

9 TROŠKOVI KOD ZAVARIVANJA

9.1 PRIPREMA PROIZVODNJE KOD ZAVARIVANJA

Elektrolučnih postupci zavarivanja danas su najviše zastupljeni u praksi. Kada se pogleda na zastupljenost elektrolučnih postupaka danas u Hrvatskoj, može se reći da je ručno elektrolučno zavarivanje (REL) još uvijek najzastupljeniji postupak zavarivanja, pa tek onda slijede zavarivanje taljivom elektrodom u zaštiti aktivnog ili inertnog plina (MAG/MIG), zavarivanje pod zaštitom praška (EPP) i zavarivanje netaljivom elektrodom u zaštiti inertnog plina (TIG). U industrijski razvijenijim zemljama, uočava se da je REL zavarivanje vrlo malo zastupljeno, dok je više zastupljeno automatizirano i robotizirano zavarivanje MAG/MIG, automatizirano EPP zavarivanje i drugi visokoučinski i visokokvalitetni postupci zavarivanja.

Za postizanje visoke produktivnosti rada zavarivača neophodna je pravilna organizacija rada i radnog mjesta koja između ostaloga uključuje sljedeće:

1. Rad se izvodi na zavarivačkom mjestu koje je opremljeno neophodnom aparaturom i koje je snabdjeveno kompletno ispravnom i potrebnom opremom.
2. Priprema elemenata za zavarivanje je u potpunom skladu sa crtežima i tehničkim uvjetima.
3. Povezivanje elemenata prije zavarivanja izvode monter i ili povezivači (iznimno zavarivači!).
4. Elektrode, žicu, prašak, boce i dr. na radno mjesto dopremaju pomoćni radnici.
5. Sklopove i elemente koje treba zavarivati na radno mjesto dostavljaju pomoćni radnici, okreću i premještaju teške elemente pomoću dizalica i transportnih sredstava.
6. Brigu o izvorima struje vode elektromonter i električari.
7. Izvršeni radovi predaju se kontroli preko brigadira zavarivanja, bez učešća zavarivača.

U tehničku normu ne uračunavaju se gubici vremena koji proizlaze iz:

- npr. suvišnog nataljivanja metala u šav;
- gubitak vremena izazvan nepravilnom pripremom žlijeba za zavarivanje;
- nedostatkom potrebnih elektroda;
- predugih čekanja dizalice / krana;
- popravaka pukotina, lomova i drugih grešaka;
- organizacijskih i tehničkih smetnji svake vrste i nenormalnih uvjeta rada.

Rad zavarivača treba biti tako organiziran da je zavarivač što više oslobođen od pomoćnih i pripremni radova.

Sa stajališta zavarivanja u našoj sredini proizvodnju zavarivanjem može se podijeliti na:

1) komadnu i maloserijsku proizvodnju - pripremno završno vrijeme ima značajni udio u vremenu zavarivanja. Izdvaja se zasebni dio norme i daje se prema seriji sklopova za zavarivanje.

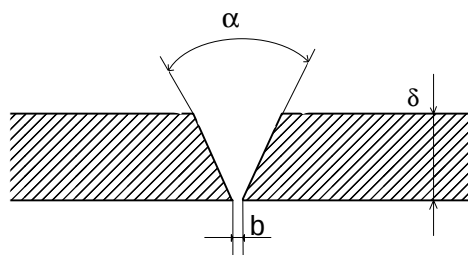
2) serijsku proizvodnju - udio pripremno završnog vremena nije velik i za pojednostavljena izračunavanja norme može se uzeti kao vrijednost od 2-4 % od operativnog (osnovnog + pomoćnog) vremena.

Faktori koji utječu na trajanje pripremno završnog vremena mogu biti tehnološki (npr. složenost konstrukcije, vrsta opreme za zavarivanje) i organizacijski (npr. ponovljivost rada,

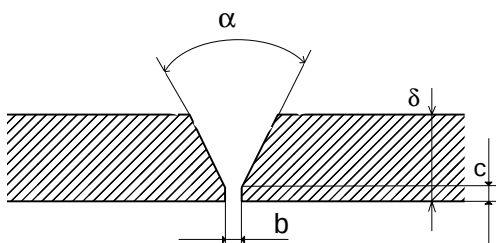
organizacija posluživanja radnog mjesta, mjesto izvođenja zavarivanja: pogon, otvoreni prostor, škola zavarivanja i dr).

Osnovno (tehnološko) vrijeme (t_0) uključuje vrijeme potrebno za nataljivanje šava, tj. vrijeme neposrednog gorenja električnog luka. Kod osnovnog vremena na trajanje mogu utjecati tehnološki (vrsta i debljina osnovnog materijala koji se zavaruje, vrsta pripreme žlijeba, redoslijed spajanja i dr.) i organizacijski faktori (prostorni položaj šava, položaj zavarivača za vrijeme zavarivanja, prisutnost operativne kontrole i dr.).

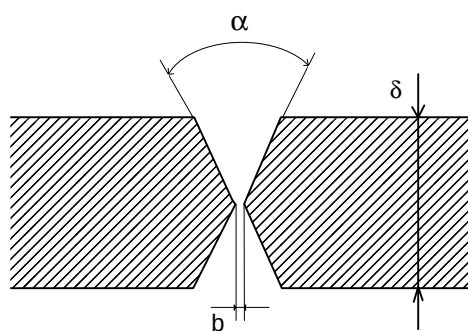
Površina presjeka žlijeba za zavarivanje F potrebna je kako bi se izračunao volumen potrebnog dodatnog materijala. Polazište je teorijska vrijednost površine presjeka žlijeba, koja se množi sa određenim korekcijskim faktorom, ovisno o obliku žlijeba za zavarivanje (pri zavarivanju se pojavljuje nadvišenje koje može biti jednostrano ili dvostrano, stvarna površina žlijeba uvijek ima odstupanja pa nije idealna kao teorijska vrijednost površine). U nastavku se daju češće korišteni žljebovi za zavarivanje, kao i analitički izrazi za izračunavanje teorijske vrijednosti površine žlijeba za zavarivanje.



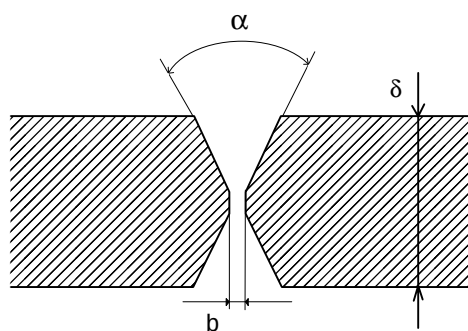
$$F = \delta^2 \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{\alpha}{2} \right) + b \cdot \delta, (\text{mm}^2)$$



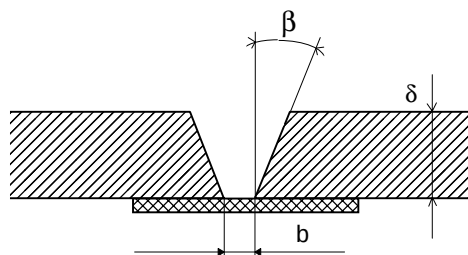
$$F = (\delta - c)^2 \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{\alpha}{2} \right) + b \cdot \delta, (\text{mm}^2)$$



$$F = 0,5 \cdot \delta^2 \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{\alpha}{2} \right) + b \cdot \delta, (\text{mm}^2)$$



$$F = 0,5(\delta - c)^2 \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{\alpha}{2} \right) + b \cdot \delta, (\text{mm}^2)$$



$$F = \delta^2 \cdot \operatorname{tg} \beta + b \cdot \delta, (\text{mm}^2)$$

Slika 9.1 Shematski prikaz najčešće korišteni žljebova

Pomoćno vrijeme (t_{p1} , t_{p2}) kod elektrolučnog zavarivanja uključuje gubitke vremena za vršenje dviju grupa elemenata rada:

- 1) povezanih sa šavom koji se zavaruje (t_{p1}) i
- 2) povezanih sa proizvodom koji se zavaruje i upravljanjem opremom za zavarivanje (t_{p2}).

Pri normiranju pomoćnog vremena, u elemente pomoćnog rada povezanog sa šavom koji se zavaruje obuhvaćeni su:

- a) zamjena elektroda i
- b) pregledi i čišćenje rubova koji se zavaruju,
- c) čišćenje šavova od šljake.

Pomoćno vrijeme povezano sa šavom koje se zavaruje izračunava se za horizontalni položaj zavarivanja. Kod zavarivanja u ostalim položajima potrebno je dobivenu vrijednost pomnožiti sa korekcijskim koeficijentom. Kod zavarivanja u vertikalnom položaju vrijednost korekcijskog koeficijenta je 1,25; kod zavarivanja u zidnom položaju 1,30; kod zavarivanja u nadglavnom položaju 1,50.

9.2 IZBOR POSTUPKA ZAVARIVANJA

Gledano sa stajališta analize tehnološkičnosti zavarene konstrukcije, izbor postupka zavarivanja je jedan od značajnijih detalja kod projektiranja tehnologije zavarivanja.

Još je važno naglasiti činjenicu da postoji međusobna povezanost svih čimbenika koji determiniraju tehnologiju zavarivanja.

Postoje različiti kriteriji za izbor postupka zavarivanja.

Neki od njih su:

- a. debljina osnovnog materijala koji se zavaruje;
- b. oblik žlijeba za zavarivanje;
- c. položaj zavarivanja;
- d. potrebna količina depozita;
- e. vrsta/vrste osnovnog materijala;
- f. zahtjevi za kvalitetu zavarenih spojeva.

Sam izbor postupka zavarivanja nije definirao tehnologiju zavarivanja, ali je dao važnu smjernicu za pristup projektiranju tehnologije zavarivanja.

a) debljina osnovnog materijala koji se zavaruje.

Kriterij za izbor postupka zavarivanja se temelji na mogućnosti primjene određenog postupka zavarivanja za određenu debljinu materijala.

Kod najčešće korištenih zavarivanja su:

REL 1 – 5 (ili više) za debljine 3 – 20 (150 mm);

EPP 1 – 25 ili za više prolaza 24 – 300 mm.

b) oblik žlijeba za zavarivanje

Ima veliki utjecaj kod odabira postupka zavarivanja jer od njega ovisi masa utrošenog dodatnog materijala, a veća masa uzrokuje:

- veću količinu dodatnog materijala;
- više vremena za zavarivanje;
- više potrebne energije;
- veće troškove stroja.

c) položaj zavarivanja

Položaj zavarivanja je vrlo važan kriterij kod izbora postupka zavarivanja. Iako je horizontalni (položeni) položaj zavarivanja najpoželjniji u odnosu na ostale položaje zavarivanja (nadglavni, zidni, vertikalni), često se puta iz određenih razloga ne izvodi zavarivanje u horizontalnom položaju.

Zavarivanje se izvodi u horizontalnom položaju. To često puta omogućuje primjenu širokog spektra standardnih naprava za zavarivanje, poboljšanje kvalitete i pouzdanosti zavarenih spojeva (nema rada u otežanim položajima zavarivanja), te smanjenje kako direktnih tako i indirektnih troškova zavarivanja (može se povećati produktivnost, a da se istovremeno smanji broj pogrešaka u zavarenim spojevima).

Položaj zavarivanja i oblik žlijeba za zavarivanje često puta je u određenom opsegu unaprijed određen koncepcijom projekta zavarene konstrukcije. No, suvremeni pristup projektiranju i izradi zavarenih konstrukcija zahtijeva aktivno sudjelovanje tehnologa zavarivanja (European Welding Engineer) u svim fazama životnog ciklusa zavarenog proizvoda, pa tako i u fazi projektiranja zavarene konstrukcije.

Već u fazi izbora položaja zavarivanja i oblika žlijeba za zavarivanje orijentacijski su određeni i mogući postupci zavarivanja koji dolaze u obzir kao moguće varijante. Izbor parametara zavarivanja kod određenog postupka zavarivanja je vrlo važna aktivnost i zahtijeva određena specijalistička znanja iz područja zavarivanja.

d) potrebna količina depozita

Jedan od kriterija pri izboru postupka zavarivanja može biti i potrebna količina depozita u jedinici vremena, kako bi se zavarena konstrukcija izradila u predviđenim rokovima. No, to svakako ne može biti jedini kriterij, već se veže sa ostalim kriterijima (npr. minimalno zahtijevana kvaliteta zavarenih spojeva, mogućnost zavarivanja s obzirom na položaj zavarivanja i ostale uvjete zavarivanja i drugi kriteriji). Uvažavajući kriterij potrebne količine depozita u jedinici vremena kao jedan od značajniji, uz već spomenute druge kriterije, izbor mogućeg postupka zavarivanja ograničava se na jedan do nekoliko postupaka zavarivanja.

e) Vrsta/vrste osnovnog materijala

Vrsta/vrste osnovnog materijala kao kriterij kod tehnološkog izbora postupka zavarivanja obično se veže uz zahtijevanu kvalitetu zavarenih spojeva. Ako se zahtjeva viša razina kvalitete zavarenih spojeva, tada se primjenjuju postupci zavarivanja ili kombinacija postupaka zavarivanja koja rezultira višu kvalitetu zavarenih spojeva.

f) Zahtjev za kvalitetu zavarenih spojeva

Zahtjev za kvalitetu zavarenih spojeva kao kriterij kod izbora postupka zavarivanja je jedan od najvažnijih kriterija pri izboru postupka zavarivanja sa stajališta tehnološkosti izrade zavarene konstrukcije. Viša razina kvalitete zavarenih spojeva zahtjeva “skuplje” postupke zavarivanja, što uvjetuje veće troškove proizvodnje i višu cijenu zavarene konstrukcije. Tehnološki je postupak zavarivanja ako se postigla barem minimalno zahtijevana kvaliteta zavarenih spojeva (minimalno zahtijevana pouzdanost zavarenih spojeva), uz udovoljenje zahtjeva funkcionalnosti, minimalan utrošak materijala i energije, najmanje zagađivanje čovjekove okoline, te kroz proizvodni proces ostvareni što veću ekonomsku dobit (dohodak). Iako je ekonomska dobit kod velikog broja proizvođača na prvom mjestu, zahtjevi za minimalan utrošak materijala i energije, te najmanje zagađivanje čovjekove okoline sve više dobivaju na značenju jer su nužni za opstanak čovjeka (tako se kod nekih zavarenih konstrukcija životni ciklus ne završava krajem eksploatacijskog vijeka, već postoji i recikliranje ili zbrinjavanje proizvoda nakon eksploatacije).

9.3 PRIPREMA ŽLJEBOVA

U čeličnim konstrukcijama za sučelne spojeve najčešće se koristi V-, i X-, žljebovi. Što je slučaj i na mostu u Slavonskom Šamcu.

Pri izradi zavarenih čeličnih konstrukcija još uvijek se dominantno primjenjuje REL zavarivanje, dok u posljednje vrijeme sve veću primjenu nalazi i EPP postupak zavarivanja, kao postupak koji povećava ravnomjernost osobina, a naročito produktivnost rada.

Troškovi

Ukupni troškovi zavarivanja se mogu podijeliti na troškove dodatnog materijala, troškove energije, troškove pripreme i vremena samog izvođenja postupka zavarivanja. Pravilnim izborom oblika, tolerancija i dimenzija žlijeba kao i izborom postupka zavarivanja mogu se smanjiti ukupni troškovi zavarivanja, a time ostvariti veća dobit.

Analizom različitih oblika žlijeba ustanovljeno je da je potrebno izraditi žlijeb sa najmanjom mogućom površinom poprečnog presjeka, uz osiguravanje potrebne pouzdanosti i kvalitete zavarenog spoja, jer minimalna površina daje minimalnu vrijednost količine dodatnog materijala i minimalnu mogućnost nastanka grešaka u zavarenom spoju.

Pri izboru tolerancija treba težiti njihovoj donjoj (min.) vrijednosti jer one uzrokuju najmanje troškove.

Slijedeći primjer će dati prikaz utjecaja tolerancije pripreme žlijeba za zavarivanje.

Primjer se odnosi na REL postupak zavarivanja u sučelnom V žlijebu. Otvor žlijeba treba biti $57 - 63^\circ$, kako bi elektroda mogla doći do korijena.

Error! Unknown switch argument.

Slika 9.3 Shematski prikaz "V" žlijeba

Debljina lima $d = 12 \text{ mm}$.



Slika 9.4 Fotografija uzdužni i poprečni žljebova



Slika 9.5 Fotografija zavarenih uzdužni i poprečni žljebova

Masa depozita za ovaj slučaj računa se pomoću sljedeće formule:

Error! Unknown switch argument.

gdje je k faktor u ovom slučaju 1,1, a uzima u obzir nadvišenje zavora sa strane lica zavarenog spoja.

Na crtežima se najčešće piše da je $\alpha = 60^{\pm 3^\circ}$, alibi kod zavarivanja korisnije bilo pisati $\alpha = 57^{+6^\circ}$, kako bi ciljana vrijednost bila 57° i to je vrijednost koja će dati minimalno potrebnu količinu depozita. Kada se ponovi proračun iz prethodnog primjera za vrijednosti $\alpha = 63^\circ$ i $\alpha = 57^\circ$, dobije se povećanje mase depozita od 10,7 %, ako je otvor žlijeba $\alpha = 63^\circ$ umjesto da je $\alpha = 57^\circ$.

$$\frac{F_{\alpha=63}}{F_{\alpha=57}} = \frac{115,8}{104,7} = 1,107$$

Izračunate vrijednosti nisu nikako zanemarive, pa bi svakako o ovakvim i sličnim primjerima trebalo posvetiti puno više pažnje, posebice pri projektiranju i kod pripreme proizvodnje. Izbor odgovarajućeg dodatnog materijala za zavarivanje osnovnog materijala i izbor optimalnih parametara zavarivanja kompleksniji je dio pripreme proizvodnje zavarivačkih radova koji obavljaju specijalisti za zavarivanje.

Ovisno o osnovnom materijalu koji se zavaruje (nelegirani, legirani, visokolegirani, mikrolegirani čelici, različite vrste ljevova, legura Al, Cu, Ti ...) odabiru se potencijalni dodatni materijali, bilo na osnovi direktive nadzornog organa, preporuka proizvođača ili na osnovu vlastitih iskustava. Slično se dolazi do vrijednosti parametara zavarivanja (kod elektrolučnih postupaka zavarivanja to su napon U i jakost struje zavarivanja I , brzina zavarivanja v , te stupanj korisnog djelovanja η). Potom se pristupa atestaciji ili verifikaciji tehnologije zavarivanja (osnovni i dodatni materijal, predgrijavanje, dogrijavanje, glavni parametri zavarivanja, postupak zavarivanja, položaj zavarivanja, naknadna toplinska obradba,...) u ovlaštenoj ustanovi. Tek nakon verifikacije tehnologije zavarivanja (ispitivanja metodama bez razaranja i metodama sa razaranjem) dobiveni su podaci koji se mogu koristiti za pripremu proizvodnje. Budući da je ovaj pristup standardiziran i propisan od strane nadležnih državnih institucija, ne pridržavanjem tih odredbi povećao bi se rizik zbog otkaza zavarenog proizvoda (rizik za ljude, čovjekovu okolinu i imovinu).

9.4 GLAVNI TROŠKOVI KOD ZAVARIVANJA

Zavarivanja koja su zastupljena na izgradnji mosta kod Slavanskog Šamca su REL i EPP vrste zavarivanja. Troškovi koji se nalaze kod zavarivanja mogu se izraziti u kn/kg depozita ili kn/m dužine zavara. Kao prikladniji način se obrazlaže iskazivanje troškova u kn/kg depozita. Kao glavni nosilac troškova je masa depozita. Na nju direktno utječe površina presjeka žlijeba u kojoj se tali dodatni materijal i dužina zavara. Ovo ukazuje da konstruktori i tehnolozi trebaju paziti na debljinu zavara, presjek žlijeba i dužinu zavara, te ove veličine držati što niže.

$$G_{dep} = A \cdot l \cdot \rho, \text{ kg}$$

ρ specifična masa, kg/m^3 ;

A....površina presjeka deponiranog DM (žlijeba), m^2 ;

l ... dužina zavara, m.

Najvažniji troškovi ručnog elektrolučnog zavarivanja obloženom elektrodom su troškovi:

1. osobnog dohotka – plaće radnika;
2. izvora struje (stroja) za zavarivanje;
3. električne energije;
4. elektroda.

Kod EPP zavarivanja žica ima ulogu elektrode, a umjesto zaštitnog plina upotrebljava se prašak, a glavni troškovi se sastoje iz troškova:

1. osobnog dohotka;
2. stroja za zavarivanje;
3. električne energije;
4. žice;
5. praška.



Slika 9.6 Fotografija EPP postzpk zavarivanja



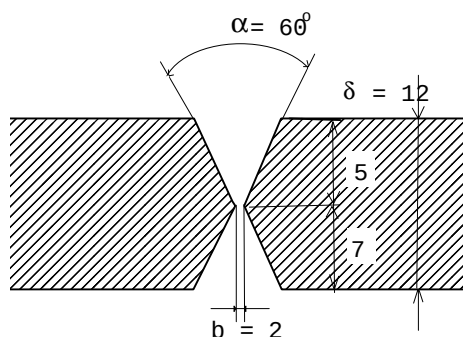
Slika 9.6 Fotografija REL postzpk zavarivanja

Veliki utjecaj kod zavarivanja imaju troškovi.

Troškovi direktno ovise o površini žlijeba koje treba popuniti dodatnim materijalom. Što je površina veća, veći je utrošak i dodatnog materijala, a samim tim je potrebno i više vremena za njegovo zavarivanje. Potrebno vrijeme je najveća investicija troškova kod zavarivanja. Na mostu preko rijeke Save kod Slavonskog Šamca za zavarivanje ortotropni ploča su korišteni "X" i "V" žljebovi. Poprečni spoj na ortotropnoj ploči je u obliku nesimetričnog "X" žlijeba i na crtežu M 072/1 je označeno kao detalj "I", dok je uzdužni spoj odnosno zavar u obliku "V" žlijeba i na crtežu M 071 prikazan kao detalj "A" u projektnoj dokumentaciji mosta. Zavarivanje se vrši REL i EPP postupkom. Na mostu je potrebno zavariti 26 ortotropnih ploča u duljini od 13000 mm.

Na slijedećim primjerima je proračunato koliko je vremena potrebno za REL i EPP postupak zavarivanja i sa kojim oblikom žlijeba.

1. Zavarivanje REL postupkom



Teorijska površina žlijeba (bez nadvišenja i dodatka zbog žljebljenja korijena):

$$F_t = 5 \cdot 5 \cdot \tan(30^\circ) + 7 \cdot 7 \cdot \tan(30^\circ) + b \cdot \delta$$

$$F_t = 67 \text{ m m}^2$$

Stvarna površina žlijeba uključuje dodatak na nadvišenje sa donje i gornje strane, te žljebljenje: (procjena cca. 40% od teorijske površine žlijeba)

$$F_{st} = F_t \cdot 1,4 = 67 \cdot 1,3 \approx 87 \text{ m m}^2$$

Volumen žlijeba za duljinu zavora od l = 13 000 mm:

$$V = F_{st} \cdot l = 87 \cdot 13000 = 1132300 \text{ m m}^3$$

Masa zavora za jedan zavar duljine 13 000 mm:

$$m = V \cdot \rho = 1132300 \cdot 7800 \cdot 10^{-9} = 8,83 \text{ kg depozita / jednom zavaru duljine 13 000 m m}$$

(Za REL postupak to bi značilo 14,13 kg elektrode po jednom zavaru duljine 13 000 mm; masa zavora se množi sa koeficijentom taljenja 1,6 kg elektrode/kg depozita !)

Procjena norme – trajanja zavarivanja (TZ) za REL postupak zavarivanja:

Predviđeno je da se zavaruje 11 sati, koeficijent taljenja je usvojen 1,6 kg depozita/sat, te je usvojen faktor intermitencije $\epsilon = 0,15$ (rad na visini, zavarivanje u nadglavnom položaju, ...)

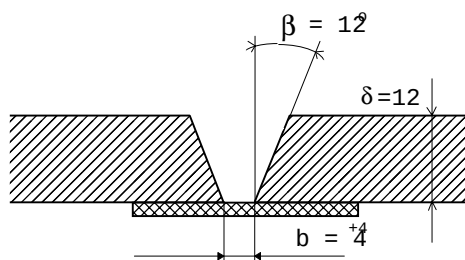
$$TZ = 11 \cdot 1,6 \cdot 0,15 = 2,64 \text{ kg depozita/dan}$$

Ako bi jedan zavarivač zavarivao 1 poprečni spoj duljine 13 000 mm onda bi mu trebalo $8,83 \text{ (kg depozita) / } 2,64 \text{ (depozita/dan)} = 3,35$ dana za jedan zavar.

Za 26 zavora trebalo bi mu 26 puta više odnosno približno 87 dana.

Napomena: koeficijent taljenja ovisi o promjeru elektrode, položaju zavarivanja, jakosti struje zavarivanja, ...

2. Zavarivanje EPP postupkom



Teorijska površina žlijeba (bez nadvišenja i dodatka zbog žljebljenja korijena):

$$F_t = \delta^2 \cdot \tan \beta + b \cdot \delta, (\text{mm})$$

$$F_t = 12^2 \cdot \tan(12^\circ) + 4 \cdot 12 = 80 \text{ mm}^2$$

Stvarna površina žlijeba uključuje dodatak na nadvišenje gornje strane: (procjena cca. 17 % od teorijske površine žlijeba)

$$F_{st} = F_t \cdot 1,2 = 80 \cdot 1,17 \approx 94 \text{ mm}^2$$

$$F_{st} = F_t \cdot 1,4 = 67 \cdot 1,4 \approx 94 \text{ mm}^2$$

Volumen žlijeba za duljinu zavora od l = 13 000 mm:

$$V = F_{st} \cdot l = 94 \cdot 13000 = 1222000 \text{ mm}^3$$

Masa zavora za jedan zavar duljine 13 000 mm:

$$m = V \cdot \rho = 1222000 \cdot 7800 \cdot 10^{-9} = 9,53 \text{ kg depozita/jednom zavaru duljine 13 000 mm}$$

Procjena norme – trajanja zavarivanja (TZ) za EPP postupak zavarivanja:

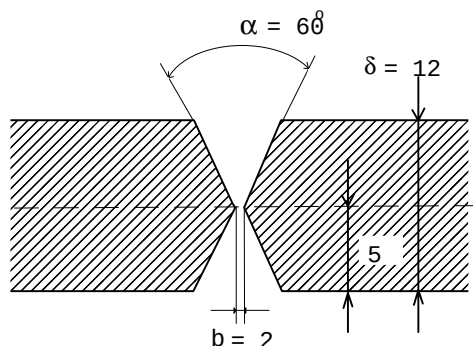
Predviđeno je da se zavaruje 11 sati, koeficijent taljenja je usvojen 7 kg depozita/sat, te je usvojen faktor intermitencije $\epsilon = 0,65$ – rad na visini, no radi se o automatskom zavarivanju)
 $TZ = 11 \cdot 7 \cdot 0,65 \approx 50$ kg depozita/dan

Jedan automat za zavarivanje zavarao bi $50/9,53 = 5,25$ zavara duljine 13 000 mm u jednom danu.

Drugim riječima za svih 26 zavara trebalo bi mu približno 5 dana.

Napomena: koeficijent taljenja ovisi o promjeru žice za EPP zavarivanje, jakosti struje zavarivanja, ...

3. Zavarivanje REL postupkom sa donje strane i EPP postupkom sa gornje strane



Teorijska površina žlijeba (bez nadvišenja i dodatka zbog žljebljenja korijena):

$$F_t = 5 \cdot 5 \cdot \tan(30^\circ) + 7 \cdot 7 \cdot \tan(30^\circ) + b \cdot \delta$$

$$F_t = F_{REL} + F_{EPP} = [5 \cdot 5 \cdot \tan(30^\circ) + 2 \cdot 5] + [7 \cdot 7 \cdot \tan(30^\circ) + 2 \cdot 7]$$

$$F_t = F_{REL} + F_{EPP} = 24,43 + 42,29 \approx 67 \text{ m m}^2$$

Stvarna površina žlijeba uključuje dodatak na nadvišenje sa donje i gornje strane, te žljebljenje: (procjena cca. 40% od teorijske površine žlijeba)

$$F_{st} = F_{stREL} + F_{stEPP} = 87 \cdot 0,4 + 87 \cdot 0,6 = 34,8 + 52,2 = 87 \text{ m m}^2$$

Volumen 40 % stvarne površine žlijeba za duljinu zavara od l = 13 000 mm (REL dio):

$$V_{REL} = F_{stREL} \cdot l = 34,8 \cdot 13000 = 452400 \text{ m m}^3$$

Volumen 60 % stvarne površine žlijeba za duljinu zavara od l = 13 000 mm (EPP dio):

$$V_{EPP} = F_{stEPP} \cdot l = 52,2 \cdot 13000 = 678600 \text{ m m}^3$$

Masa zavara za jedan zavar duljine 13 000 mm:

$$m = m_{REL} + m_{EPP} = V_{REL} \cdot \rho + V_{EPP} \cdot \rho = 3,53 + 5,29 = 8,82 \text{ kg depozita / l za var u duljine 13 000 mm}$$

Procjena norme – trajanja zavarivanja (TZ) za REL i EPP postupak zavarivanja:

Procjena udjela REL i EPP postupka zavarivanja:

$$\text{REL} = 5/12 \cdot 100 \% = 40 \%$$

$$\text{EPP} = 7/12 \cdot 100 \% = 60 \%$$

Zavarivanje REL dijela zavara:

Predviđeno je da se zavaruje 11 sati, koeficijent taljenja je usvojen 1,6 kg depozita/sat, te je usvojen faktor intermitencije $\varepsilon = 0,15$ (rad na visini, zavarivanje u nadglavnom položaju, ...)

$$TZ = 11 \cdot 1,6 \cdot 0,15 = 2,64 \text{ kg depozita/dan}$$

Ako bi jedan zavarivač zavarivao 1 poprečni spoj duljine 13 000 mm s donje strane (nadglavno) onda bi mu trebalo $3,53 \text{ (kg depozita) } / 2,64 \text{ (depozita/dan)} = 1,34$ dana za jedan zavar.

Za 26 zavara trebalo bi mu 26 puta više odnosno približno 35 dana.

Zavarivanje EPP dijela zavara:

Predviđeno je da se zavaruje 11 sati, koeficijent taljenja je usvojen 7 kg depozita/sat, te je usvojen faktor intermitencije $\varepsilon = 0,65$.

$$TZ = 11 \cdot 7 \cdot 0,65 \approx 50 \text{ kg depozita/dan}$$

Jedan automat za zavarivanje zavarao bi $50/5,29 = 9,45$ zavara duljine 13 000 mm u jednom danu.

Drugim riječima za svih 26 zavara trebalo bi mu približno 2,75 dana.

Napomena: Budući da EPP zavarivanje slijedi nakon REL zavarivanja, potreban je što veći broj REL zavarivača za zavarivanje sa donje strane. Ovisno o njihovom broju i učinku moći će se primjenjivati EPP postupak za bržu izradu konstrukcije.

Iz proračuna je vidljivo da EPP postupak zavarivanja ide puno brže međutim nije svugdje primjenjiv. Najsloženije je nadglavno zavarivanje i izvodi se sa REL postupkom. Iziskuje dosta vremena, zbog toga se koristi veći broj kvalitetnih zavarivača.