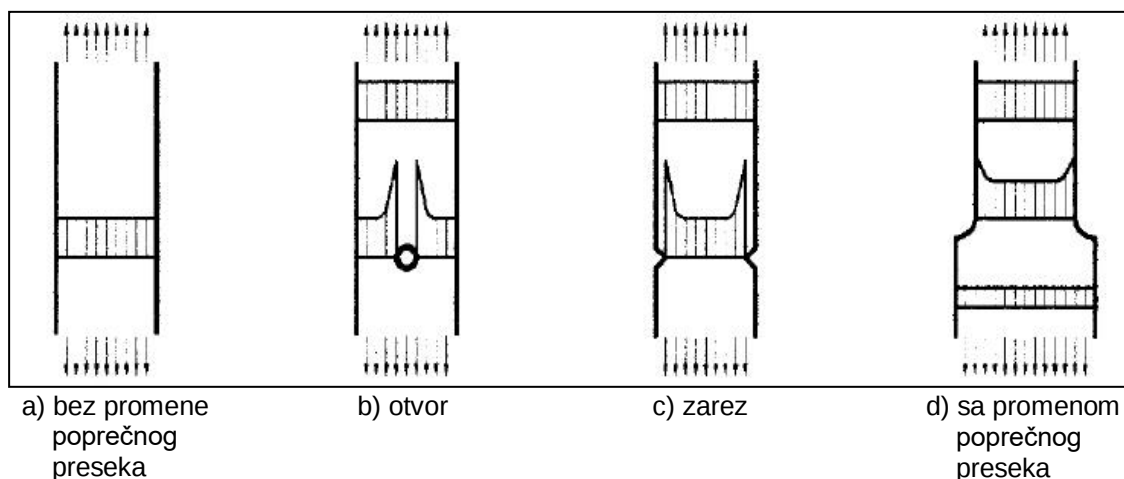
Propusti u konstruisanju najčešće uslovljavaju pojavu sledećih vrsta grešaka prema SRPS EN ISO 6520-1:

- različitih tipova prslina –100,
- nedostatak stapanja i uvarivanja – 400 i
- greške oblika i mera zavarenog spoja – 500.

Imajući u vidu veliki broj različitih zavarenih konstrukcija i konstruktivnih rešenja gotovo je nemoguće dati sveobuhvatni pregled mogućih konstruktivnih propusta koji mogu da uslove pojavu grešaka u zavarenim spojevima nakon izrade.

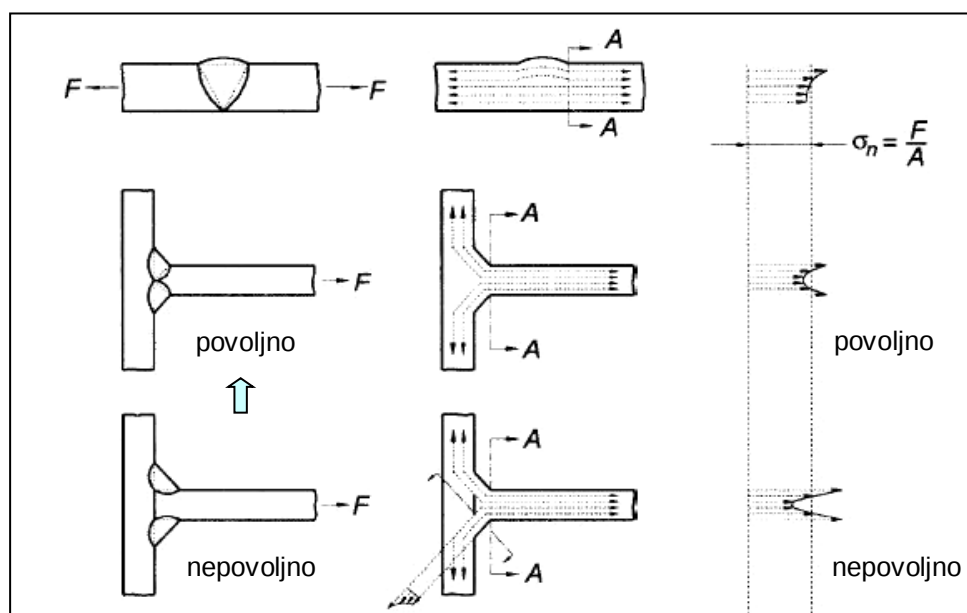
Primeri iz prakse su mnogobrojni, a posledice grubih propusta u konstruisanju zavarene konstrukcije mogu da uslove da i najbrižljivije izabrana tehnologija zavarivanja i vrlo kvalitetna izrada ne mogu da spreče pojavu grešaka u zavarenom spoju. U ovakvom slučaju neophodno je sprovesti analizu predloženog konstruktivnog rešenja, korelisati ga sa predloženom tehnologijom i iskustvima iz procesa izrade, a sve u cilju iznalaženja rešenja, koje se često svodi na konstruktivne modifikacije i izmene.

Kvalitetno konstruktivno rešenje podrazumeva da su **dobro procenjeni radni uslovi**, kao i svi aspekti opterećenja kojima će konstrukcija biti izložena tokom eksploatacije. Generalno, zavarene konstrukcije koje su izložene dinamičkom opterećenju, i kod kojih postoji opasnost od zamora, moraju se posebno pažljivo konstruisati tako da se usvoje sve mere neophodne za **smanjenje koncentracije napona u kritičnim delovima konstrukcije**. Pravilno oblikovanje detalja zavarene konstrukcije obezbeđuje smanjenje koncentracije napona, slika 17.



Slika 17. Raspodele naponskog stanja u poprečnom preseku

Na slici 18 prikazana je raspodela naponskog stanja za različite vrste zavarenih spojeva.



Slika 18. Raspodele naponskog stanja kod različitih vrsta zavarenih spojeva

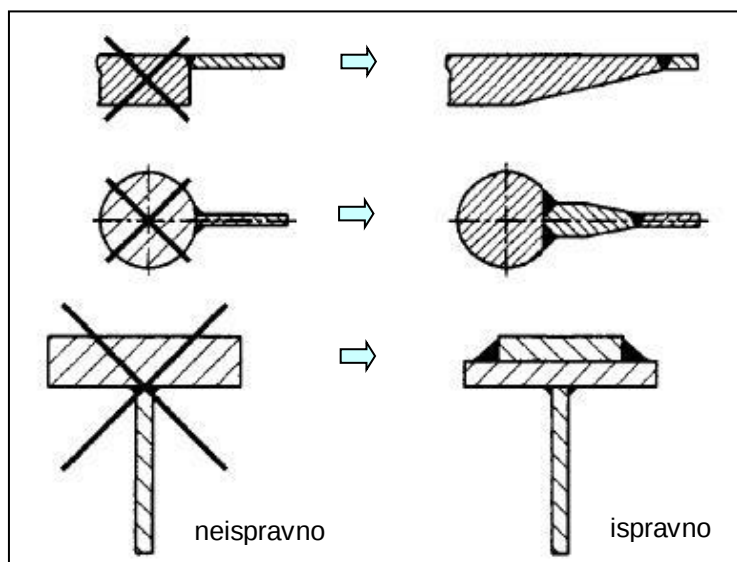
Pravilno oblikovanje detalja na zavarenoj konstrukciji, sa aspekta radnog opterećenja i koncentracije napona, neophodno je da bi se izbegla pojava grešaka zavarenih spojeva nakon izrade i tokom eksploatacije. I pored specifičnosti pojedinih zavarenih konstrukcija mogu se navesti sledeće generalne preporuke:

- Treba izbegavati zavarivanje **delova sa velikom razlikom u dimenzijama i debljini**. Velika razlika u dimenzijama zavarenih delova uslovljava izrazitu koncentraciju napona. Pored toga, neravnomerno hlađenje delova različitih dimenzija, pogoduje nastanku termički indukovanih napona, koji uslovljavaju loše vezivanje u metalu šava, deformacije i pojavu prslina, slika 19.
Primer kako se smanjuje sklonost ka pojavi prslina kod parovoda, kod kojih postoji nagla promena dimenzija usled konstruktivnog oblika delova, prikazan je na slici 20. Jedan od načina kojim može da se smanji veličina koeficijenta koncentracije napona, a time i sklonost ka obrazovanju prslina kod navedenih zavarenih spojeva, je brušenje i poliranje lica zavarenog spoja ili izrada odgovarajućih prelaza na specijalno izrađenim umetcima (štucnama).
- Ukoliko je zavarena konstrukcija tokom eksploatacije izložena dinamičkom opterećenju mora se obezbediti **da ne postoji nagla promena poprečnog preseka** u cilju maksimalnog smanjenja koncentracija napona, slika 21.

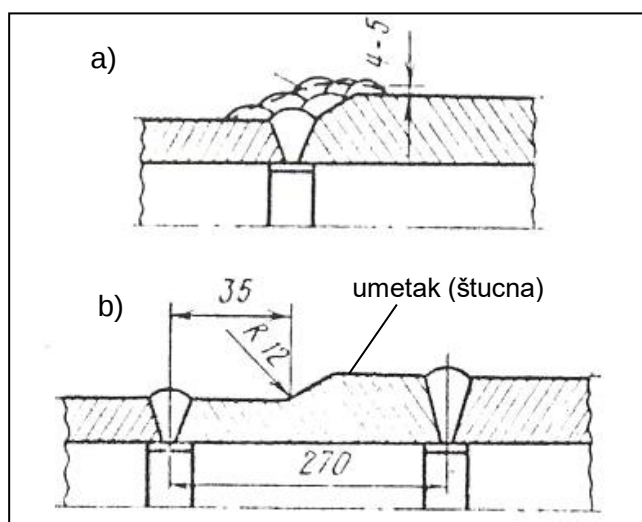
- Ukoliko je moguće, zavarene spojeve treba **razmestiti u delove zavarene konstrukcije koji su izloženi manjem naprezanju**. Treba izbegavati da se **zavareni spojevi nalaze preblizu jedan drugom**, kao i da se **ukršťaju šavovi**, čime se smanjuje koncentracije zaostalih napona u zavarenom spoju. Takođe, treba izbegavati **preveliko ukrućenje**, slika 22.

Primer jako ukrućenih zavarenih mašinskih elemenata predstavljaju Y i T račve i sučeono zavarenih spojeva parovoda koji se nalaze na mestima promene dimenzija cevi, slika 23. Kod ovako izvedenih spojeva, "skrivena" konstrukciona greška se može ispoljiti već posle relativno kratkog perioda eksploatacije i usloviti obrazovanje prslina na strani metala manje čvrstoće.

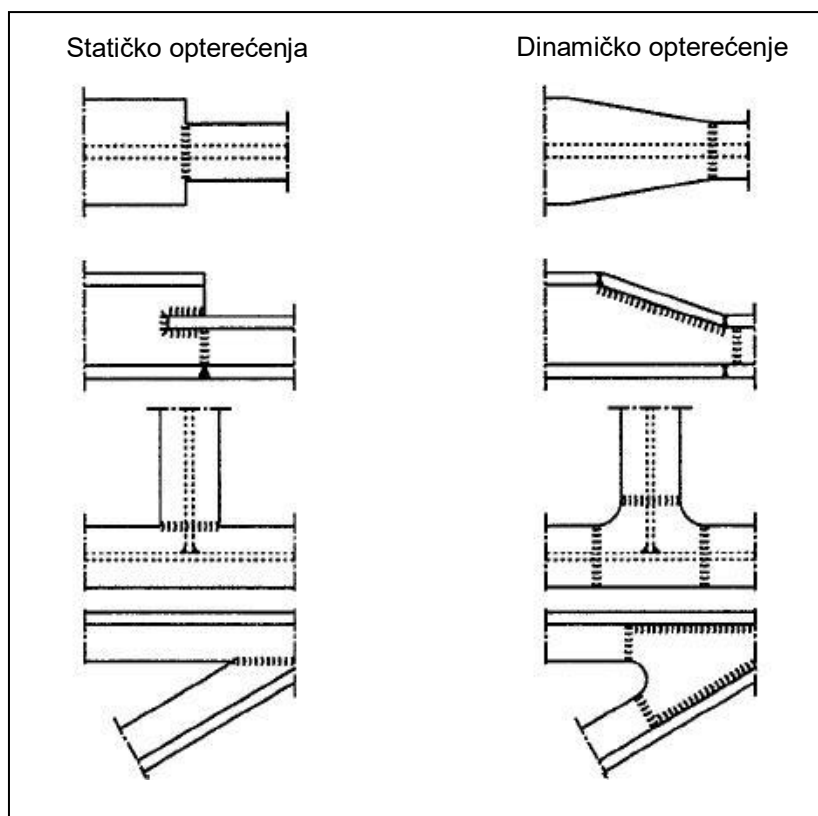
- **Veličina (debljina) šava ne treba da bude veća od minimalno potrebne** da bi se zadovoljila čvrstoća i sigurnost zavarenog spoja.
- Pri projektovanju zavarenih konstrukcija i oblikovanju detalja mora se **ograničiti broj montažnih zavarenih spojeva na minimum**.
- Oblikovanje detalja zavarene konstrukcije mora da obezbedi da se pri izradi **što više smanje deformacije i zaostali naponi od zavarivanja**.



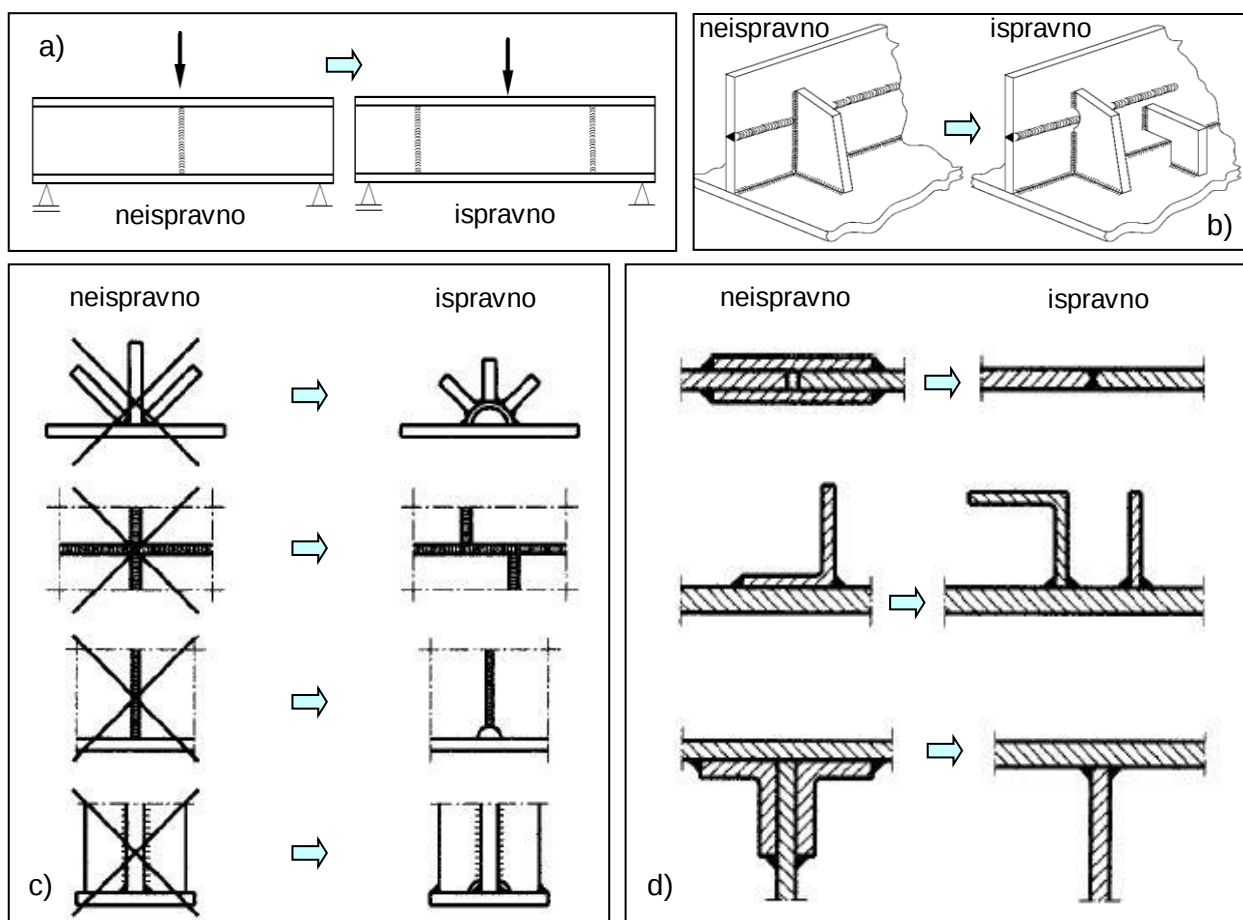
Slika 19. Loše konstruktivno rešenje, nepravilno oblikovanje – delovi različitih dimenzija



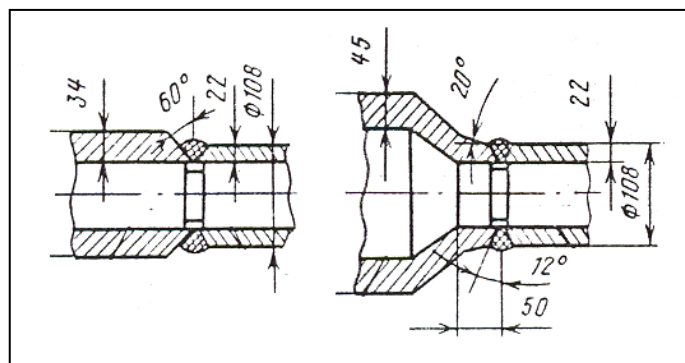
Slika 20. Modifikovano konstruktivno rešenje, pravilno oblikovanje – a) brušenje i poliranje lica šava, b) svođenje prečnika cevi primenom umetaka (štucni)



Slika 21. Loše konstruktivno rešenje, nepravilno oblikovanje – nagla promena poprečnog presaka

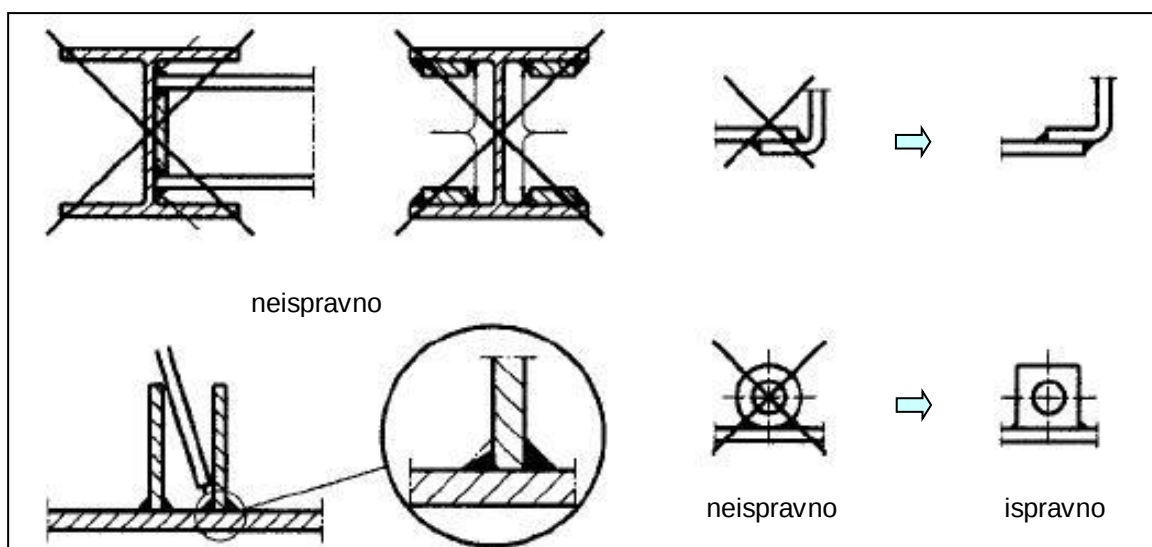


Slika 22. Loše konstruktivno rešenje, nepravilno oblikovanje – a) zavareni spoj u zoni visokog naprezanja, b) ukrštanje šavova, c) premali razmak između spojeva, d) preveliko ukrućenje



Slika 23. Loše konstruktivno rešenje, nepravilno oblikovanje – preveliko ukrućenje kod sučeonih spojeva cevi parovoda

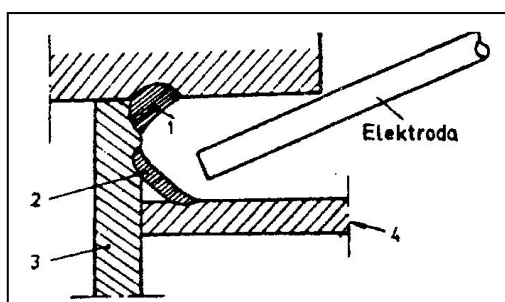
Zavarivanje u nepristupačnom i skučenom prostoru može biti uslovljeno različitim nepovoljnim konstruktivnim rešenjima, slika 24.



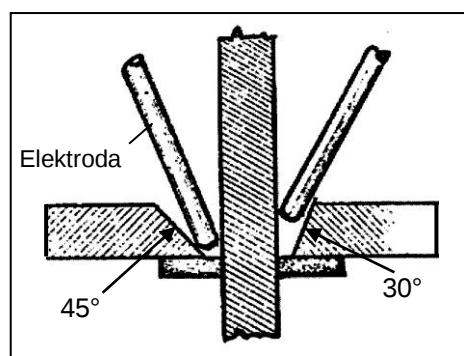
Slika 24. Loše konstruktivno rešenje, nepravilno oblikovanje - nepristupačno mesto zavarivanja

Na slici 25 je prikazan konkretan primer konstruktivnog propusta koji se odnosi na nepristupačnost pozicije na kojoj se izvodi zavarivanje. Dobro urađen spoj 1, izrađen je pre postavljanja ploče 4, dok spoj 2 predstavlja primer loše urađenog spoja jer je slobodan pristup elektrodi tokom zavarivanja bio ometen. Kao rezultat, nakon izrade, javlja se greška nedovoljno provarivanje korena. Generalno, treba izbegavati zavarivanje u prinudnim položajima, posebno nadglavni položaj i konstruktivno obezbediti zavarivanje u horizontalnom položaju.

Primer loše izabranog tipa žljeba, koji onemogućava kvalitetno izvođenje korenog zvara, prikazan je na slici 26. Ugao otvora žljeba od 45° (prikazan levo na slici) obezbeđuje uspešno izvođenje korenog zvara, dok premali ugao od 30° (prikazan desno na slici), onemogućuje prilaz elektrode i kvalitetno otapanje korena, ukoliko se ne poveća razmak u korenu žljeba.



Slika 25. Loše konstruktivno rešenje – primer zavarivanja u nepristupačnom prostoru



Slika 26. Loše konstruktivno rešenje – primer neodgovarajuće pripreme žljeba

3.2.1.2. Metalurške greške

Metalurške greške javljaju se kao posledica 1. metalurških, 2. termodinamičkih i 3. hidrodinamičkih fenomena koji prate procese:

- topljenja materijala,
- kristalizacije metala šava i
- hlađenja zavarenog spoja.

Metalurške greške predstavljaju različite tipove diskontinuiteta koji se mogu javiti u metalu šava, zoni uticaja toplote i osnovnom metalu, kao sledeće vrste (SRPS EN ISO 6520-1):

- prslina i mikroprrslina različitog tipa (diskontinuiteti koji imaju oštar vrh i veliki odnos dužine i širine) – 100,
- šupljine i poroznost u metalu šava – 200,
- uključci u metalu šava – 301 i
- segregacija u metalu šava (neravnomerna raspodela ili koncentracija nečistoća ili legirajućih elemenata nakon očvršćavanja šava).

Vrste i obim metalurških grešaka koji se javlja na pojedinim zavarenim konstrukcijama uslovljene su pre svega: korišćenim materijalima, primenjenim procesom zavarivanja, tipom izvedenog zavarenog spoja, pripremom žljeba, izborom načina izvođenja i parametara predgrevanja, naknadnom termičkom obradom i uslovima prilikom izvođenja zavarivanja.

Više reči o uzrocima nastajanja metalurških grešaka i pojedinim tipovima prslina, kao najčešćim i najopasnijim metalurškim greškama, biće reči u podpoglavlju koje se odnosi na vrste prslina.

3.2.1.3. Tehnološke greške

Tehnološke greške se javljaju kao posledica:

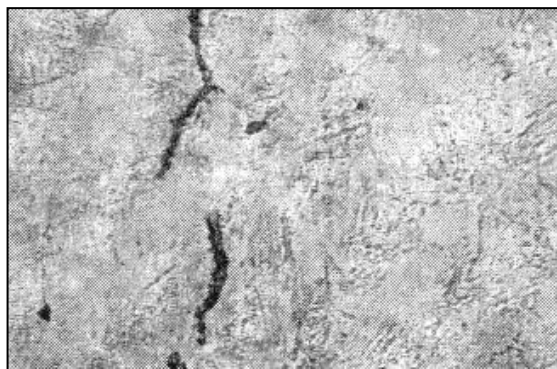
1. lošeg kvaliteta polaznog materijala; odstupanja od zahtevanog po standardu hemijskog sastava, strukture, mehaničkih osobina, količine uključaka, diskontinuiteta itd.,
2. neadekvatno sprovedenih pripremni radova (priprema spojeva, izrada žljeba, žljebljenje korena, podešavanje, pritezanje, pripajanje, temperatura predgrevanja, itd.),
3. loše propisane tehnologije zavarivanja,
4. nedovoljno precizno definisane specifikacija tehnologije zavarivanja,
5. zastarele i neažurirane tehnologija zavarivanja,
6. neadekvatnog sprovođenja propisane tehnologije zavarivanja (odstupanja u parametrima režima zavarivanja tokom izrade),
7. odstupanja u parametrima naknadne termičke obrade zavarenog spoja,
8. zavarivačkih grešaka i
9. nekompetentnog i nedovoljnog nadzora sprovođenja procesa zavarivanja (loša koordinacija u zavarivanju) i kvaliteta rada pojedinih zavarivača.

Greške koje su posledica tehnoloških propusta (tehnološke greške) najčešće uslovljavaju pojavu sledećih vrsta grešaka (SRPS EN ISO 6520-1):

- prsline i mikroprrsline različitog tipa – 100
- poroznost u metalu šava – 2012
- šupljine usled skupljanja – 202
- uključci troske i volframa u metalu šava – 301,
- uključci oksidni u metalu šava – 303,
- različiti tipovi grešaka oblika i mera – 500 i
- razbrizgavanje – 602.

Stepen razaranja, uslovljen prisustvom tehnoloških grešaka na zavarenim spojevima, sa tehno-ekonomskog aspekta, zavisi od komponente postrojenja kao i pozicije, funkcije i odgovornosti pojedinih zavarenih spojeva sa greškom. Tako, tehnološke greške koje nisu na vreme prepoznate, detektovane metodama ispitivanja bez razaranja i uklonjene pre početka eksploatacije mogu usloviti vrlo ozbiljne havarije na zavarenim konstrukcijama.

Posebno je važno istaći značaj tehnoloških grešaka koje su bile **posledica neodgovarajućeg kvaliteta polaznog materijala**, a pre svega se odnose na neodgovarajući hemijski sastav, neodgovarajuću mikrostrukturu i prisustvo nečistoća - nemetalnih uključaka u mikrostrukturi. Postojanje oblasti u ZUT-u, lokalno obogaćenih sa Mn (MnS uključcima) posebno je opasno kod toplotno postojanih čelika, jer ove "lokalne krte faze" uslovljavaju pojavu oštećenja (nakupine-mikroprrsline-makroprrsline), slika 27. Takođe, povišena količina nečistoća - segregacija u zoni uticaja toplote, uslovljava pad žilavosti i povećava sklonost materijala ka krtom razaranju.



Slika 27. Tehnološka greška – loš kvalitet polaznog materijala, Kolekcije nečistoća u metal šavu i po granicama zrna zone pregrevanja ZUT-a

Tehnološke greške iz kategorije grešaka zavarivanja, takođe, mogu, po konačnom ishodu, da se svrstaju u "opasne" greške, s tim što posebno treba ukazati na činjenicu da su to greške uvek složenog karaktera i sa nižim pragom aktiviranja, zbog čega je proistekla i opšte poznata konstatacija da zavareni spoj uvek predstavlja osetljivo mesto u konstrukciji.

Najčešće, tehnološke greške su posledica **loše propisane tehnologije zavarivanja**, a čest slučaj je u praksi, da se kvalitetno propisana tehnologija zavarivanja ne sprovodi u potpunosti pri zavarivanju konstrukcije. Da bi se osiguralo sprovođenje propisane tehnologije zavarivanja kod odgovornijih zavarenih konstrukcija potreban je nadzor (interni i/ili eksterni) i praćenje kako samog procesa zavarivanja, tako i kvaliteta rada pojedinih zavarivača i pogona.

Čest i vrlo značajan problem predstavlja i **nedovoljno precizno definisana Specifikacija Tehnologije Zavarivanja** (STZ, WPS). Uobičajena specifikacija tehnologije zavarivanja uglavnom pruža informacije o tome *šta je sve neophodno da zavarivač uradi da bi izradio zavareni spoj*. Međutim, bez dodatnih instrukcija unetih u specifikaciju zavarivač često nema dovoljno informacija *kako da izradi zavareni spoj koji će odgovarati zadatim zahtevima kvaliteta*. Što je više detalja navedeno u STZ veći su izgledi da će zavareni spoj biti izrađen bez grešaka.

Može se zaključiti da dobro izrađena STZ daje dovoljno informacija zavarivaču kako da izradi zavareni spoj. Na primer, u standardnoj STZ ne daje se podatak o preporučenom nagibu

pištolja kod TIG zavarivanja, koji je kritičan za obezbeđivanje kvalitetne zaštite tokom izvođenja zavarivanja ili o prečniku mlaznice kod MAG postupka.

Takođe, postoji značajna razlika u *optimalnim parametrima elektrolučnog zavarivanja* (struju, napon, brzina zavarivanja) za različite položaje zavarivanja, pa je i ove podatke neophodno dati kao dodatne instrukcije u specifikaciji tehnologije zavarivanja.

U slučaju da *naknadna termička obrada zavarenog spoja* odsustvuje, ili je pri njenom izvođenju došlo do izvesnog odstupanja od propisanih uslova, nastala povećana krtost metala pogoduje pojavi prslina u metalu šava i zoni uticaja toplote (ZUT) tokom eksploatacije, slika 28. Da bi se izbegla ova pojava, neophodno je strogo primenjivati propisane režime zavarivanja i termičke obrade i posebno kontrolisati brzine zagrevanja i hlađenja tokom oba procesa.



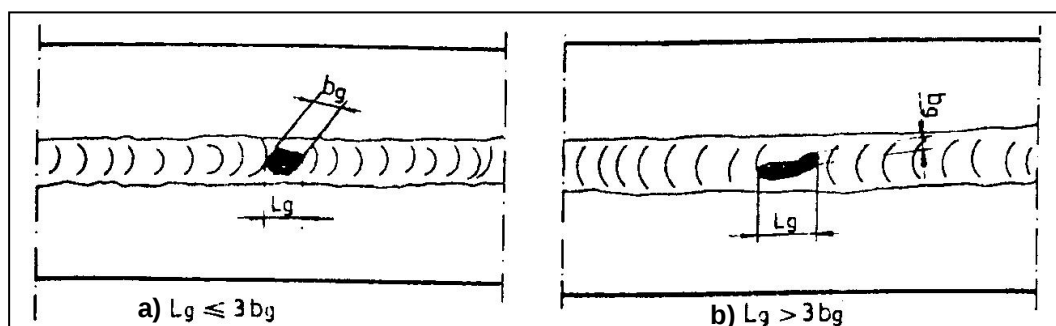
Slika 28. Tehnološka greška – nepropisno izvedena naknadna termička obrada, Prslina u zavarenom spoju Cr-Mo-V čelika zbog povećanja krtosti u zoni spajanja

Više detalja o uticaju tehnoloških grešaka za pojedine postupke zavarivanja, iz kategorije neodovarajuće pripreme, neadekvatnog izbora parametara zavarivanja, kao i nepropisne tehnike zavarivanja, na nastajanje različitih vrsta grešaka, prikazano je u poglavljima 3.3-3.4.

3.2.2. Klasifikacija grešaka prema obliku

Prema obliku, slika 29, greške zavarenih spojeva se dele na:

- kompaktne i izdužene,
- prostorne (zapreminske) i ravanske (može se zanemariti treća dimenzija greške) i
- oštre (zarezne) i zaobljene.



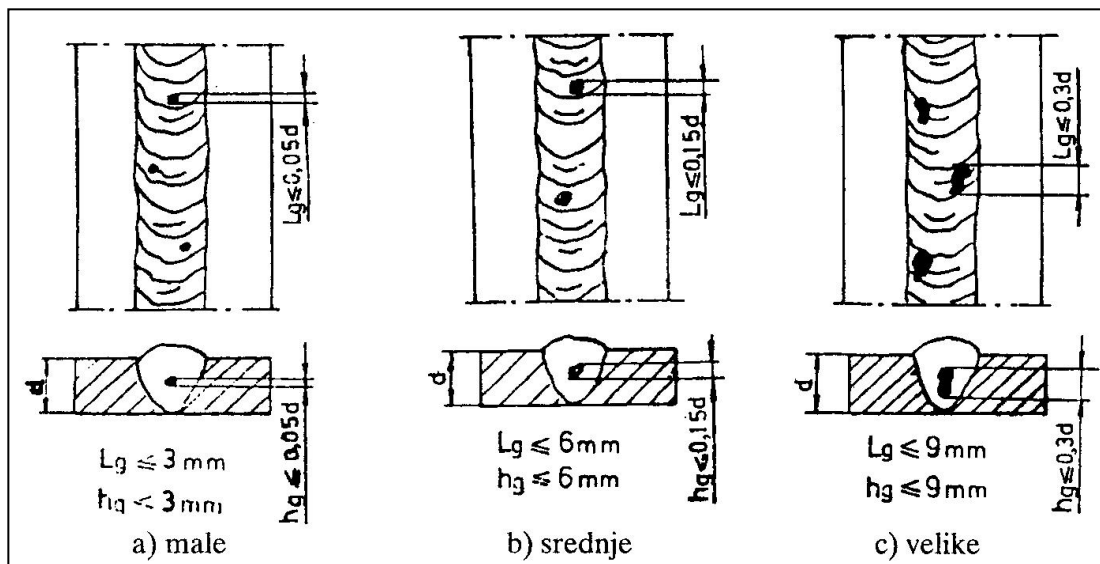
Slika 29. Klasifikacija grešaka prema obliku – a) kompaktne i b) izdužene prsline

Podela na oštre i zaobljene greške je posebno važna zbog uticaja koncentracije napona, koji je mnogo veći kod oštih grešaka. Prema tom kriterijumu, prslina su najopasnije greške a pravilni sferni mehurovi najmanje opasni.

3.2.3. Klasifikacija grešaka po veličini

Prema veličini, slika 30, greške zavarenih spojeva se dele na:

- male,
- srednje i
- velike.

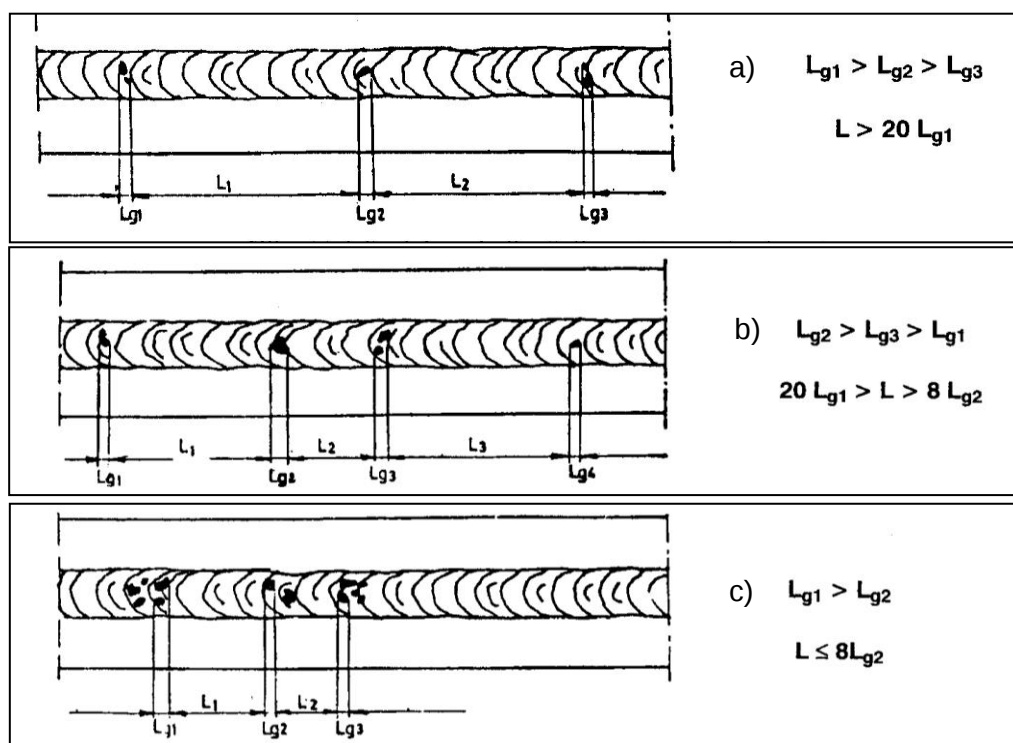


Slika 30. Klasifikacija grešaka po veličini – a) male, b) srednje i c) velike

3.2.4. Klasifikacija grešaka po brojnosti

Prema brojnosti, slika 31, greške zavarenih spojeva se dele na:

- pojedinačne,
- učestale i
- greške u gnezdim.

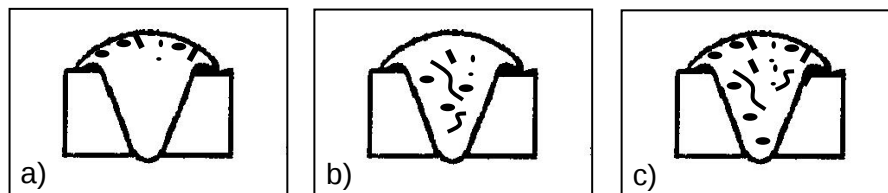


Slika 31. Klasifikacija grešaka po brojnosti –
a) pojedinačne, b) učestale i c) gnezda

3.2.5. Klasifikacija grešaka po položaju

Prema položaju, slika 32, greške zavarenih spojeva se dele na:

- spoljašnje – površinske i podpovršinske,
- unutrašnje i
- greške po celom preseku.



Slika 32. Klasifikacija grešaka po položaju –
a) spoljašnje (površinske i podpovršinske),
b) unutrašnje i c) greške po celom preseku

3.2.6. Klasifikacija grešaka po vrsti

Najdetaljnija klasifikacija grešaka zavarenih spojeva je po vrsti i u standardu SRPS EN ISO 6520 - Klasifikacija geometrijskih nepravilnosti (grešaka)", (deo 1 - zavarivanje topljenjem, deo 2 - zavarivanje pritiskom) i SRPS C.T3.020, tipovi grešaka su definisani opisom i skicom gde je to bilo neophodno.

Brojčani sistem označavanja utvrđuje naziv i klasifikaciju grešaka za zavarene spojeve izvedene topljenjem metala. Greške (nepravilnosti) su podeljene na šest vrsta i to:

1. Prsline (100)
2. Šupljine (200)
3. Uključci u čvrstom stanju (300)
4. Nedostatak stapanja i uvarivanja (400)
5. Greške oblika i mera (500)
6. Ostale nepravilnosti (600)

Prema standardu SRPS EN ISO 6520-1 u tabeli 4 je prikazana klasifikacija grešaka u zavarenim spojevima izvedenim topljenjem.

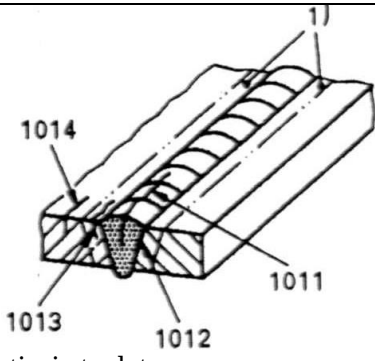
Kolona 1 - referentni broj glavne greške sa tri cifre i sa četvrtom cifrom dodatne oznake,

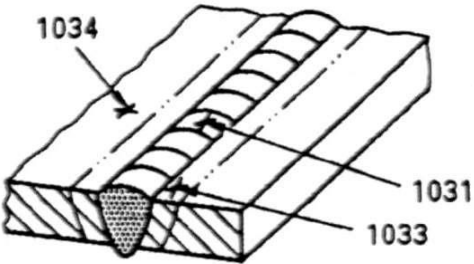
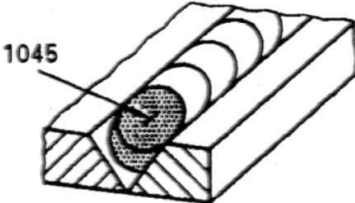
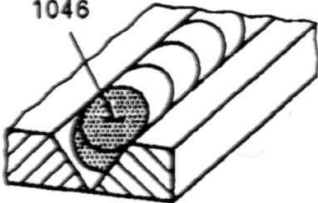
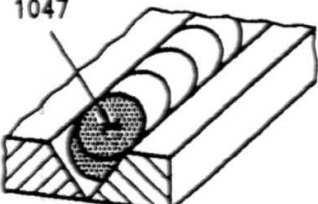
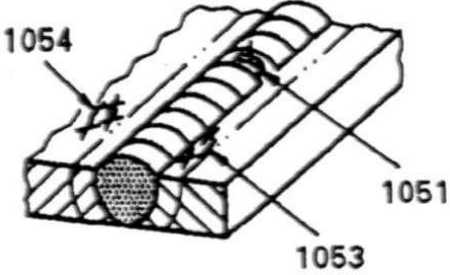
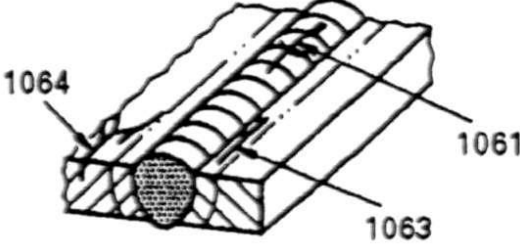
Kolona 2 - naziv i objašnjenje i

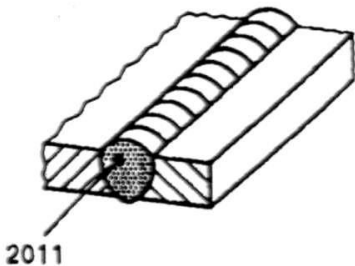
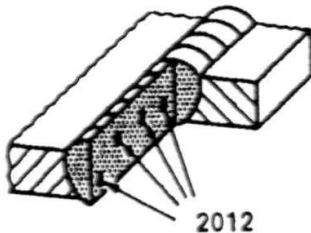
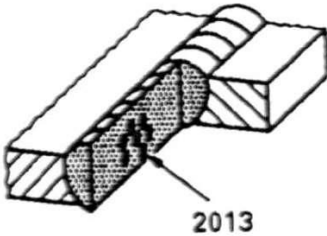
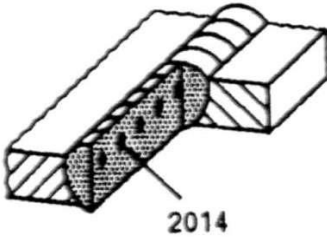
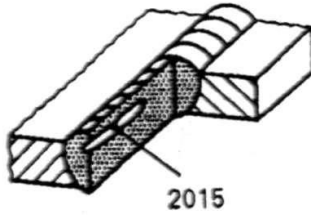
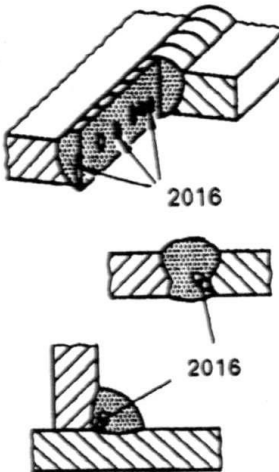
Kolona 3 - prikaz skicom (ilustracija) gde je potrebno.

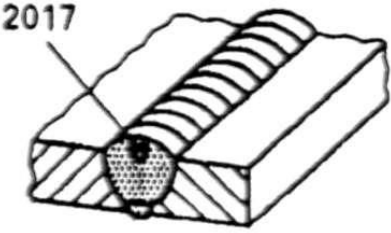
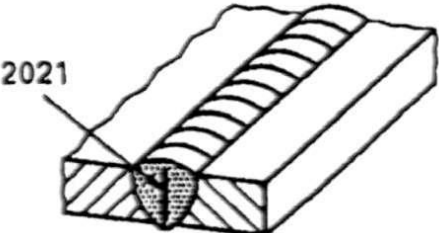
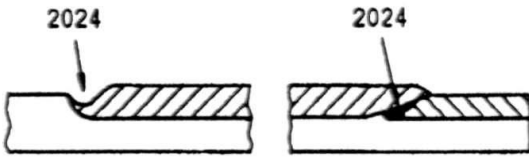
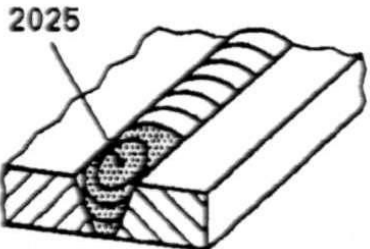
Prsline koje nastaju za vreme ili posle zavarivanja su navedene u aneksu A standarda i one su označene slovima, tabela 5. Kada je potrebna puna oznaka prsline, preporučuje se kombinacija broja iz klasifikacije u tabeli 4 i slova iz tabele 5.

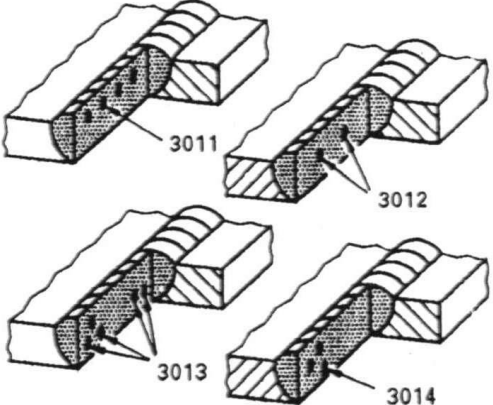
Tabela: 4: Klasifikacija geometrijskih nepravilnosti (grešaka) u metalnim materijalima – zavarivanje topljenjem (SRPS EN ISO 6520-1)

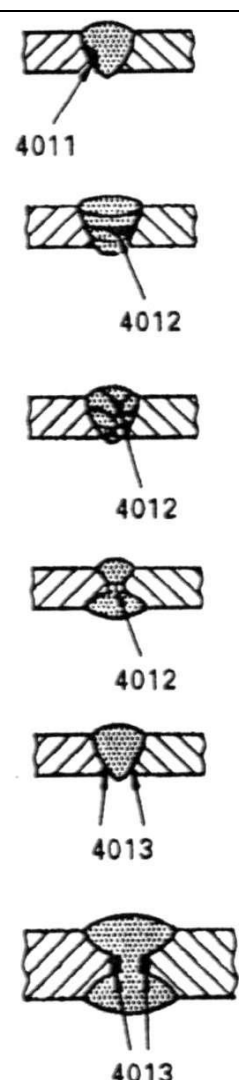
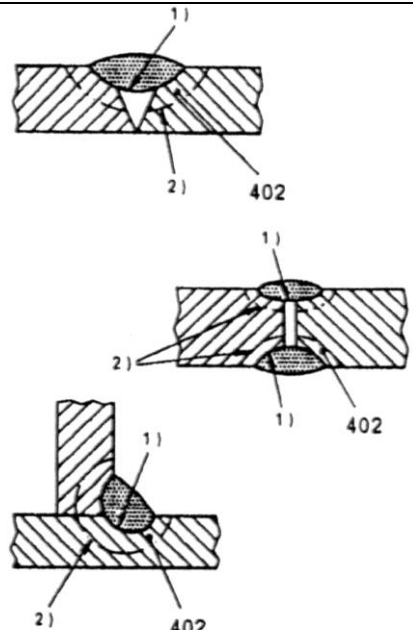
Ref. broj	Naziv i objašnjenje	Skica
Grupa br. 1. Prslina (100)		
100	Prslina: nesavršenost kao posledica lokalnog prekida u čvrstom stanju zbog uticaja hlađenja ili napona	
1001	Mikroprslina: prslina vidljiva samo mikroskopom.	
101 1011 1012 1013 1014	Podužna prslina: prslina uglavnom paralelna osi šava. Ona može da se nalazi u: - metalu šava - zoni stapanja - zoni uticaja toplote - osnovnom materijalu	 1) zona uticaja toplote
102 1021 1023 1024	Poprečna prslina: prslina uglavnom poprečna na osu šava. Ona može da se nalazi u: - metalu šava - zoni uticaja toplote - osnovnom materijalu	

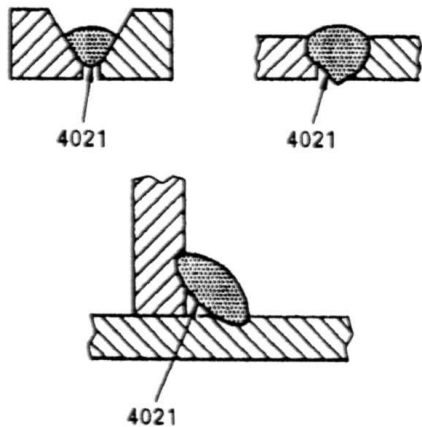
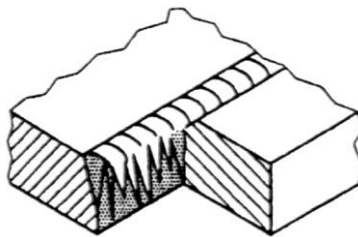
Grupa br. 1. Prsline (100) - nastavak		
103	Zrakaste prsline: prsline koje polaze iz iste tačke. One mogu biti u:	
1031	- metalu šava	
1033	- zoni uticaja toplote	
1034	- osnovnom materijalu napomena: Male prsline ovog tipa se zovu "zvezdaste" prsline.	
104	Prslina u krateru: prslina u krateru na kraju šava može biti:	  
1045	- podužna	
1046	- poprečna	
1047	- zrakasta (zvezdasta prslina)	
105	Grupa pojedinačnih prslina: grupa odvojenih prslina sa različitom orijentacijom. Mogu biti u:	
1051	- metalu šava	
1053	- zoni uticaja toplote	
1054	- osnovnom materijalu	
106	Razgranate prsline: grupa povezanih prslina koje polaze iz zajedničke prsline, a razlikuju se od grupe pojedinačnih prslina (105) i od zrakastih prslina (103). One mogu biti u:	
1061	- metalu šava	
1063	- zoni uticaja toplote	
1064	- osnovnom materijalu	

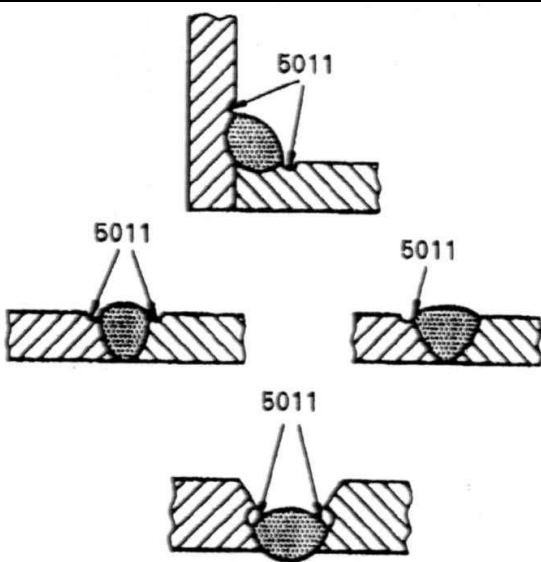
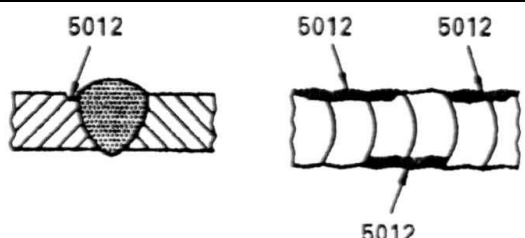
Grupa br. 2. Šupljine (200)		
200	Šupljine	
201	Gasna šupljina: šupljina od zarobljenog gasa.	
2011	Gasna pora: Šupljina obrazovana zarobljavanjem gasa.	
2012	Jednoliko raspoređena poroznost: gasne pore koje su jednoliko raspoređene u metalu šava. Treba ih razlikovati od linijske poroznosti (2014) i gnezda poroznosti (2013).	
2013	Gnezdo (lokalizovano) poroznosti: grupa gasnih pora slučajne geometrijske raspodele.	
2014	Linijska poroznost: gasni mehurovi raspoređeni duž linije koja je paralelna sa osom šava.	
2015	Izdužena šupljina: Velika šupljina ne sfernog oblika sa najvećom dimenzijom približno paralelnom osi šava.	
2016	Crvolika šupljina: cevasta šupljina u materijalu šava, nastala kao rezultat oslobađanja gasa. Oblik i položaj crvolikih šupljina određeni su načinom očvršćavanja i poreklom gasa. Uglavnom su raspoređeni u obliku riblje kosti. Neke crvolike šupljine se mogu pojaviti na površini šava.	

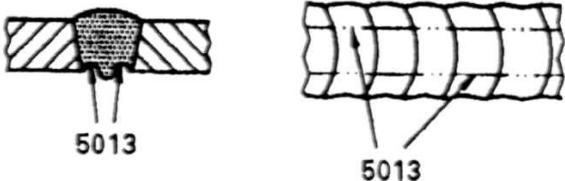
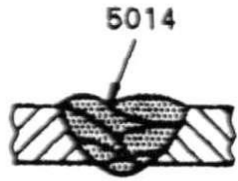
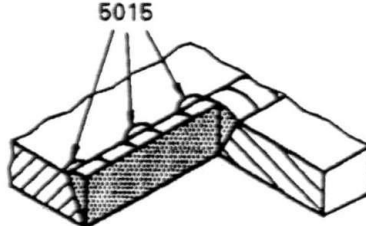
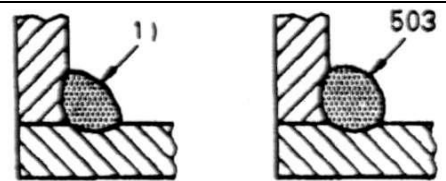
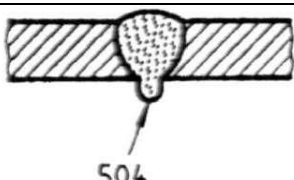
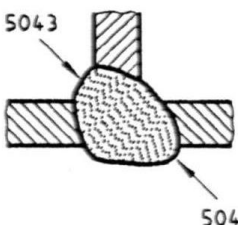
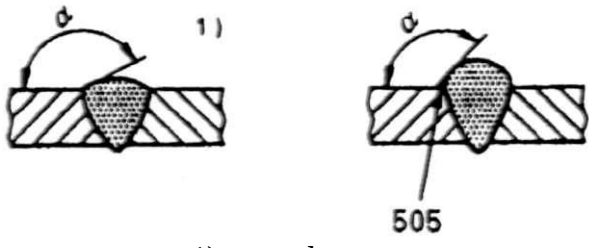
Grupa br. 2. Šupljine (200) - nastavak		
2017	Površinska pora: pora koja izlazi na površinu šava.	
202	Šupljina usled skupljanja: šupljine nastale kao posledica skupljanja pri očvršćavanju.	
2021	Međudendritno skupljanje: šupljine izduženog oblika koja se stvara između dendrita tokom hlađenja i u kojoj je zarobljen gas. Takva nepravilnost je uglavnom upravna na lice šava.	
2024	Šupljina usled skupljanja u krateru: šupljina (ulegnuće) na mestu nastanka zavora koja nije eliminisana pre ili u toku izvođenja sledećeg zavora.	
*2025	Kraj šupljine u krateru: otvoren krater koji smanjuje poprečni presek zavarenog spoja.	
*203	Mikroskupljanje: šupljina nastala usled skupljanja, vidljiva samo pod mikroskopom.	
*2031	Međudendritsko mikroskupljanje: izdužena šupljina nastala usled skupljanja, formirana između dendrita tokom hlađenja između granica zrna.	
*2032	Transkristalno mikroskupljanje: izdužena šupljina nastala usled skupljanja preko zrna tokom očvršćavanja.	

Grupa br. 3. Uključci u čvrstom stanju (300)		
300	Uključci u čvrstom stanju: strano telo u čvrstom stanju zarobljeno u metalu šava.	
301	Uključak troske: troska zarobljena u metalu šava. Prema uslovima njihovog nastajanja, ovi uključci mogu biti:	
3011	- linijski	
3012	- pojedinačni	
*3014	- u gnezdu	
302	Uključak praha: prah zarobljen u metalu šava. Prema uslovima njihovog nastajanja, ovi uključci mogu biti:	Vidi 3011 – 3014
3021	- linijski	
3022	- pojedinačni	
*3024	- u gnezdu	
303	Uključak oksida: metalni oksid zarobljen u metalu šava tokom očvršćavanja. Takvi uključci mogu biti:	Vidi 3011 – 3014
*3031	- linijski	
*3032	- pojedinačni	
*3033	- u gnezdu	
3034	Oksidni film: u nekim slučajevima, naročito kod legura aluminijuma, oksidna skrama može se javiti zbog kombinacije nedovoljne zaštite od atmosfere i turbulencije u zavarivačkom kupatilu.	
304	Metalni uključak: čestica stranog metala zarobljenog u metalu šava. Oni mogu biti od:	Vidi 3011 – 3014
3041	- volframa	
3042	- bakra	
3043	- drugih metala	

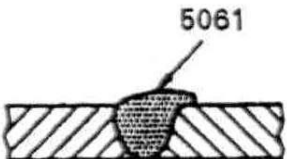
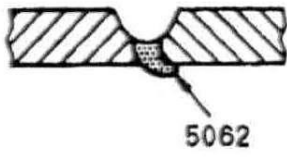
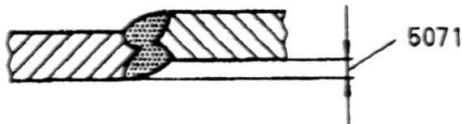
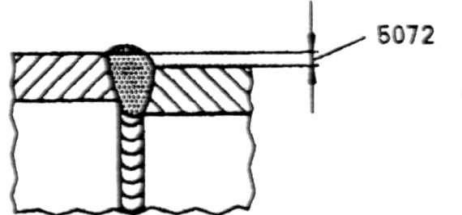
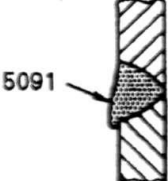
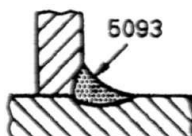
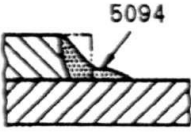
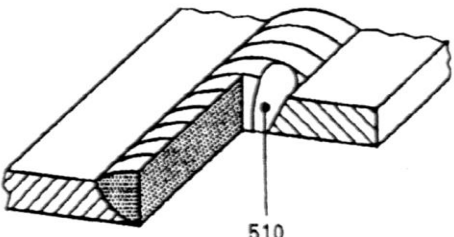
Grupa br. 4. Nedostatak stapanja i uvarivanja (400)		
400	Nedostatak stapanja i uvarivanja	
401 4011 4012 4013	Nedostatak stapanja (nepotpuno stapanje): nepostojanje veza između metala šava i osnovnog materijala ili između dva susedna sloja metala šava. To može biti jedan od sledećih slučajeva: - nedostatak stapanja na bočnim stranicama - nedostatak stapanja između slojeva - nedostatak stapanja u korenu	
402	Nedostatak uvarivanja (nepotpuno uvarivanje): razlika između ostvarenog i nazivnog provara.	 1) ostvareni provar; 2) nazivni provar

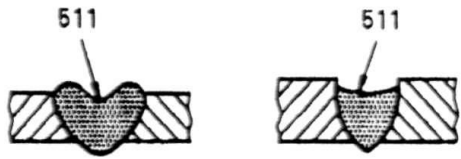
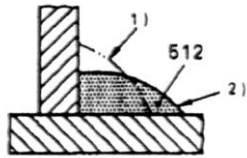
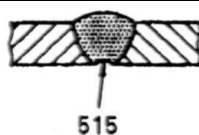
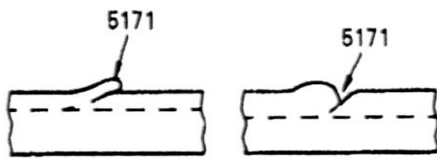
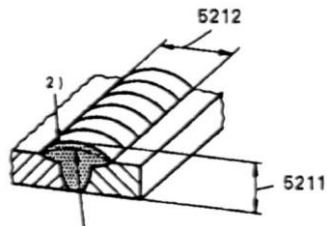
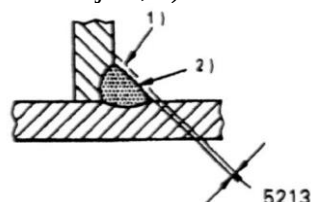
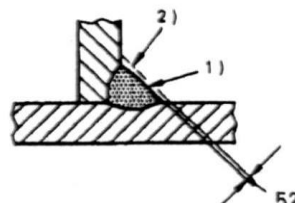
Grupa br. 4. Nedostatak stapanja i uvarivanja (400) - nastavak		
*4021	Nedovoljno provarivanje korena: jedna ili dve strane korena stopljene.	
*403	Spajkovi (iglice): izuzetno neravnomerno provarivanje testerastog oblika, koje se javlja pri zavarivanju elektronskim snopom i laserom. Oni mogu da sadrže šupljine, prsline, skupljanje, itd.	

Grupa br. 5. Greške oblika i mera (500)		
500	Greške oblika: greška oblika spoljašnje površine šava ili nepravilna geometriji spoja.	
*501	Zajed: nepravilna brazda (žljeb) na liniji stapanja u osnovnom materijalu ili prethodno nanetom zavaru.	
5011	Neprekidni zajed: zajed velke dužine bez prekida.	
5012	Naizmenični zajed: mestimični kratki zajedi koji se javljaju naizmenično (sa jedne pa sa druge strane) duz ivice žljeba.	

Grupa br. 5. Greške oblika i mera (500) - nastavak		
5013	Brazda u korenu: zajed vidljiv sa obe strane korena.	
*5014	Međuprolazni zajed: zajed u podužnom smeru između dva zavora.	
*5015	Lokalni naizmenični zajed: kratki zajed, nepopunjen prostor, sa strane ili na površini šava.	
502	Preveliko nadvišenje: višak metala na licu sučeonog zavarenog spoja.	 1) normalno
503	Prevelika ispupčenost: višak metala na licu ugaonog zavarenog spoja.	 1) normalno
504	Preveliki provar: višak metala šava koji štrči kroz koren šava. On može biti:	
5041	- mestimični višak provarivanja (prokapina)	
*5042	- neprekidan višak provara	
*5043	- nagomilavanje istopljene mase	
505	Neodgovarajući prelaz: suviše mali ugao (α) između ravni površine osnovnog materijala i tangencijalne ravni na površinu šava na ivici šava.	 1) normalno

Grupa br. 5. Greške oblika i mera (500) - nastavak

506	Prelivanje: višak nanetog dodatnog materijala koji se razliva po površini osnovnog materijala bez spajanja sa njim. Može biti:	
*5061	Prelivanje lica šava: preklop ivica šava na ivici šava.	
*5062	Prelivanje u korenu: koreni preklop na ivici korenog zavora.	
507	Smaknuće: nesaosnost dva zavarena dela takva da i ako su ravni njihovih površina paralelne one nisu u istoj zahtevanoj paralelnoj ravni. Može biti:	
*5071	Linijsko smaknuće između limova: elementi su limovi.	
*5072	Linijsko smaknuće između cevi: elementi su cevi.	
508	Odstupanje od pravca: nesaosnost dva zavarena elementa, takva da ravni njihovih površina nisu paralelne ili pod nekim uglom.	
509	Utonulost: metal šava se sliva zbog uticaja sile gravitacije. Može biti:	   
5091	- utonulost horizontalnog šava u vertikalnoj ravni	
5092	- utonulost položnog i nadglavno izvedenog šava	
5093	- utonulost ugaonog šava	
5094	- utonulost (istopljenje) na konturi šava	
510	Progorevanje: isticanje rastopa zavora što prouzrokuje rupu u šavu.	

Grupa br. 5. Greške oblika i mera (500) - nastavak		
511	Nepopunjenost žljeba: podužni lokalni ili kontinualni kanal na licu šava nastao usled nedovoljne količine nanetog dodatnog materijala.	
512	Prekomerna asimetričnost ugaonog spoja	 1) nazivni oblik; 2) stvarni oblik
513	Nepravilna širina: prekomerna promena širine šava.	
514	Nepravilna površina: prekomerna neravnost (hrapavost, narebrenost) površine lica šava.	
515	Udubljen koren: smanjena debljina u korenu usled skupljanja materijala šava (vidi i 5013).	
516	Poroznost u korenu: stvaranje suđerastog korena šava usled penušanja metala šava u trenutku očvršćavanja.	
517	Loš nastavak: mestimična neravnomernost površine na mestu nastavka šava, može se javiti:	
*5171	- u završnom zavaru	
*5172	- u korenom zavaru	
*520	Prekomerno krivljenje: odstupanje od mera zbog skupljanja i krivljenja šava.	
*521	Netačne mere šava: odstupanje od propisanih dimenzija šava.	
*5211	Prevelika debljina šava: debljina šava je prevelika.	
*5212	Prevelika širina šava: širina šava je prevelika.	 1) nazivna debljina; 2) stvarna debljina
*5213	Nedovoljna debljina ugaonog šava: stvarna debljina ugaonog spoja je suviše mala.	
*5214	Prevelika debljina vrata: stvarna debljina ugaonog spoja je prevelika.	

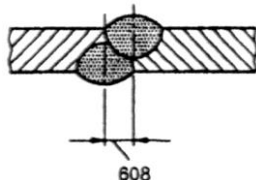
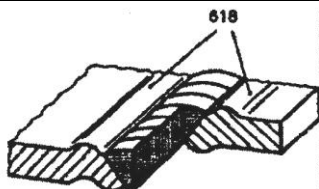
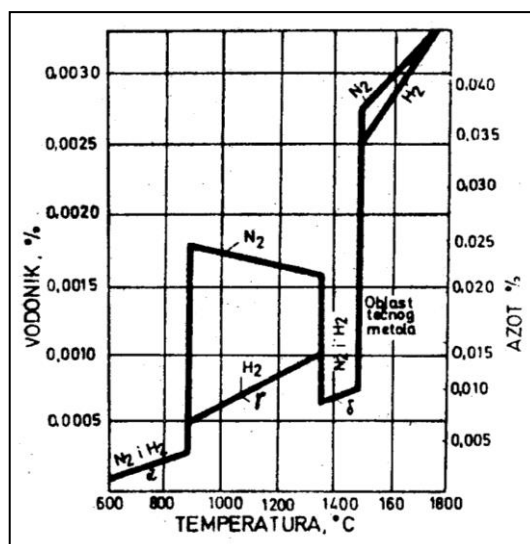
Grupa br. 6. Ostale nepravilnosti (600)		
600	Ostale nepravilnosti: sve nepravilnosti koje ne mogu da se svrstaju u grupe 1 do 5.	
601	Trag uspostavljanja el. luka: mestimično oštećenje površine osnovnog metala blizu šava zbog paljenja luka ili udara luka izvan žljeba šava.	
602	Razbrizgavanje: raspršene kapljice metala šava ili dodatnog metala razbrizgane tokom zavarivanja i prijanjaju na površinu osnovnog materijala ili na već očvrstnut metal šava.	
6021	Razbrizgavanje volframa: čestice volframa prenete sa elektrode na površinu osnovnog materijala ili očvrstnutog metala šava.	
603	Mestimično čupanje metala: oštećena površina zbog uklanjanja lomom privremeno zavarenih alata.	
604	Trag brušenja: mestimično oštećenje usled neodgovarajuće izvedenog brušenja.	
605	Trag sekača: mestimično oštećenje usled upotrebe sekača ili drugih alata.	
606	Preterano brušenje: smanjena debljina radnog komada zbog preteranog brušenja.	
*607 *6071 *6072	Nepравilnost pripoja: nepravilnost nastala zbog lošeg zavarivanja pripoja, kao što su - pucanje pripoja ili nedostatak uvarivanja - defektni pripoj je ponovo zavaren	
*608	Nepodudarnost suprotnih zavara: razlika između geometrijskih osa dva zavora urađenih sa suprotnih strana zavarenog spoja.	
*610	Obojenost usled uticaja toplote (oksidni film): blago oksidovana površina u zoni šava, npr. na nerđajućim čelicima.	
*613	Kovarina: jako oksidovana površina u zoni šava.	
*614	Ostaci topitelja: ostaci topitelja nisu dovoljno uklonjeni sa površine lica šava.	
*615	Ostaci troske: troska nije dovoljno očišćena sa lica šava.	
617	Netačan zazor korena za ugaone šavove: prekomeran ili nedovoljan zazor između delova koji će biti spojeni.	
618	Nabranost: nepravilnost zbog pregrevanja uvarenih spojeva legura lakih metala kao rezultat produženog vremena držanja u fazi očvršćavanja.	

Tabela: 5: Oznake prslina (SRPS EN ISO 6520-1, aneks A)

Oznaka	Opis i objašnjenje
E	Prslina u zavarenom spoju - prsline koja se javljaju tokom ili posle zavarivanja
Ea	- tople prsline
Eb	- kristalizacijske prsline
Ec	- likvacijske prsline
Ed	- prsline zbog taloženja
Ee	- prsline izazvane starenjem
Ef	- hladne prsline
Eg	- krte prsline (nedostatak duktilnosti)
Eh	- prsline skupljanja
Ei	- vodonične prsline
Ej	- lamelarni lom
Ek	- prsline u podnožju
El	- prsline izazvane starenjem (prsline difuzijom azota)

3.3. Grupa br. 2 - Šupljine

Ova vrsta grešaka zavarenog spoja podrazumeva prisustvo šupljina ispunjenih gasom (gasnih mehurova) u metalu šava. Često se kao sinonim za šupljinu koristi termin **poroznost**. Šupljine sa zarobljenim gasom u njima nastaju u fazi očvršćavanja metala šava. Tokom procesa očvršćavanja rastopljenog metala šava, gasovi, koji su rastvoreni u metalu, se oslobađaju iz metala šava u atmosferu, pošto se njihova rastvorljivost menja (opada) sa sniženjem temperature, slika 33.



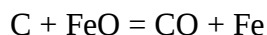
Slika 33. Dijagram rastvorljivosti vodonika i azota u rastopljenom železu u zavisnosti od temperature

Pri smanjenju temperature, počev od temperature topljenja, rastvorljivost gasova se smanjuje, a mehurići gasa postepeno izlaze na površinu. Pri većim brzinama hlađenja mehurovi gasa ne stignu da isplivaju na površinu i da odu u atmosferu, već ostaju zarobljeni u različitim zonama metala šava.

Najčešći **uzroci nastajanja šupljina** mogu se podeliti u **tri grupe**:

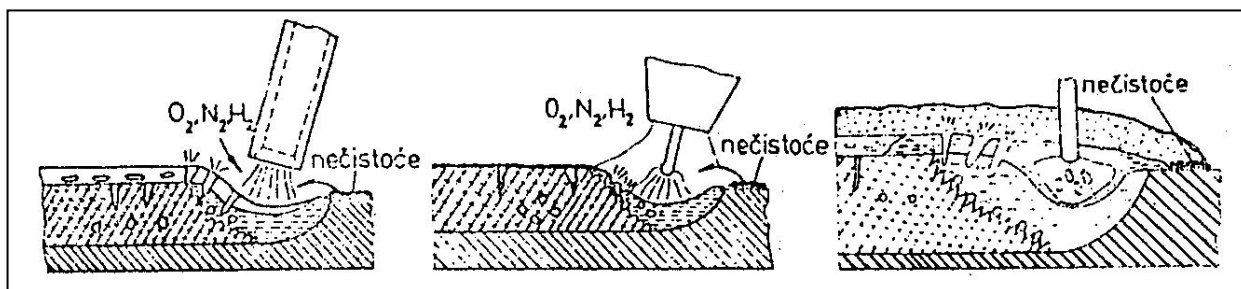
- 1) nečist i neumiren osnovni materijal,
- 2) nečistoće na mestu zavarivanja: osnovnog materijala (vlaga, masnoća, prisustvo premaza i oksida na površini), dodatnog materijala (vlaga, masnoća, premazi) i pomoćnog materijala (vlaga, nečistoće) za zavarivanje i
- 3) slaba zaštita metalnog kupatila tokom procesa zavarivanja usled neodgovarajuće tehnike rada, odnosno neodgovarajućih parametara zavarivanja (dug električni luk, prejaka struja zavarivanja, nepravilan nagib i loše vođenje električnog luka, prebrzo hlađenje).

Stvaranje šupljina izazvano uzrocima iz **prve grupe**, vezano je najčešće za pojavu **ugljenmonoksida (CO)** pri zavarivanju osnovnih materijala koji ne sadrže potrebnu količinu dezoksidanta (Si i Mn). Ugljen monoksid nastaje pri odvijanju sledeće hemijske reakcije:



Ako se za vreme zavarivanja postigne umireni sastav metala šava ($\text{Si} \geq 0,3\%$) u njemu ne dolazi do stvaranja gasnih mehurova ugljen monoksida, usled jakog dezoksidirajućeg dejstva silicijuma na temperaturi kristalizacije. Vezujući kiseonik koji je rastvoren u čeliku ili koji je dospeo u zonu zavarivanja iz vazduha, silicijum sprečava oksidaciju ugljenika. Gasni mehurovi se ređe javljaju pri zavarivanju sa baznim elektrodama, zbog veće količine dezoksidanata (Si i Mn) koje one sadrže.

Šupljine nastale usled delovanja **druge grupe** uzročnika su najčešće posledica **prisustva vodonika u metalu šava**. Najčešći uzrok pojave vodonika u metalu šava je vlaga (vlažna obloga ili prašak, neprečišćen zaštitni gas, vlažne stranice žljeba ili vlaga iz okoline). Uzrok stvaranja gasnih mehurova mogu biti i razni zaštitni premazi osnovnog materijala. Kombinacija atmosferske korozije i premaza na površini metala i vlage može biti uzrok onečišćenja vodonikom rastopljenog metalnog kupatila tokom zavarivanja a time i pojave šupljina, slika 34.



Slika 34. Nastajanje šupljina u metalu šava usled nečistoća

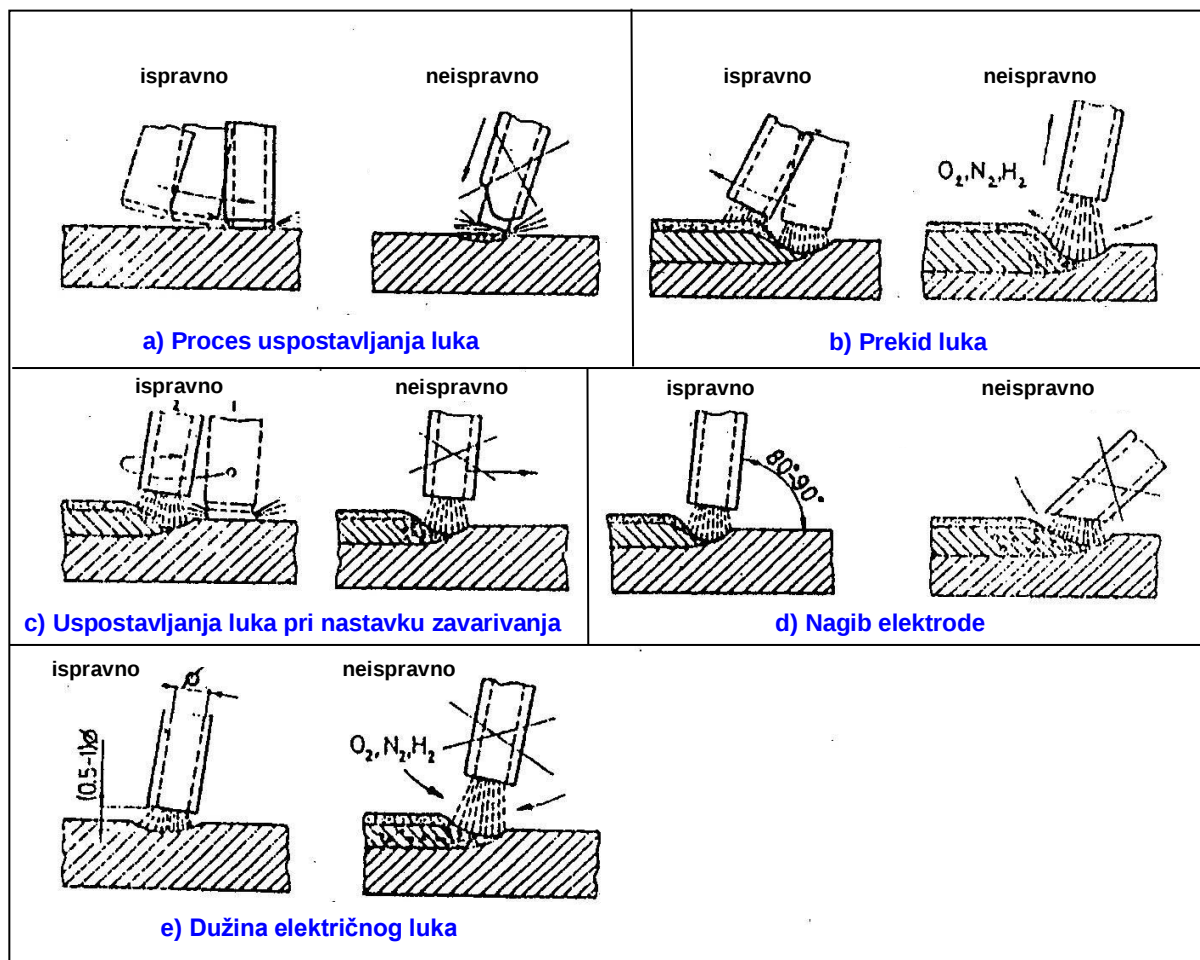
Da bi se smanjila opasnost od zasićenja metalnog kupatila vodonikom preporučuje se da se pre zavarivanja elektrode i prah suše na $300-350^{\circ}\text{C}$ u toku nekoliko časova.

Količina vodonika u metalu šava se izražava u ml na 100 g rastopljeno metala. U zavisnosti od tehnologije zavarivanja ova količina se kreće u granicama od 1-30 ml/100g. Rastvorljivost i raspodela vodonika u metalu šava zavise od koncentracije i tipa uključaka, mikrošupljina, dislokacija, makropora i brzine hlađenja. Vodonik u rastopljenom metalnom kupatilu je uglavnom u atomarnom obliku i prilikom hlađenja odlazi u atmosferu. Međutim, u procesu hlađenja, kada temperatura padne ispod 200°C vodonik koji je razmešten na slobodnim površinama (tzv. ponorima vodonika) kao što su granice zrna, uključci i nečistoće, iz atomarnog oblika prelazi u stabilniji molekularan-gasovit oblik. U ovom obliku vodonik ispoljava svoje štetno dejstvo, on ne može da difunduje kroz metal, tako da u metalu šava nastaju gasne šupljine ispunjene molekulima vodonika. Pored toga, u zavisnosti od parcijalnog pritiska gasovitog vodonika u šupljinama, koji može dostići vrlo visoku vrednost, nakon hlađenja se stvaraju uslovi za pojavu mnogo opasnijih hladnih prslina, iz kategorije vodoničnih.

Šupljine koje se najčešće javljaju kao poroznost, nastala usled delovanja **treće grupe** uzročnika, su najčešće posledica **nedovoljne zaštite metalnog kupatila**, čime je omogućen pristup štetnih gasova iz okoline za vreme zavarivanja. Najčešći uzrok pojave gasnih mehurova usled slabe zaštite metalnog kupatila je **prisustvo azota**.

Kod ručnog elektrolučnog zavarivanja obloženom elektrodom (E - postupak) uzrok neadekvatne zaštite kupatila može biti, slika 35:

- proces uspostavljanja luka,
- prekid električnog luka,
- uspostavljanje električnog luka pri nastavljaju zavarivanja,
- nagib elektrode i
- dužina električnog luka.



Slika 35. Nastajanje šupljina u metalu šava usled nepravilne tehnike izvođenja E - postupka

Nepravilno držanje elektrode (preveliki nagib) kod MIG/MAG postupka zavarivanja, takođe može dovesti do pojave gasnih mehurova usled uvlačenja gasova iz atmosfere. Nedovoljan protok zaštitnog gasa pri izvođenju MIG/MAG i TIG postupka slabi zaštitu metalnog kupatila i dovodi do pojave šupljina.

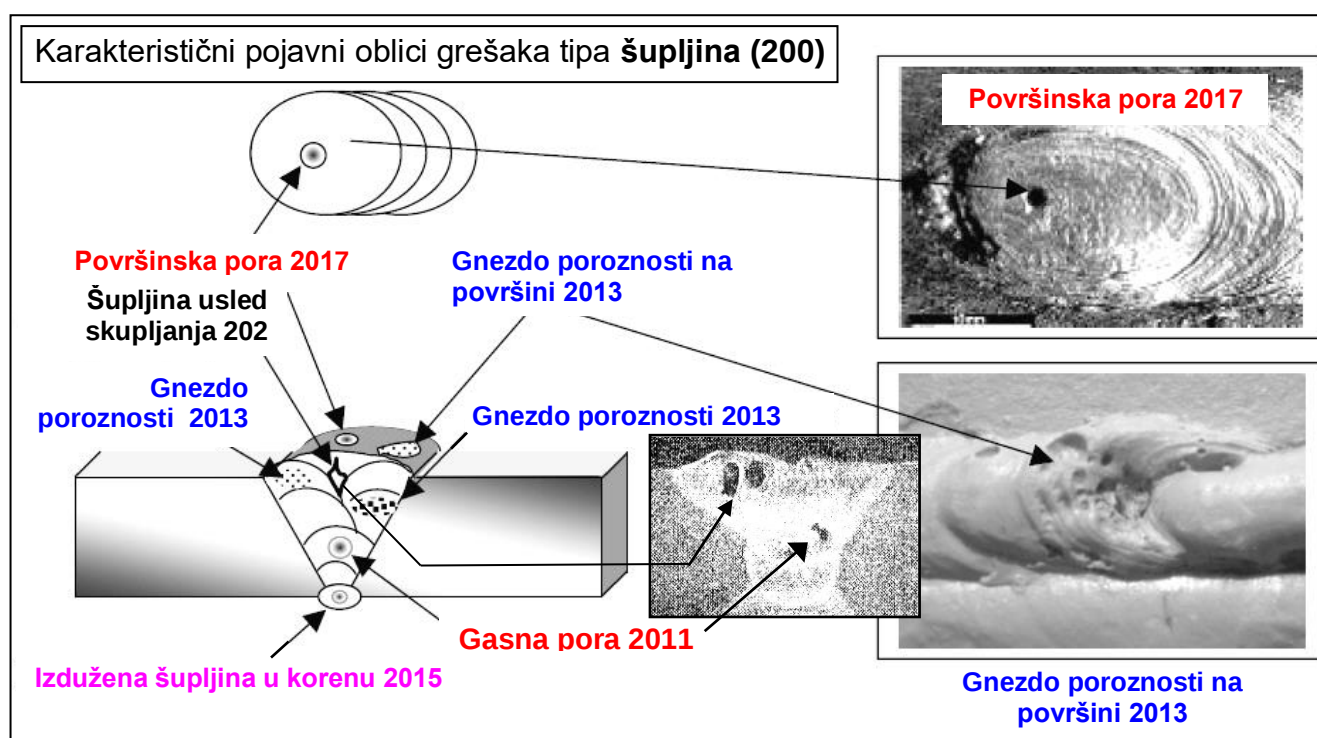
Nasuprot tome, prevelika količina zaštitnog gasa prouzrokuje prejako strujanje i vrtloženje gasa, što ima za posledicu usisavanje štetnih gasova iz atmosfere. Sličan efekat ima i nečista mlaznica gorionika, jer metalne kapljice nalepljene na unutrašnjoj strani mlaznice izazivaju nepoželjno vrtloženje zaštitnog gasa.

Osim vrste gasa (helijum – potreban veći protok, argon – potreban manji protok i mešavine – za veće debljine), koji se koristi kod TIG postupka, na efikasnost zaštite i kvalitet zavarenog spoja ima veliki uticaj i oblik mlaznice (konusna, cilindrična i profilisana – najbolja zaštita).

3.3.1. Karakteristični pojavni oblici grešaka tipa šupljina

Šupljine i gasne pore mogu biti okruglog, izduženog (izdužena šupljina, crvuljasta šupljina) ili složenog oblika, slika 36. Obično su raspoređenje po osi zavarenog spoja ili upravno na osu, a ređe u fuzionoj zoni. Pojavljuju se u skupinama (grozdovima) ili nizovima, vrlo često na početku i na kraju zavora ili rastresito duž celog zavora. Šupljine se retko pojavljuju pojedinačno, i u tom slučaju su po pravilu velikih dimenzija.

Po veličini šupljine mogu biti vrlo male (mikrošupljine – poroznost), pa sve do šupljina prečnika nekoliko milimetara. Šupljine se pojavljuju i na licu šava (površinska pora i gnezdo poroznosti na površini) i u korenu šava (izdužena šupljina u korenu). Šupljine u šavu nastaju i kao posledica skupljanja metala šava tokom očvršćavanja (šupljine usled skupljanja) i mogu biti u metalu šava, ali mogu izaći i na površinu u vidu šupljine ili prsline.



Slika 36. Karakteristični pojavni oblici grešaka tipa šupljina (200)

- **Gasne pore (2011)** velikih dimenzija ($>1,5\text{mm}$) u metalu šava i **površinske pore (2017)** mogu nastati prilikom zavarivanja MIG i TIG postupkom ukoliko nastane kratkotrajni prekid u protoku zaštitnog gasa.
- **Površinske pore (2017)** nastaju na mestu gde se prekida zavarivanje.
- **Gnezdo (lokalizovano) poroznosti (2013)** u metalu šava i na površini karakteristično se javlja kod MIG i TIG postupka u slučaju nedovoljne zaštite usled neodgovarajućeg protoka zaštitnog gasa. Poroznost se javlja i u slučaju prisustva nečistoće na mestu zavarivanja ili prilikom korišćenja vlažnih elektroda.
- **Šupljina usled skupljanja (202)** nastaje prilikom očvršćavanja uskih i duboko uvarenih šavova izrađenih MIG i MAG postupkom. Javljaju se usled napona izazvanih skupljanjem metala šava tokom procesa očvršćavanja.
- **Izdužena šupljina (2015)** predstavlja grešku koja nastaje prilikom korenog zavora i čiji uzroci nastajanja nisu u potpunosti utvrđeni. Eksperimentalna istraživanja su ukazala na sledeće moguće uzročnike: prevelika struja zavarivanja i prevelika brzina zavarivanja.

3.4. Grupa br.3 – Uključci u čvrstom stanju

Uključci predstavljaju strana tela (metale i nemetale) zarobljene u metalu šava nakon očvršćavanja, koji se po svojim osobinama razlikuju od metala šava. U ovu grupu spadaju:

- uključci troske,
- uključci praha,
- uključci oksida (sulfida, nitrida, fosfata i silikata) i
- metalni uključci (volframa, bakra i drugih metala).

Uzroci nastajanja **uključaka troske** kod elektrolučnog zavarivanja obloženom elektrodom su:

1. nepravilno vođenje električnog luka – preveliko njihanje, usled čega troska očvršćava na stranici žljeba,
2. nepravilno vođenje luka, koje pri primeni velike jačine struje zavarivanja izaziva turbulenciju istopljenog materijala i mešanje sa tečnim metalom šava,
3. prekomerna količina troske ispod električnog luka i prelivanje tečnog metala preko troske usled malih brzina zavarivanja,
4. nedovoljno čišćenje prethodnog zavara od troske pri višeslojnom zavarivanju i
5. loša priprema za zavarivanje (grubo obrađene i nečiste stranice žljeba).

Mere za sprečavanje nastajanja uključaka troske su:

- dobro čišćenje površina stranica žljeba, zone nastavka zavara i međuslojeva i
- pravilan izbor oblika žljeba.

Uključci troske se mogu javiti pojedinačno, u nizu ili u grozdovima. Lako se otkrivaju metodama ispitivanja bez razaranja (ultrazvuk i radiografija).

Uključci praha u metalu šava kod elektrolučnog zavarivanja pod praškom (EPP-postupak) nastaju od neistopljenog zaštitnog praha koji nije izašao na površinu, već je ostao zarobljen u metalu šava.

Uzroci nastajanja uključaka praha su:

1. neodgovarajući izbor i priprema žljeba (preuzak žljeb),
2. neodgovarajući parametri zavarivanja (mala jačina struje zavarivanja i neodgovarajuća brzina zavarivanja),
3. neodgovarajući uslovi zavarivanja (zavarivanje u nagnutom položaju, nepravilan ugao držača elektrode) i
4. ekcentrična obloga elektrode.

Uključci praha u šavovima mogu zaostati mestimično ili po celoj dužini i relativno se lako otkrivaju radiografskom kontrolom.

Uključci oksida u šavu predstavljaju različita jedinjenja metala sa kiseonikom. Nastaju pri zavarivanju, bilo da se sa površine osnovnog metala kao produkt korozije unose u šav, bilo da usled slabe zaštite metalnog kupatila ili usled nedostatka dezoksidanta dolazi do oksidacije metala šava.

Uključci sulfida, nitrida, fosfata i silikata u metalu šava su legure sumpora, azota, fosfora i silicijuma sa metalom, koje su u obliku finih čestica nečistoće raspoređenje po metalu šava ili, ponekad, koncentrisane u velike skupine.

Metalni uključci u metalu šava predstavljaju prisustvo stranih metala, čija se svojstva znatno razlikuju od svojstava metala šava. Najčešće su to sitni uključci volframa, u zavarenim spojevima aluminijuma i njegovih legura izrađenih TIG postupkom kao i magnezijuma i titana.

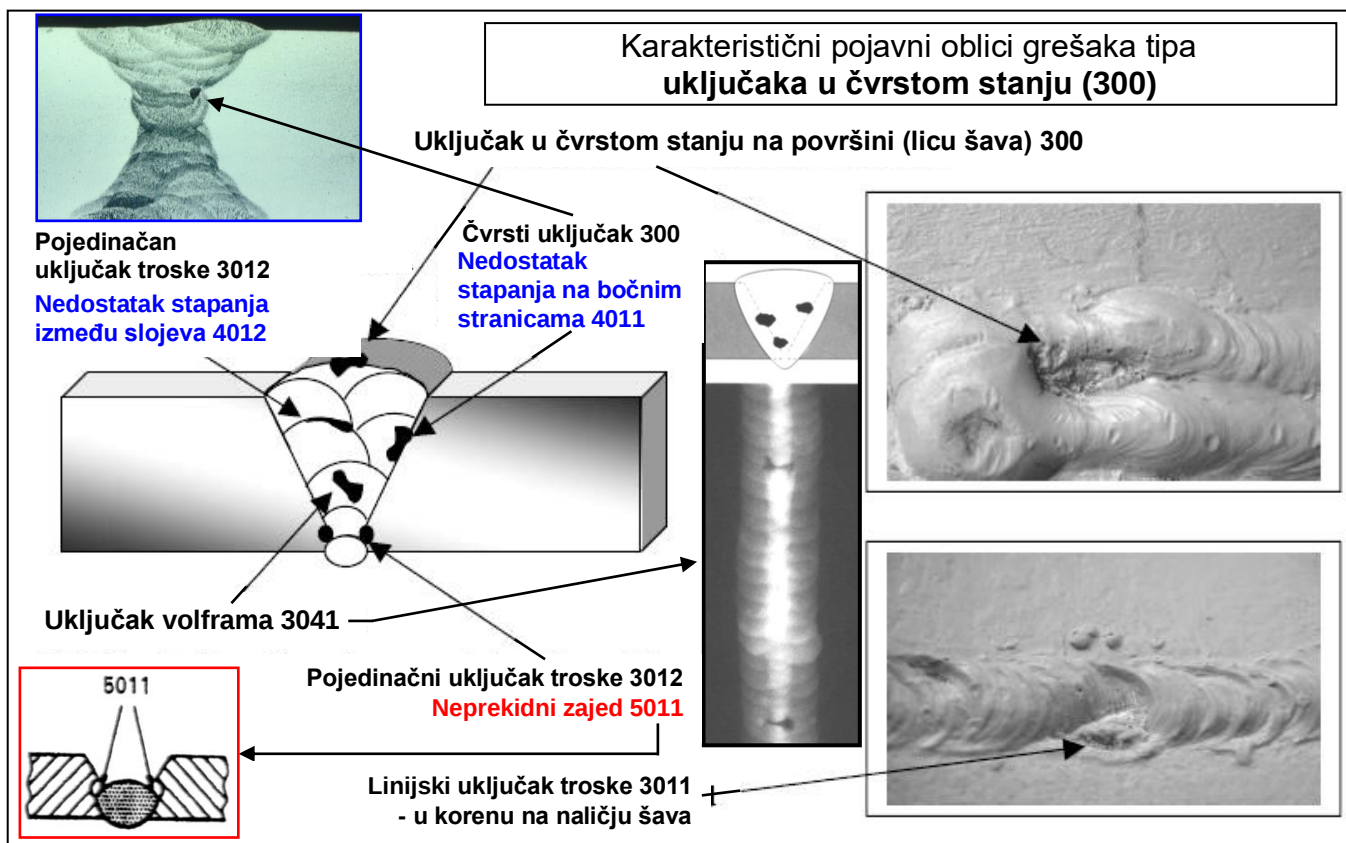
Volfram u metal šava dospeva najčešće usled primene struje zavarivanja velike jačine u odnosu na prečnik elektrode, kao i pri dodiru volframove netopive elektrode sa osnovnim materijalom. Metalni uključci se zbog svoje velike gustine jasno uočavaju na radiogramima.

3.4.1. Karakteristični pojavni oblici grešaka tipa uključaka u čvrstom stanju

Na slici 37 prikazani su karakteristični pojavni oblici grešaka tipa uključaka. Uključci se mogu naći u svim delovima metala šava: na površini šava, na naličju šava, između dva sloja i u zoni stapanja na granici metala šava.

Uključak troske koji se zadržao na površini korenog prolaza može da uslovi grešku iz grupe 5 (greške oblika i mera): neprekidni zajed (5011).

Takođe, uključci troske smešteni između dva sloja (zavara), najčešće uslovljavaju grešku iz grupe 4 (nedostatak stapanja i uvarivanja) tipa: nedostatak stapanja između slojeva (4012), odnosno ako se uključak troske nađe u granici metala šava može da onemogući spajanje i uslovi pojavu greške tipa: nedostatak stapanja na bočnim stranicama (4011), slika 37.



Slika 37. Karakteristični pojavni oblici grešaka tipa uključaka u čvrstom stanju (300)

3.5. Grupa br.4 – Nedostatak stapanja i uvarivanja

Prema standardu SRPS EN ISO 6520-1 greške iz ove grupe se dele na dva osnovna tipa:

- A. **Nedostatak stapanja (nepotpuno stapanje - nalepljivanje)** koja predstavljaju nepotpun spoj, odnosno neostvarenu vezu metala šava i osnovnog materijala na bočnom zidu spoja i u korenu ili neostvarenu vezu između dva susedna sloja (prolaza) metala šava.
- B. **Nedostatak uvarivanja (nepotpuno uvarivanje - neprovar)** koja se javlja ukoliko postoji razlika između nazivnog i ostvarenog provara, odnosno koja može da se odnosi na nepotpuno uvarivanje korena spoja (neprovar).

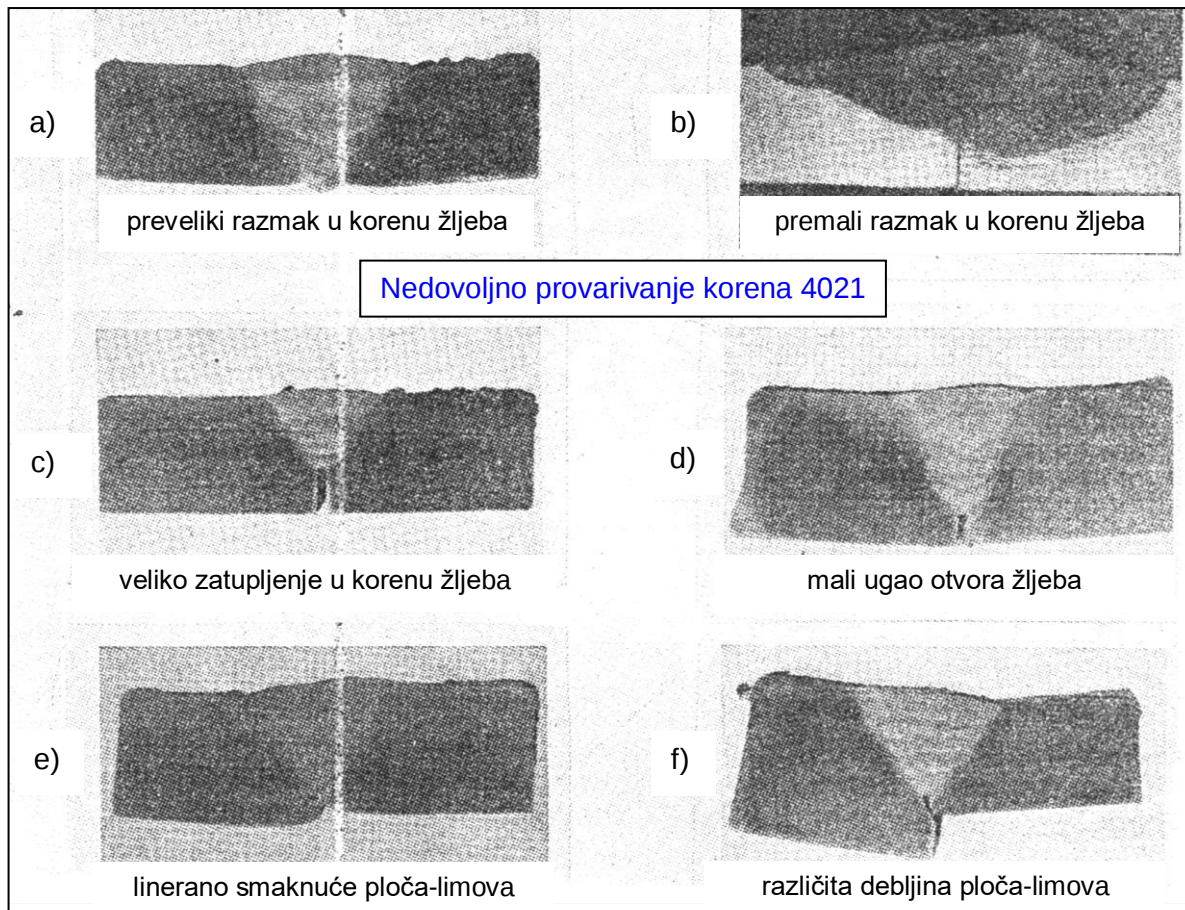
Nedostatci stapanja nastaju ako istopljeni metal naleže na površinu osnovnog materijala ili zavara koji nije rastopljen ili na kojoj je već završna kristalizacija, a toplota istopljenog metala nije dovoljna da taj površinski sloj istopi. Kao rezultat javlja se slaba veza između osnovnog materijala i metala šava, odnosno između dva susedna sloja metala šava. Nedostatci stapanja se smatraju ozbiljnijom greškom i dozvoljeni su isključivo kod zavarenih spojeva nižeg kvaliteta.

Uzroci nastajanja grešaka tipa **nedostatak stapanja** su:

1. mala jačina struje zavarivanja (nedovoljno rastapanje stranica žljeba),
2. preširok nanos sloja ili zavora, odnosno preširoko njihanje električnog luka, što uzrokuje malu brzinu zavarivanja i stvara velike količine istopljenog metala, koji može biti i potisnut na hladne, još neistopljene stranice žljeba,
3. nečistoće na mestu zavarivanja,
4. neodovarajuća i neujednačena brzina zavarivanja:
 - mala brzina zavarivanja prouzrokuje veliku količinu istopljenog materijala koja "beži" ispred električnog luka i naleže na hladni i neistopljeni metal;
 - velika brzina zavarivanja često prouzrokuje nedovoljno zagrevanje i rastapanje stranica žljeba,
5. preuzak žleb često onemogućava dobro zagrevanje donjeg dela stranice žljeba, posebno kod MIG/MAG i EPP postupka, pa istopljeni metal naleže na hladne površine u dnu uskog žljeba i
6. nepravilno usmeravanje električnog luka, odnosno toplotnog izvora, prouzrokuje da se nedovoljno zagrevaju i ne tope sve površine na koje će naleći istopljeni dodatni materijal.

Uzroci nastajanja grešaka tipa **nedostatak uvarivanja** su:

1. neodgovarajuća priprema za zavarivanje (kod nedovoljnog provarivanja korena):
 - preveliki razmak u korenu žljeba (slika 38a),
 - premali razmak u korenu žljeba (slika 38b),
 - veliko zatupljenje u korenu žljeba (slika 38c),
 - mali ugao otvora žljeba (slika 38d),
 - linerano smaknuće ploča-limova (slika 38e) i
 - različita debljina ploča-limova (slika 38f).



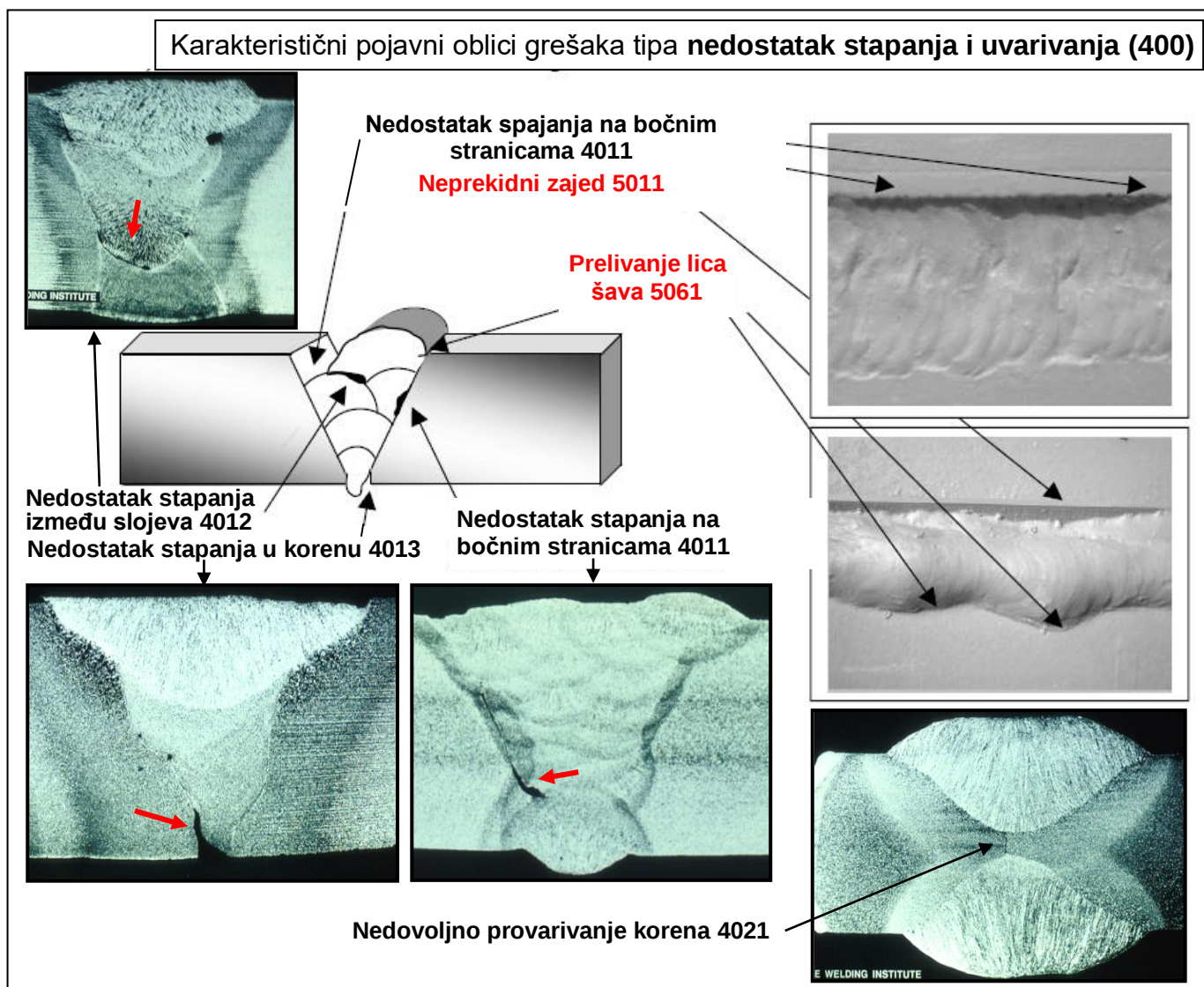
Slika 38. Karakteristični pojavni oblici greške tipa **nedovoljno provarivanje korena (4021)**

2. nedovoljno unete toplotne energije pri zavarivanju,
3. neodgovarajući parametri zavarivanja: napon električnog luka i brzina zavarivanja i
4. neodgovarajući prečnik dodatnog materijala.

Nepotpuno uvarivanje smanjuje noseći presek zavarenog spoja i često može da predstavlja pogodno mesto za inicijaciju prslina i razvoj proces korozije. Kod viših klasa zavarenih spojeva ove greške se ne tolerišu.

3.5.1. Karakteristični pojavni oblici grešaka tipa nedostatak stapanja i uvarivanja

Na slici 39 prikazani su karakteristični pojavni oblici grešaka tipa nedostatak stapanja i uvarivanja.



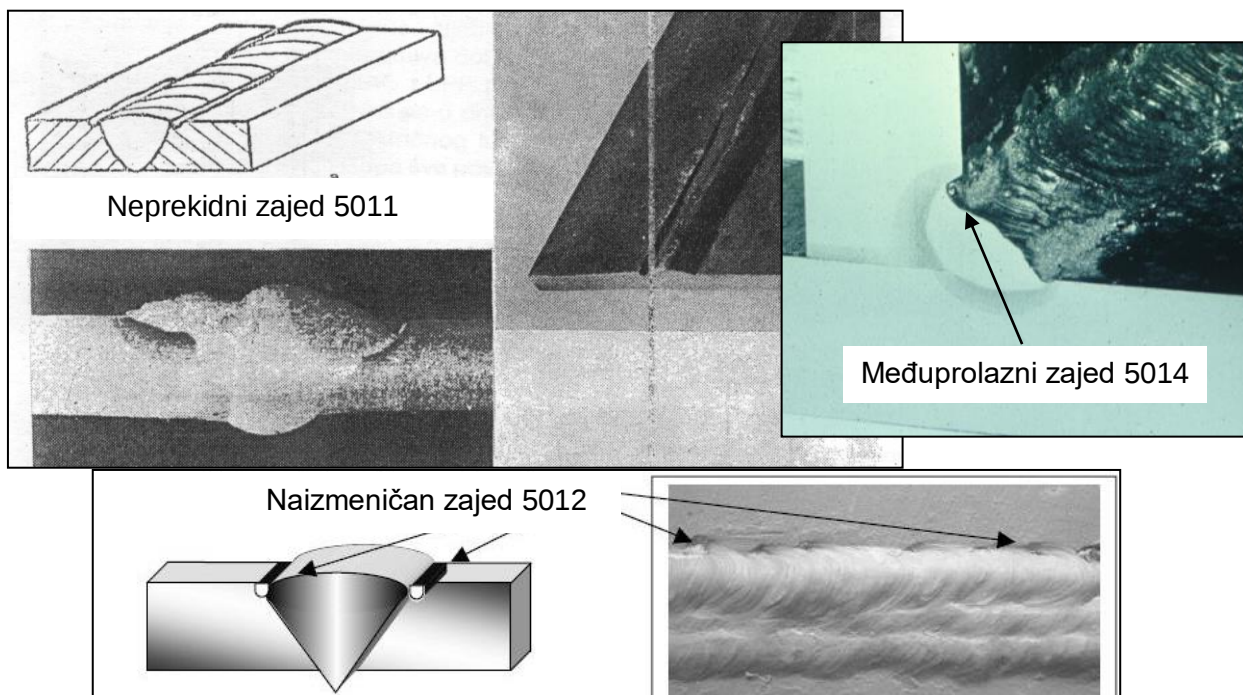
Slika 39. Karakteristični pojavni oblici grešaka tipa **nedostatak stapanja i uvarivanja (400)**

3.6. Grupa br. 5 – Greške oblika i mera

Greške oblika i mera predstavljaju odstupanje oblika spoljnih površina šavova od profila pravilnog šava ili nepravilnu geometriju spoja. Mnogobrojni različiti tipovi grešaka su svrstani u više skupina. U daljem tekstu biće ukazano na najznačajnije tipove, njihov karakterističan izgled i uzroke nastajanja.

- **Zajed (501)**

Predstavlja zareze-žljebove od pregrevanja na liniji stapanja u osnovnom materijalu a najčešće se protežu na izvesnoj dužini linije spoja ili su isprekidani, slika 40.



Slika 40. Karakteristični izgled različitih greške tipa **zajeda (501)**

Uzroci nastajanja greške tipa **zajed** je veliko zavarivačko metalno kupatilo kao rezultat:

1. neodgovarajući parametri zavarivanja: velika struja zavarivanja, mala brzina zavarivanja,
2. neogovarajuća tehnika rada (predugačak električni luk, prevelik nagib elektrode),
a može se javiti i kao rezultat:
3. topljenje oksida sa površine u okolini žljeba.

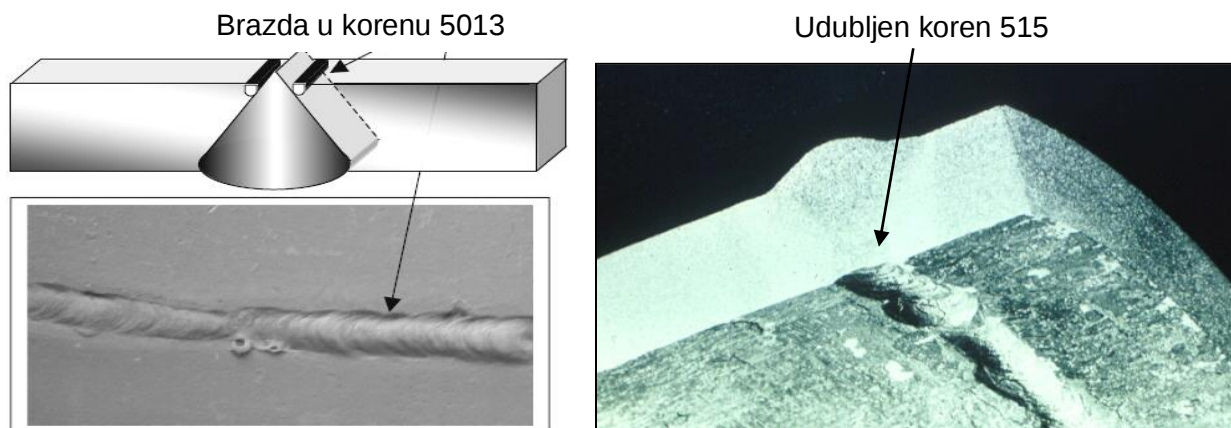
Ova greška se najčešće javlja u horizontalno-vertikalnom i nadglavom položaju.

Mere za sprečavanje nastajanja ove greške, koja je vizuelno uočljiva, su:

- smanjenje struje zavarivanja,
- smanjenje brzine zavarivanja i
- kvalitetno čišćenje.

- **Brazda u korenu (5013) i Udubljen koren (515)**

Brazda u korenu predstavlja nedostatak metala na bočnim stranicama korena šava koji nastaje usled skupljanja metala šava, slika 41. Iz sličnih razloga nastaju i greške tipa izdužena šupljina u korenu 2015 (vidi sliku 36) i udubljen koren 515, slika 41.



Slika 41. Karakteristični izgled grešaka tipa **brazda u korenu (žljeb od skupljanja) (5013)** i **udubljen koren (515)**

- **Preveliko nadvišenje (502), Prevelika ispupčenost (503) i Neodgovarajući prelaz (505)**

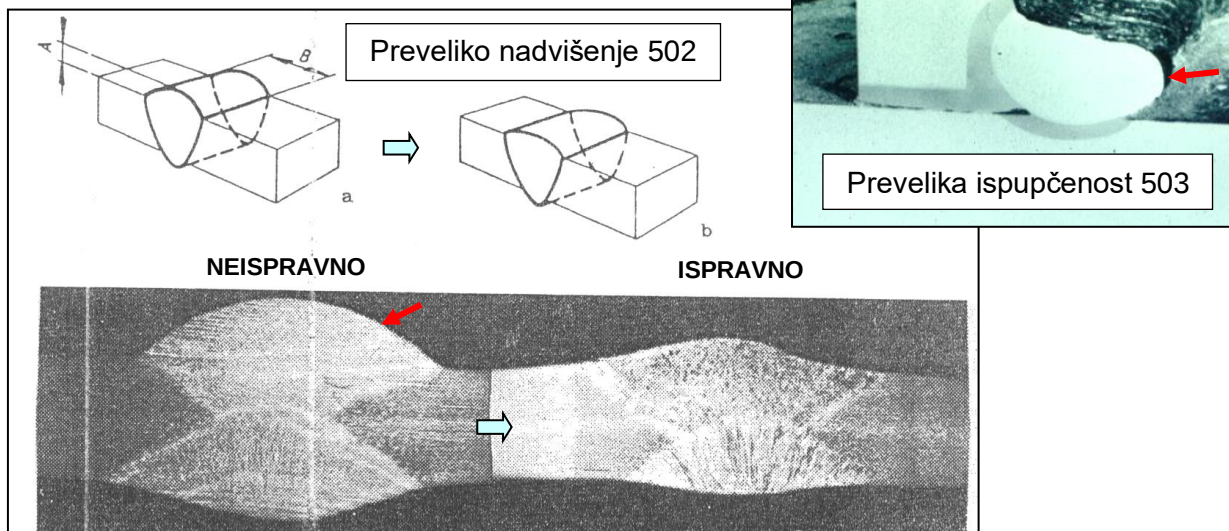
Sve tri navedene greške, slika 42 i 43, predstavljaju višak istopljenog materijala na licu sučeonog ili ugaonog zavarenog spoja a posledica su:

1. neodgovarajuće tehnologije i tehnike zavarivanja:

- preveliki broj slojeva,
- prevelika debljina završnog sloja,
- prevelikog prečnika elektrode,

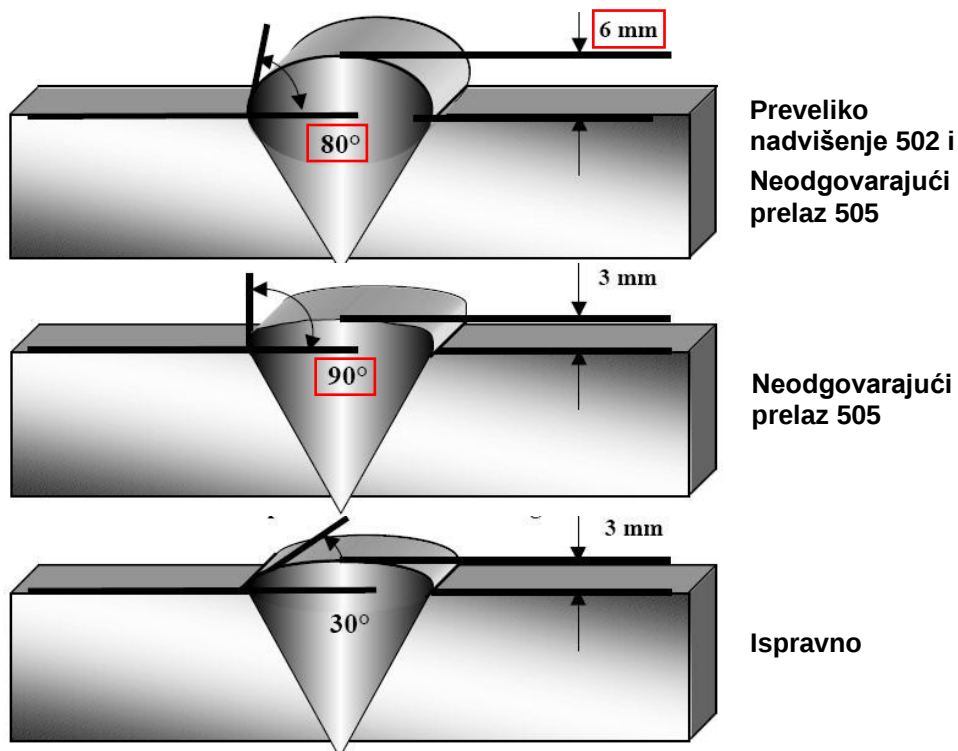
2. neodgovarajućih parametara zavarivanja:

- velika jačina struje zavarivanja i
- mala brzina zavarivanja.



Slika 42. Karakteristični izgled grešaka tipa:
preveliko nadvišenje (502) i prevelika ispupčenost (503)

Greška neodgovarajući prelaz predstavlja suviše mali ugao (α) između ravni površine osnovnog materijala i tangencijalne ravni na površinu šava na ivici šava, slika 43.



Slika 43. Karakteristični izgled greške tipa:
preveliko nadvišenje (502) i neodgovarajući prelaz (505)

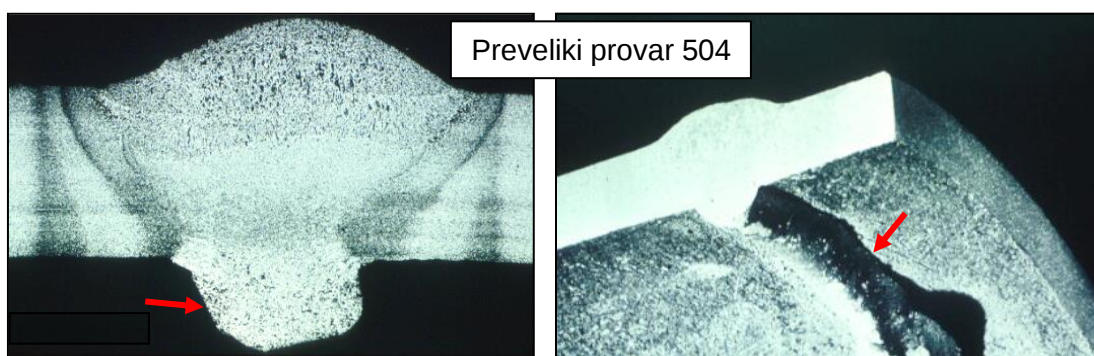
- **Preveliki provar (prokapljina) (504)**

Ova greška predstavlja višak metala šava koji štrči kroz koren šava, slika 44. Mestimični višak očvrslog metala u korenu često se naziva i prokapljina.

Uzroci nastajanja ove greške su:

1. prevelik razmak u korenu žljeba i
2. neodgovarajući parametri zavarivanja i tehnike rada (prevelika struja zavarivanja, preveliki ugao elektrode, neodgovarajući prečnik elektrode).

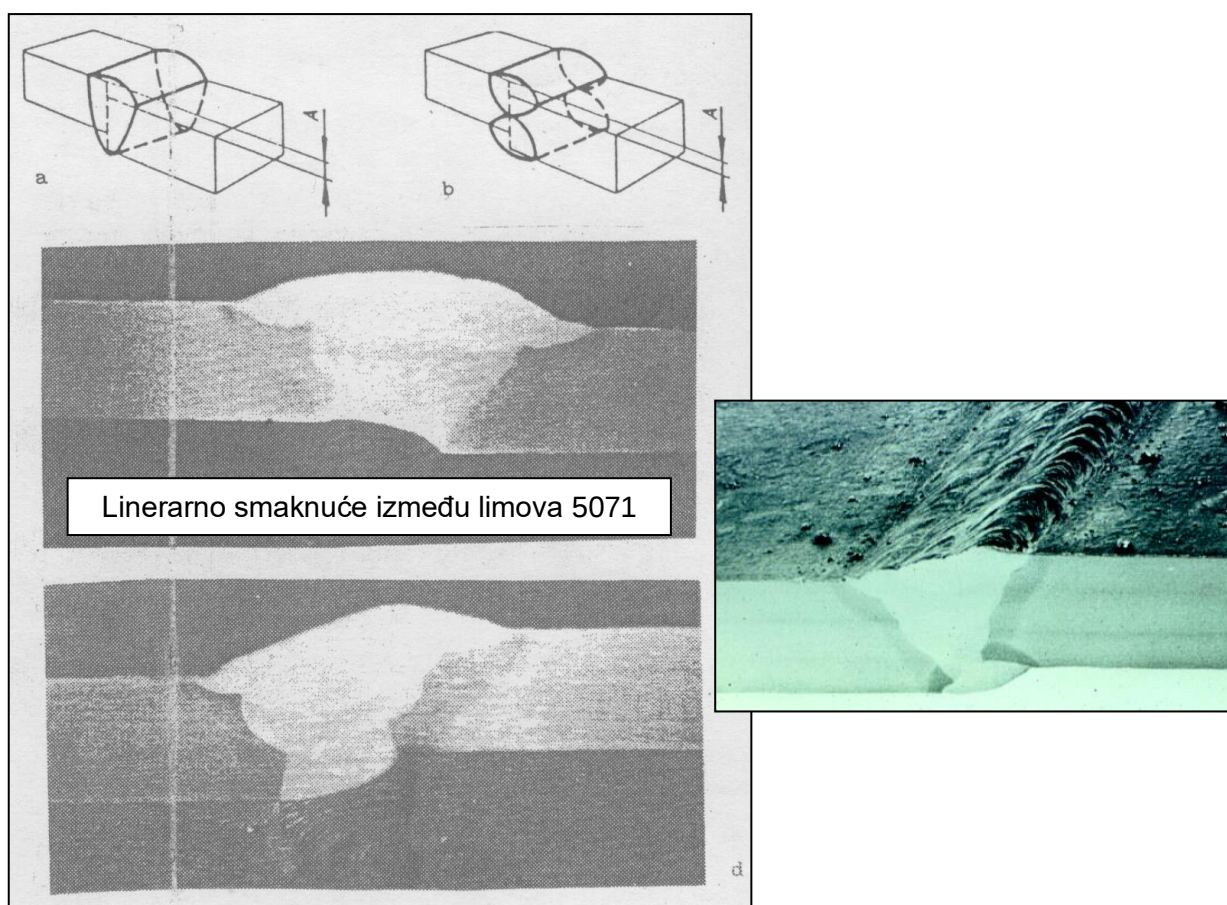
Ova greška se javlja kod sučeono zavarenih spojeva cevi gde može da uslovi niz eksploatacionih problema: smanjenje i poremećaj u protoku i strujanju, lokalnu koroziju itd.



Slika 44. Karakteristični izgled greške tipa **preveliki provar (prokapljina) (504)**

- **Linerno smaknuće između limova (5071) i cevi (5072)**

Linearno smaknuće (nesaosnost), slika 45, predstavlja odstupanje od predviđenog nivoa površina dva zavarena spoja i posledica je neodgovarajuće pripreme za zavarivanje.



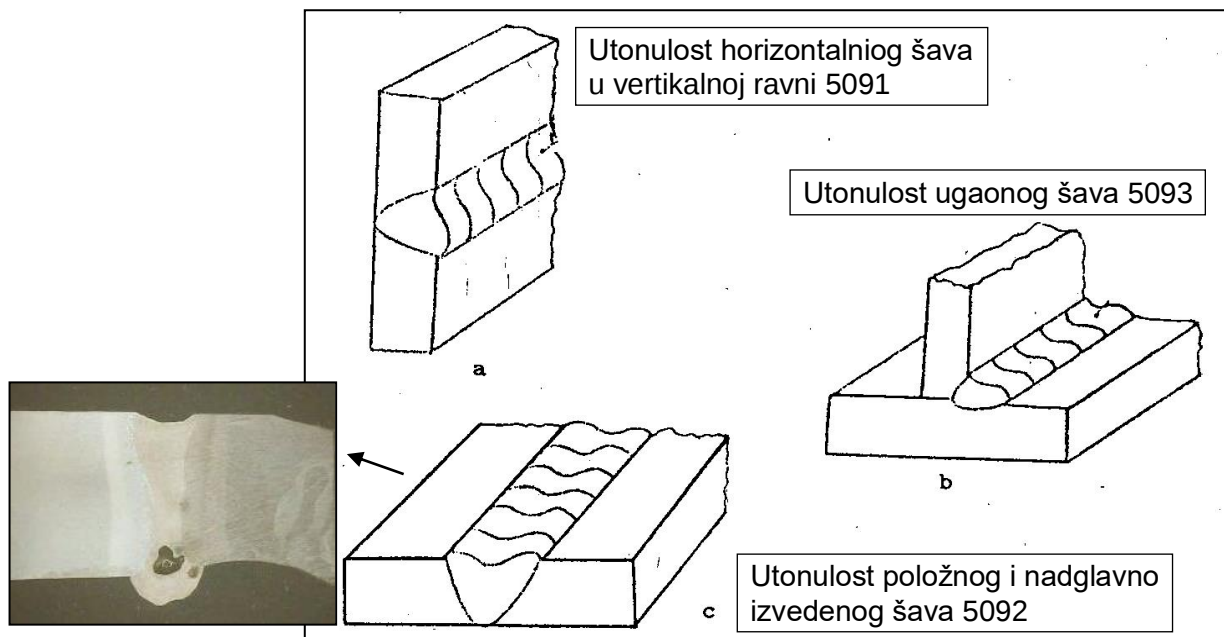
Slika 45. Karakteristični izgled greške tipa **linerno smaknuće između limova (5071)**

- **Utonulost (509)**

Greška utonulost, slika 46, predstavlja sleganje – slivanje nanesenog dodatnog materijala koje se javlja usled:

1. delovanja sile gravitacije,
2. pogrešnog usmeravanja električnog luka i
3. stvaranje velike količine istopljenog metala.

Nastaje kod zavarivanja sučeonih spojeva u horizontalno vertikalnom položaju. Kod ugaonih spojeva javlja se kod zavarivanja u vertikalnom i horizontalno-vertikalnom položaju. Posledica je nepravilnog usmeravanja električnog luka i prevelikog topljenja materijala. Pojava utonulost povećava rizik od nastajanja prslina, kao rezultat porasta zaostalih napona usled skupljanja metala šava. Ova greška se može izbeći povećanjem brzine zavarivanja.

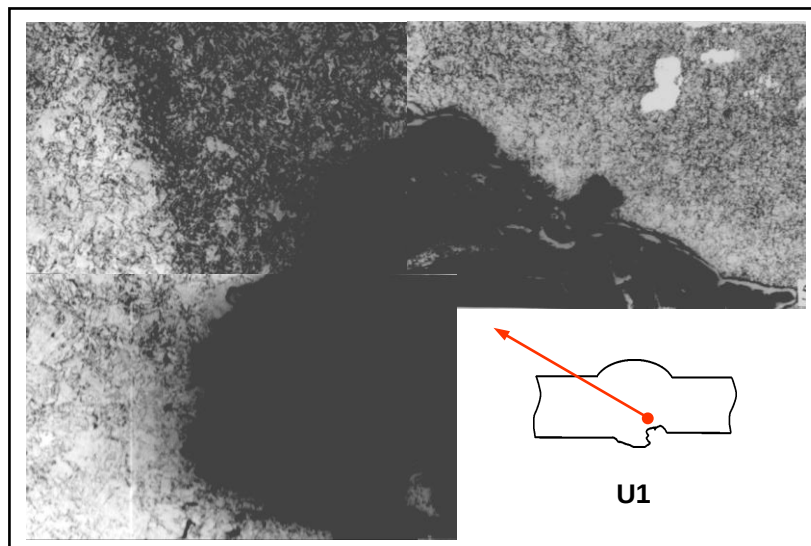
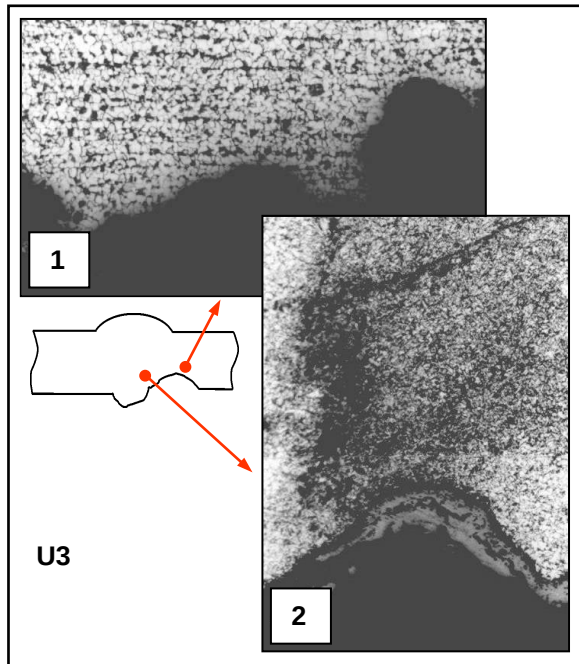
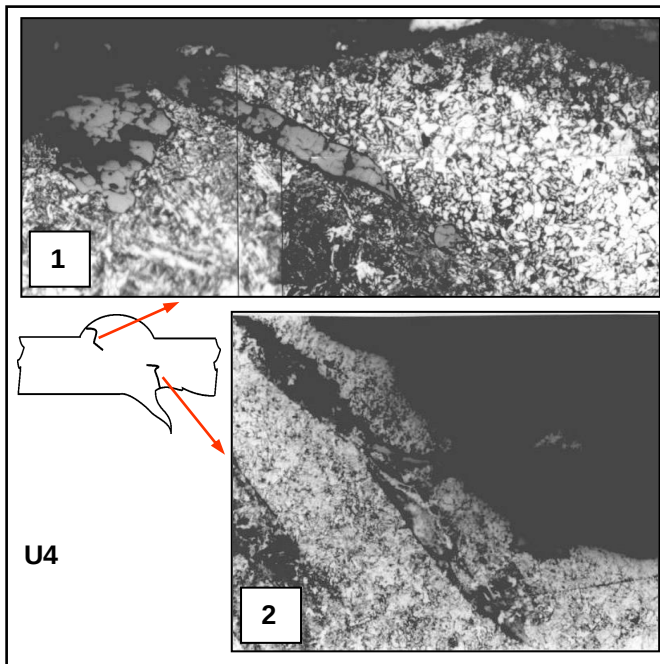


Slika 46. Karakteristični izgled greške tipa **utonulost (509)**:

- a) utonulost horizontalniog šava u vertikalnoj ravni (5091),
- b) utonulost ugaonog šava (5093) i
- c) utonulost položnog i nadglavno izvedenog šava (5092).

**Praktična nastava – Greške zavarenih spojeva
(četiri uzorka kotlovskih cevi U1–U4)**





Uzorci za metalografska ispitivanja

