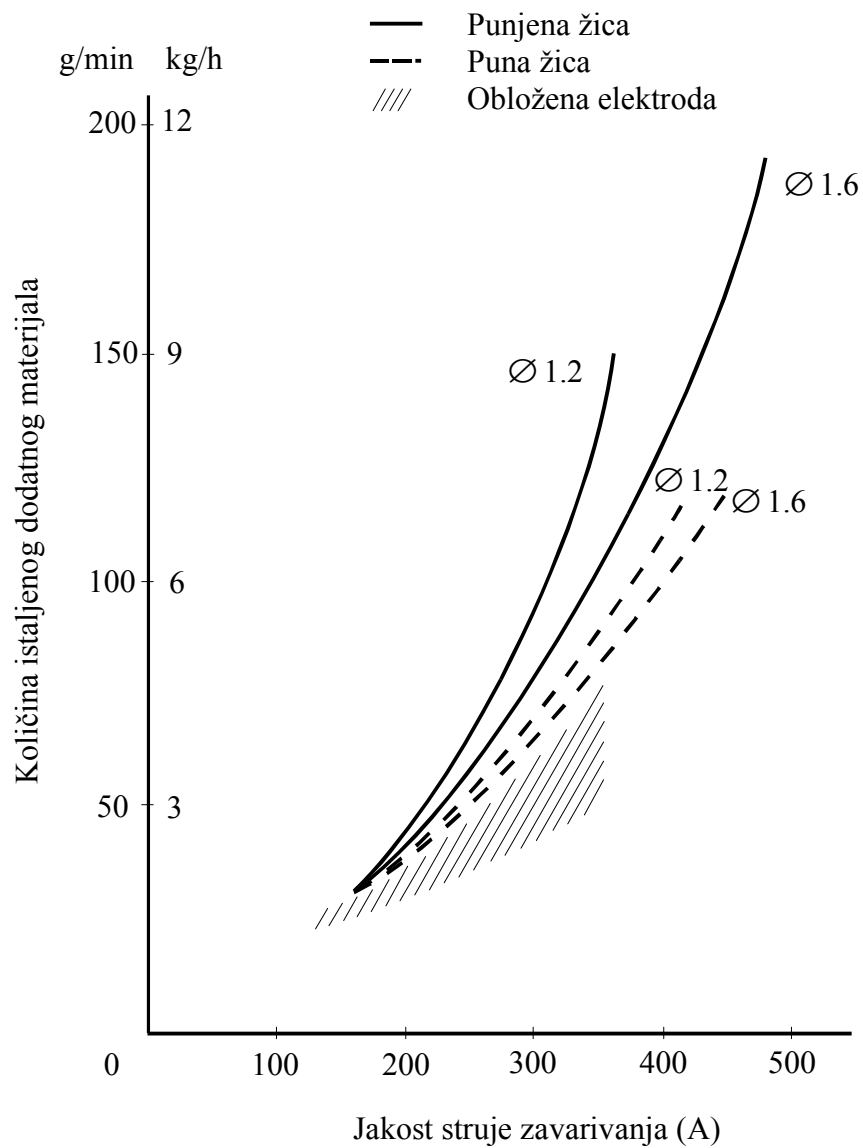


3. ANALIZA TEHNOLOGIČNOSTI ZAVARIVANJA PRAŠKOM PUNJENIM ŽICAMA

3.1 PRODUKTIVNOST PRIMJENE PRAŠKOM PUNJENIH ŽICA

Produktivnost predstavlja količinu proizvoda u jedinici vremena. Količina može biti izražena u metrima ili kilogramima, pa je produktivnost izražena u m/h ili kg/h. S povećanjem produktivnosti smanjuje se vrijeme izrade, a s time i ukupni troškovi izrade. Na produktivnost zavarivanja uz primjenu pune ili praškom punjene žice utječe velik broj faktora, na prvom mjestu parametri zavarivanja, kao i duljina slobodnog kraja žice, što je već ranije naglašeno. Ako bi se zavarivalo pri istim parametrima i istim duljinama slobodnog kraja žice, zavarivanje praškom punjenom žicom dalo bi veću produktivnost nego zavarivanje punom žicom. Objašnjenje leži u tome što je jezgra praškom punjene žice slab vodič električne struje pa je tok struje ograničen na relativno malu površinu (velika gustoća struje zavarivanja), što omogućava zavarivanje uz veliku brzinu dovođenja žice, a stabilnost luka pri toj brzini dovođenja žice u procesu zavarivanja osigurava jezgra, što nije slučaj kod pune žice. Uz povećanje jakosti struje zavarivanja produktivnost raste, ali je prirast produktivnosti uz povećanje jakosti struje kod praškom punjene žice veći nego kod pune, što je uzrokovalo nagli porast primjene praškom punjenih žica.

Na slici 3.1 prikazana je usporedba produktivnosti zavarivanja praškom punjenom žicom, punom žicom i obloženom elektrodom.



Slika 3.1 *Produktivnost zavarivanja primjenom obložene elektrode, pune i praškom punjene žice*

3.2 EKONOMIČNOST PRIMJENE PRAŠKOM PUNJENIH ŽICA

Ekonomičnost primjene praškom punjenih žica može se izraziti kalkulacijom troškova zavarivanja te usporedbom istih sa troškovima zavarivanja drugim dodatnim materijalima.

Troškovi MAG postupka zavarivanja

Parcijalni troškovi MAG postupka zavarivanja su slijedeći:

1. Troškovi žice za zavarivanje
2. Troškovi električne struje
3. Troškovi zaštitnog plina
4. Troškovi radne snage
5. Troškovi izvora struje (stroja)

Ukupni trošak jednak je zbroju parcijalnih troškova i može se izraziti u NJ/kg depozita (količini nataljenog dodatnog materijala).

Troškovi žice za zavarivanje

Troškovi žice za zavarivanje se izračunavaju prema formuli:

$$T_z = C_{jz} \cdot k_z, \text{ NJ/kg depozita}$$

gdje je:

C_{jz} - jedinična cijena žice, NJ/kg žice

T_z - trošak žice za zavarivanje, NJ/kg depozita

k_z - koeficijent taljenja žice, iskazuje iznos mase žice koja je potrebna da se natali 1 kg depozita, (kg žice/kg depozita)

Troškovi električne energije

Snaga izvora:

$$P = \frac{U \cdot I}{1000 \cdot \eta_s} \cdot \varepsilon + P_o \cdot (1 - \varepsilon), \text{ kW}$$

Električna energija za 1 kg depozita:

$$E_{kg} = \left[\frac{U \cdot I}{1000 \cdot \eta_s} \cdot \varepsilon + P_o \cdot (1 - \varepsilon) \right] \cdot \frac{1}{k_t \cdot \varepsilon}, \text{ kWh/kg depozita}$$

Troškovi električne energije (stroja):

$$T_{ee} = E_{kg} \cdot C_{jee}, \text{ NJ/kg depozita}$$

gdje je:

U - napon električnog luka, V

I - struja zavarivanja, A

η_s - stupanj korisnog djelovanja izvora struje

- transformator 0.80-0.85

- ispravljač 0.75-0.85

ε - intermitencija

- za MAG zavarivanje $\varepsilon = 65 - 75 \%$

P_o - snaga praznog hoda (snaga koja se troši za rad ventilatora, trenje, rasipanje magnetskog polja, zagrijavanje vodiča)

- približna vrijednost za:

- ispravljače 0.7 kW

- transformatore 0.5 kW

k_t - koeficijent efikasnosti taljenja žice, ovisi o vrsti žice i jačini struje zavarivanja, kg depozita/h

C_{jee} - jedinična cijena električne energije, NJ/kWh

Troškovi zaštitnog plina

$$T_{pl} = \left(\sum_{i=1}^n r_i \cdot \rho_i \cdot V \cdot C_{pl,i} \right) \cdot \frac{60}{k_t \cdot \varepsilon}, \text{ NJ/kg depozita}$$

gdje je:

r_i - volumni udio i-tog plina u mješavini, %

ρ_i - gustoća i-tog plina u mješavini, kg/m³

V - protočna količina plina, l/min

$C_{pl,i}$ - jedinična cijena i-tog sudionika mješavine, NJ/l plina

Troškovi radne snage

$$T_{RS} = \frac{ODI}{k_t \cdot \varepsilon}, \text{ NJ/kg depozita}$$

gdje je:

ODI - bruto iznos osobnog dohotka, NJ/h

Troškovi izvora struje (stroja)

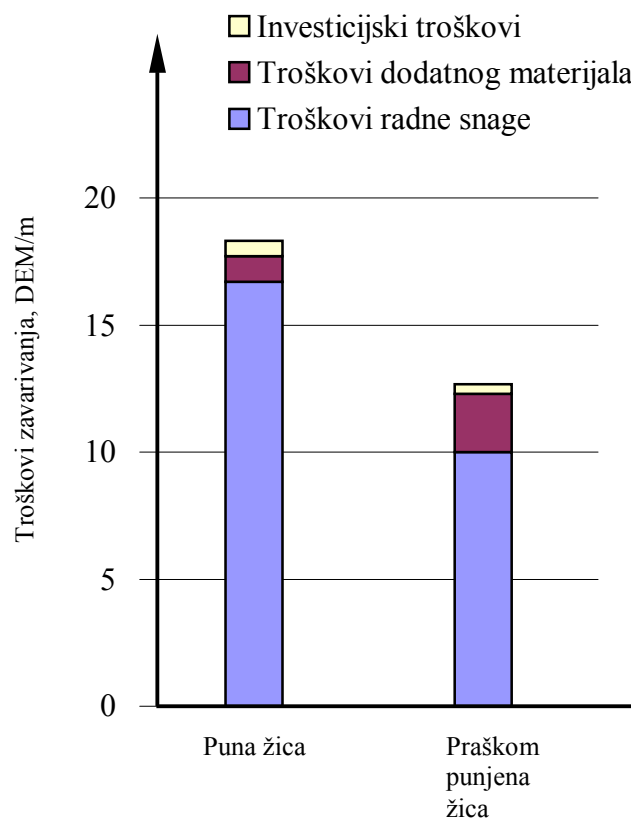
$$T_s = \frac{C_N (\text{amortizacija} + \text{osiguranje} + \text{održavanje} + \text{kamate PF})}{\text{broj sati godišnje}}, \text{ NJ/h}$$

$$T_{is} = T_s \cdot \frac{1}{k_t \cdot \varepsilon}, \text{ NJ/kg depozita}$$

gdje je:

- C_N - nabavna cijena stroja
- amortizacija - godišnja stopa amortizacije, npr. 10% od C_N
- osiguranje - godišnja premija osiguranja, npr. 1% od C_N
- održavanje - godišnji iznos za održavanje, npr. 4% od C_N
- kamata PF - kamate ili porez na poslovni fond (osnovna sredstva, ako se moraju plaćati društvenoj zajednici)
- T_s - troškovi stroja za godinu dana po satu rada

Tvrtka Böhler, koja je jedan od vodećih proizvođača dodatnih materijala za zavarivanje, provela je analizu cijene koštanja po metru zavara izvedenog MAG postupkom zavarivanja, i to s dvije različite žice: punom žicom i visoko produktivnom metalnim praškom punjenom žicom. Analiza cijene koštanja prikazana je na slici 3.2.



Slika 3.2 *Usporedba troškova zavarivanja punom i praškom punjenom žicom*

Unatoč tome što je cijena punjene žice 2.5 do 3.5 puta veća nego cijena pune žice, ta razlika u cijeni se kompenzira većom produktivnošću zavarivanja, što izravno utječe na smanjenje ukupnih troškova izrade.

3.3 KVALITETA ZAVARENIH SPOJEVA IZVEDENIH PRAŠKOM PUNJENIM ŽICAMA

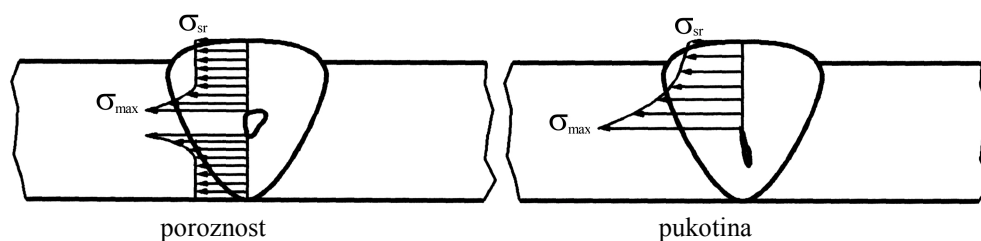
3.3.1 Najčešće greške u zavarenim spojevima i mjere za sprječavanje njihovog nastajanja

Greške u zavarenim spojevima nije moguće u potpunosti izbjeći, ali je moguće vrlo efikasno utjecati na njihovu pojavu u procesu zavarivanja i time ih svesti na minimum. Da bi se to postiglo potrebno je poznavati uzroke njihovog nastanka kako bi se pravim mjerama

sprječavanja njihov broj sveo na minimum. Greške u zavarenim spojevima javljaju se kao posljedica korištenja neodgovarajuće tehnologije zavarivanja, pogrešno odabranih parametara

zavarivanja, vrsta dodatnog materijala (kemijski sastav žice), loše pripreme žlijeba i tehnike rada. Pored navedenih uzročnika pojave grešaka, moguća je pojava nehomogenosti u osnovnom materijalu, na koje se ne može utjecati tijekom procesa zavarivanja. Iz tog razloga je opravdano postojanje manjeg ili većeg broja grešaka u zavarenom spoju.

Greške uslijed opterećenja u zavarenim spojevima uzrokuju povećanje naprezanja (koncentracija naprezanja), što je veoma opasno, naročito ako je zavar izložen naizmjeničnom cikličkom opterećenju. Na slici 3.3 dani su neki primjeri utjecaja greške na lokalno povećanje naprezanja.



Slika 3.3 Utjecaj grešaka na lokalno povećanje naprezanja

Vrijednost lokalnog naprezanja je veća ili manja, ovisno o vrsti i veličini greške, te tipu opterećenja. Problemu pojave grešaka u zavarenom spoju potrebno je posvetiti mnogo pažnje zbog posljedica koje one mogu prouzročiti, od kojih je najgora otkaz zavarenog spoja.

Najčešće greške koje se pojavljuju u zavarenom spoju izvedenom MAG postupkom zavarivanja, kao i njihove kombinacije su: poroznost, nepotpuno spajanje (naljepljivanje), uključci troske, zajedni, pukotine i estetski neprihvatljiva površina zavora.

1. Poroznost

Poroznost (plinski uključci) nastaje kao posljedica prisustva plinskih mjehurića u kupki zavora koji ostaju zarobljeni nakon skrućivanja zavora. Ove pogreške različito utječu na čvrstoću zavarenog spoja, ovisno o broju, obliku i mjestu (lokaciji) mjehurića u zavarenom spoju. Utjecaj mjehurića na smanjenje čvrstoće zavora je veći ako su mjehurići otvoreni na površini zavora.

Osnovni uzroci pojave poroznosti su:

a) prevelika duljina slobodnog kraja žice,

- b) slaba zaštita kupke zavara (vlaga u zaštitnom plinu, nedovoljna čistoća zaštitnog plina, neodgovarajuća količina zaštitnog plina),
- c) nečistoća osnovnog materijala(korozija, masnoća, boje) i sapnice,
- d) neispravna tehnika rada i parametri zavarivanja (velik nagib pištolja, velik napon električnog luka, velika udaljenost sapnice),
- e) neispravan uređaj (loše brtvljenje kod sustava hlađenja, usisavanje zraka u sustav za dovod zaštitnog plina).

Mjere sprječavanja:

- čišćenje površine žlijeba
- prijelaz mjesta zavarivanja plamenom prije zavarivanja (isušivanja i izgaranja masnoće),
- pravilno vođenje procesa i izbor optimalnih parametara,
- kontrola sustava za dovod plina i pištolja za zavarivanje.

2. Naljepljivanje

Naljepljivanje je pogreška nepostojanja čvrste strukturne veze između osnovnog i dodatnog materijala zbog nalijeganja dodatnog rastaljenog materijala na hladni osnovni materijal. Ovaj tip greške čest je kod zavarivanja debljih materijala, vrlo je opasan i teško se otkriva (jedino ultrazvukom).

Osnovni uzroci pojave naljepljivanja su:

- nepravilna brzina zavarivanja (mala brzina uzrokuje stvaranje veće količine taline koja bježi ispod ili ispred luka, a velika brzina onemogućava dovoljno protaljivanje osnovnog materijala),
- premalen kut žlijeba kao i neravne površine stranica žlijeba,
- premalen razmak u grlu žlijeba,
- nepravilna tehnika rada (nepravilno poprečno gibanje pištolja).

Mjere sprječavanja:

- pravilno vođenje procesa zavarivanja,
- čišćenje površina žlijeba od nečistoća koje smanjuju zagrijavanje i protaljivanje osnovnog materijala.

3. Uključci troske:

Uključci troske mogu nastati na isti način kao i plinski uključci. Najčešće nastaju uslijed zaostajanja nizova troske iz prethodnog prolaza zbog nedovoljnog čišćenja iste, na način da ne isplivaju iz kupke zavora prije skrućivanja. Uključci troske su također opasne pogreške koje se otkrivaju ultrazvukom ili radijacijom.

Uzroci nastajanja uključaka su:

- nedovoljno čišćenje troske između prolaza,
- nepravilna tehnika rada,
- nepravilna priprema žlijeba.

Mjere sprječavanja:

- dezoksidacija (dodavanje elemenata koji imaju veći afinitet prema kisiku nego željezo, npr. silicij i mangan),
- pravilna priprema žlijeba i tehnika rada.

4. Zajedi:

Zajedi su geometrijske greške zavarenog spoja koje nastaju u prijelaznoj zoni zavarenog spoja između osnovnog materijala i zavora. Zajedi su vrlo opasni zbog toga što mogu biti jako oštri, pa ih treba uklanjati brušenjem ako su plitki, ili brušenjem i navarivanjem ako su duboki. Utječu na smanjenje čvrstoće zavarenog spoja, stvaraju velike koncentracije naprezanja uslijed čega su inicijalno mjesto stvaranja pukotina u eksploataciji, kao i potencijalno mjesto stvaranja korozije.

Uzroci nastajanja zajeda su:

- velika jakost struje zavarivanja ili prevelika duljina slobodnog kraja žice,
- nepravilan položaj gorionika,
- nepravilno izvođenje prolaza kod kutnog spoja (prevelika visina zavora).

Mjere sprječavanja:

- optimalan izbor parametara zavarivanja,
- pravilna tehnika rada.

5. Pukotine

Pukotine su najopasnije pogreške u zavarenom spoju i u pravilu nisu dopuštene pa se najviše pažnje posvećuje sprječavanju njihovog nastajanja. Zbog njihove geometrije (dvije dimenzije izrazito velike u odnosu na treću, oštri rubovi, nepovoljan položaj), nosivi presjek

zavarenog spoja , osobito ako su položene poprijeko na smjer naprezanja, bitno se smanjuje, a time i čvrstoća spoja.

Pukotina pod djelovanjem promjenjivog naprezanja raste i može izazvati lom u eksploataciji. S obzirom na uzrok nastajanja dijele se na tople i hladne. Tople pukotine nastaju na visokim temperaturama tijekom hlađenja taline do čvrstog stanja, a hladne nakon skrućivanja zavara ispod temperature 300 °C. One se mogu pojaviti i više sati nakon zavarivanja.

Uzroci nastajanja toplih pukotina su:

- loše odabrani parametri zavarivanja,
- nečistoće u osnovnom materijalu,
- neodgovarajući oblik žlijeba,
- neodgovarajuća žica u odnosu na osnovni materijal (kemijski sastav),
- nečistoća žlijeba,

Uzroci nastajanja hladnih pukotina su:

- sklonost zakaljivanju osnovnog materijala u zoni utjecaja topline,
- velika zaostala naprezanja, posebice kod debljih materijala (velika količina unesene topline),
- vlažna površina žlijeba, vlažna obloga ili prašak (vodik dolazi u zavareni spoj razlaganjem vlage u procesu zavarivanja).

Mjere sprječavanja:

- pravilna priprema žlijeba (odnos visine i širine), čišćenje žlijeba,
- pravilan odabir žice za zavarivanje,
- predgrijavanje osnovnog materijala,
- zavarivanje u više prolaza (manja kupka zavara, manja količina unesene topline).

6. Ružna površina okoline zavara:

Nastaje zbog prskanja i lijepljenja kapljica rastaljenog metala po površini osnovnog materijala.

Uzroci nastajanja su:

- neusklađeni parametri zavarivanja (prevelik napon luka u odnosu na jakost struje zavarivanja),
- nejednolika brzina dovođenja žice i nečistoća žice,

- nečistoća žlijeba (korozija, masnoća, itd.),
- nepravilan položaj gorionika ili radnog predmeta,
- premala količina zaštitnog plina (slaba zaštita).

Mjere sprječavanja:

- izbor optimalnih parametara zavarivanja,
- pravilna tehnika rada,
- uporaba zaštitne plinske mješavine.