

2 OPTIMALIZACIJA GLAVNIH TROŠKOVA ZAVARIVANJA, OBLIKA ŽLIJEBA I TOLERANCIJA

2.1 ANALIZA GLAVNIH TROŠKOVA ČEŠĆE ZASTUPLJENIH ELEKTROLUČNIH POSTUPAKA ZAVARIVANJA

Svrha analize tehnološkičnosti i optimalizacije troškova je postizanje maksimalne dobiti. Kako bi se osigurala maksimalna dobit potrebno je izabrati optimalno rješenje postupka zavarivanja, optimalan oblik žlijeba te odgovarajuće tolerancije žlijeba.

Dobit se može izraziti kao razlika između cijene koju proizvod može postići na tržištu i troškova nabave i izrade.

$$\text{DOBIT} = \text{CIJENA} - \text{TROŠKOVI}$$

Kako cijenu zavarenog proizvoda definira tržište poželjno je troškove proizvodnje svesti na najmanju moguću mjeru kako bi dobit bila maksimalna. Pravilnim izborom načina zavarivanja te drugih čimbenika koji utječu na troškove zavarenog proizvoda mogu se postići najmanji troškovi, a time i najveća dobit.

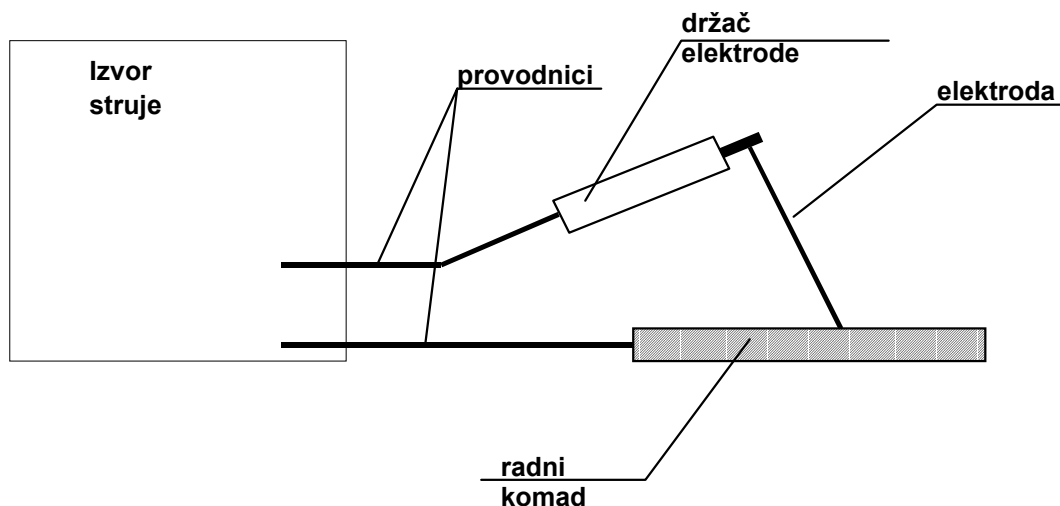
Najzastupljeniji elektrolučni postupci zavarivanja su:

- REL - ručno elektrolučno zavarivanje obloženom elektrodom
- MAG- zavarivanje taljivom elektrodom pod zaštitom aktivnog plina
- MIG - zavarivanje taljivom elektrodom pod zaštitom inertnog plina
- EP - elektrolučno zavarivanje pod zaštitom praška
- TIG - zavarivanje netaljivom elektrodom pod zaštitom plina

MAG, MIG i TIG zavarivanje pripadaju poluautomatiziranim, dok EP zavarivanje pripada potpuno automatiziranim postupcima zavarivanja. Svaki od ovih postupaka se izvodi drugačije te su im i glavni troškovi zavarivanja različiti. U slijedećim poglavljima su kratko opisani postupci zavarivanja i glavni troškovi pojedinih postupaka zavarivanja uz primjere troškova radi lakše usporedbe.

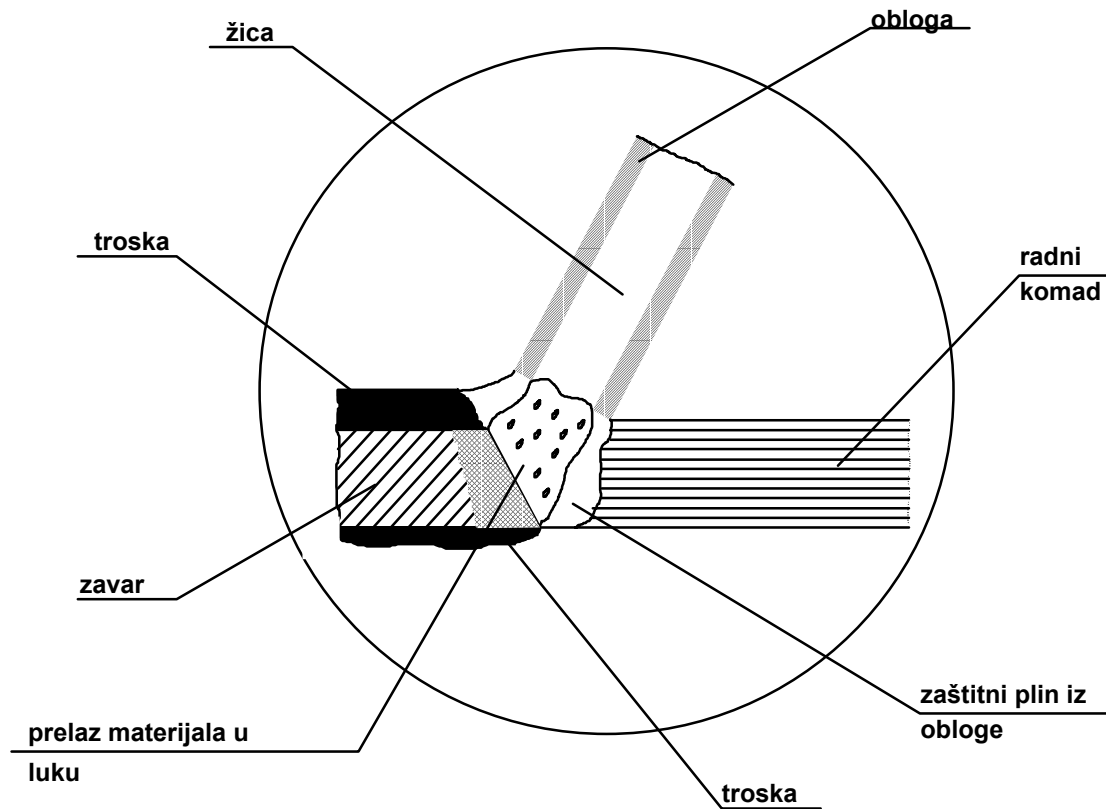
2.1.1 Ručno elektrolučno zavarivanje (REL zavarivanje)

Ručno elektrolučno zavarivanje prikazano je shematski na slici 2.1.



Slika 2.1 Shematski prikaz REL zavarivanja

Osnovni elementi REL postupka zavarivanja su izvor struje zavarivanja, elektroda, zavarivački provodnici, kliješta za učvršćivanje elektrode (držač) i stezaljka za priključak zavarivanog komada (osnovni materijal) [2]. Najčešće se primjenjuju obložene elektrode, tj. takve elektrode koje imaju metalnu jezgru u obliku žice na koju je nanesena nemetalna obloga. Osim ovog oblika može se rjeđe susresti i cjevasta elektroda s jezgrom tj. punjenjem unutar cijevi, koje ima funkciju obloge. Provodnici električne energije izrađeni su od snopova tankih bakrenih žica i izolirani gumom, plastičnim masama i tekstilnim vlaknima. Priključci (utikači, stezaljke i kliješta) moraju biti dobro pričvršćeni i u takvom stanju da osiguraju dobar električni kontakt. Pri zavarivanju obloga elektrode odnosno jezgra pretvara se u trosku koja prekriva i lice i korijen zavara, kako je prikazano na slici 2.2 [3].



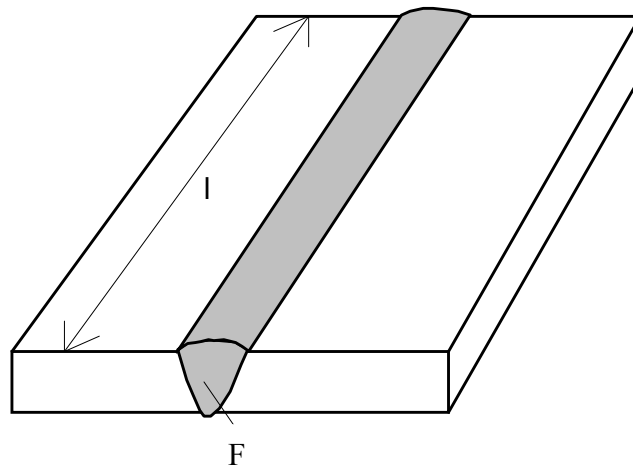
Slika 2.2 Shematski prikaz procesa ručnog elektrolučnog (REL) zavarivanja

- **Glavni troškovi REL zavarivanja**

Najvažniji troškovi ručnog elektrolučnog zavarivanja obloženom elektrodom su:

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

Troškovi se mogu izraziti u DEM/kg depozita ili DEM/m dužine zavara. Kao prikladniji način se obrazlaže iskazivanje troškova u DEM/kg depozita. Naime za 1 m zavarenog spoja može se utrošiti različita količina depozita, a troškovi su proporcionalni masi depozita (slika 2.3).



Slika 2.3 Zavar (količina istaljenog dodatnog materijala)

Masa depozita (količina istaljenog dodatnog materijala):

$$G_{\text{dep}} = F \cdot l \cdot \rho, \text{ kg} \quad (2.1)$$

gdje je: G_{dep} - masa depozita, kg

ρ - specifična masa, kg/m^3

F - površina presjeka žlijeba, m^2

l - duljina zavora, m

Masa depozita i troškovi zavarivanja će biti manji što je manja površina presjeka žlijeba i duljina zavora.

Teorijski troškovi zavarivanja će biti minimalni (minimum funkcije G), ako je $F = 0$ ili $l = 0$, dakle za slučaj bez zavarenih spojeva. Ovaj zaključak upućuje na to kako konstruktori i tehnolozi trebaju jako paziti na debljinu zavora, presjek žlijeba i duljinu zavora, te ove veličine držati što manjim [1].

1. Troškovi elektroda

$$T_{\text{elektroda}} = C_{\text{elektroda}}^l \cdot k'_t, \text{ DEM/kg depozita} \quad (2.2)$$

gdje je: $C_{\text{elektroda}}^l$ - jedinična cijena elektroda, DEM/kg elektroda

k'_t - koeficijent taljenja elektrode koji iskazuje iznos mase elektrode zajedno sa oblogom koja je potrebna da se istali (deponira) 1 kg depozita. Ovaj koeficijent ovisi o debljini obloge elektrode, dodatku željeznog praha u oblozi, koji se dodaje zbog povećanja učinka, te o otpatku ("ćiku") elektrode, koji zavarivač ostavlja neiskorišten.

Taj otpadak treba biti što manji i ako se pazi može iznositi 30 - 50 mm. Duži otpaci zbog nepažnje uzrokovat će veće troškove. k'_t je različit i može iznositi npr. 1,7 kg elektroda/kg depozita.

Primjer:

$$T_{\text{elektroda}} = C^1_{\text{elektroda}} \cdot k'_t = 5 \cdot 1,7 = 8,5 \text{ DEM/kg depozita}$$

2. Troškovi električne energije

Snaga električne energije:

$$N = \frac{U \cdot I}{1000 \cdot \eta_s} \cdot \varepsilon + N_o \cdot (1 - \varepsilon) , \text{ kW} \quad (2.3)$$

Električna energija za 1 kg depozita:

$$E_{\text{kg}} = \left[\frac{U \cdot I}{1000 \cdot \eta_s} \cdot \varepsilon + N_o \cdot (1 - \varepsilon) \right] \cdot \frac{1}{k_t \cdot \varepsilon} , \text{ DEM/kWh} \quad (2.4)$$

Izraz za troškove električne energije se dobije ako se izraz (2.4) pomnoži sa jediničnom cijenom električne energije $C^1_{\text{el.en.}}$.

$$T_{\text{el. energije}} = \left[\frac{U \cdot I}{1000 \cdot \eta_s} \cdot \varepsilon + N_o (1 - \varepsilon) \right] \cdot \frac{1}{k_t \cdot \varepsilon} \cdot C^1_{\text{el.en.}} , \text{ DEM/kg depozita} \quad (2.5)$$

gdje je : U - napon električnog luka; orijentacijski za REL 20 - 25 V

I - struja zavarivanja; približno $40 \cdot$ promjer elektrode, A

η_s - stupanj korisnog djelovanja stroja: - rotacijski agregat 0,55 – 0,65

- transformator 0,80 – 0,95

- ispravljač..... 0,75 – 0,85

ε - intermitencija, vrijeme uključivanja električnog luka

$$\varepsilon = \frac{\text{vrijeme gorenja luka}}{\text{ukupno radno vrijeme}} \quad (2.6)$$

Vrijednost ε za REL zavarivanje je obično oko 0,3 , a samo u dobro organiziranoj proizvodnji može iznositi do 0,5. Za automatska zavarivanja mogu se postići veće vrijednosti. Izračunavanje vrijednosti ε za vlastitu radionicu se može provesti

metodom trenutnih zapažanja (MTZ u studiju rada) mjereći u slučajnim vremenskim intervalima koliko puta luk gori na svim radnim mjestima u odnosu na ukupan broj zapažanja.

N_0 - snaga koju stroj koristi u praznom hodu, kada luk ne gori. Snaga se tada troši za rad ventilatora, trenje, rasipanje magnetskog polja, i zagrijavanje vodiča u stroju. N_0

iznosi približno za: - agregate 1,0 kW
 - ispravljače 0,7 kW
 - transformatore 0,5 kW

k_t - koeficijent taljenja elektrode, g/(A·h) ili kg depozita/h iskazuje efikasnost taljenja elektrode. Orijentacijska vrijednost iznosi oko $10 \cdot I$ g/(A·h). Ako se zavaruje sa elektrodom ϕ 4 mm i strujom od 160 A, tada se k_t može izraziti i u kg dep/h:

$$k_t = I \cdot 10 = 1600 \text{ g/h} = 1,6 \text{ kg depozita/h.}$$

Koeficijent taljenja ovisi o vrsti elektrode, količini željeznog praška u elektrodi, o materijalu obloge elektrode i jakosti struje zavarivanja.

$C_{el.en}^1$ - jedinična cijena električne energije, DEM/kWh. Viša tarifa cijene industrijske struje $\cong 0,11$ DEM/kWh.

Primjer za zavarivanje elektrodom ϕ 4 mm:

$$T_{el. energije} = \left[\frac{U \cdot I}{1000 \cdot \eta_s} \cdot \varepsilon + N_0 (1 - \varepsilon) \right] \cdot \frac{1}{k_t \cdot \varepsilon} \cdot C_{el.en}^1$$

$$T_{el. energije} = \left[\frac{22 \cdot 160}{1000 \cdot 0,6} \cdot 0,3 + 1 \cdot (1 - 0,3) \right] \cdot \frac{1}{1,6 \cdot 0,3} \cdot 0,11 = 0,564 \text{ DEM/kg depozita}$$

3. Troškovi osobnog dohotka izrade

$$T_{ODI} = \frac{ODI}{k_t \cdot \varepsilon}, \text{ DEM/kg depozita} \quad (2.7)$$

gdje je: ODI - bruto iznos OD (osobnog dohotka), koji se dobije, ako se neto OD dodaje u obavezna davanja društvenoj zajednici (mirovinsko i zdravstveno osiguranje i ostala izdvajanja).

Primjer:

Neto $OD = 10$ DEM, davanja društvenoj zajednici 60%.

$$T_{ODI} = \frac{ODI}{k_t \cdot \varepsilon} = \frac{10 \cdot 1,6}{1,6 \cdot 0,3} = 33,3 \text{ DEM/kg depozita}$$

4. Troškovi stroja za zavarivanje

Troškovi stroja računati po satu rada za 1 godinu:

$$T_s^1 = \frac{C_N (\text{amort.} + \text{osiguranje} + \text{održavanje} + \text{kamate PF})}{\text{broj sati rada godišnje}}, \text{ DEM/h} \quad (2.8)$$

$$T_{\text{stroja}} = T_s^1 \cdot \frac{1}{k_t \cdot \varepsilon}, \text{ DEM/kg depozita} \quad (2.9)$$

Ako se u izraz (2.9) uvrsti izraz (2.8) dobije se formula za izračunavanje troškova stroja:

$$T_{\text{stroja}} = \frac{C_N (\text{amort.} + \text{osiguranje} + \text{održavanje} + \text{kamate PF})}{\text{broj sati rada godišnje}} \cdot \frac{1}{k_t \cdot \varepsilon}, \text{ DEM/kg depozita} \quad (2.10)$$

gdje je: C_N - nabavna cijena stroja, DEM

amort. - godišnja stopa amortizacije, npr. 0,1 (10% od C_N godišnje) otpis stroja za 10 godina.

osiguranje - premija osiguranja godišnje, npr. 0,01 (1 % od C_N)

održavanje - godišnji iznos za održavanje, npr. 0,04 (4 % od C_N)

kamate PF - kamate ili porez na poslovni fond (osnovna sredstva) ako se moraju plaćati društvenoj zajednici

Broj sati rada godišnje stroja u jednoj ili više smjena ovisi o stvarnom korištenju stroja.

Primjer:

$$T_{\text{stroja}} = \frac{C_N (\text{amort.} + \text{osiguranje} + \text{održavanje} + \text{kamate PF})}{\text{broj sati rada godišnje}} \cdot \frac{1}{k_t \cdot \varepsilon}$$

$$T_{\text{stroja}} = \frac{3000 \cdot (0,1 + 0,01 + 0,04)}{2200} \cdot \frac{1}{1,6 \cdot 0,3} = 0,426 \text{ DEM/kg depozita}$$

Ukupno glavni troškovi:

Ukupno glavni troškovi su jednaki zbroju pojedinih troškova zavarivanja i iznose:

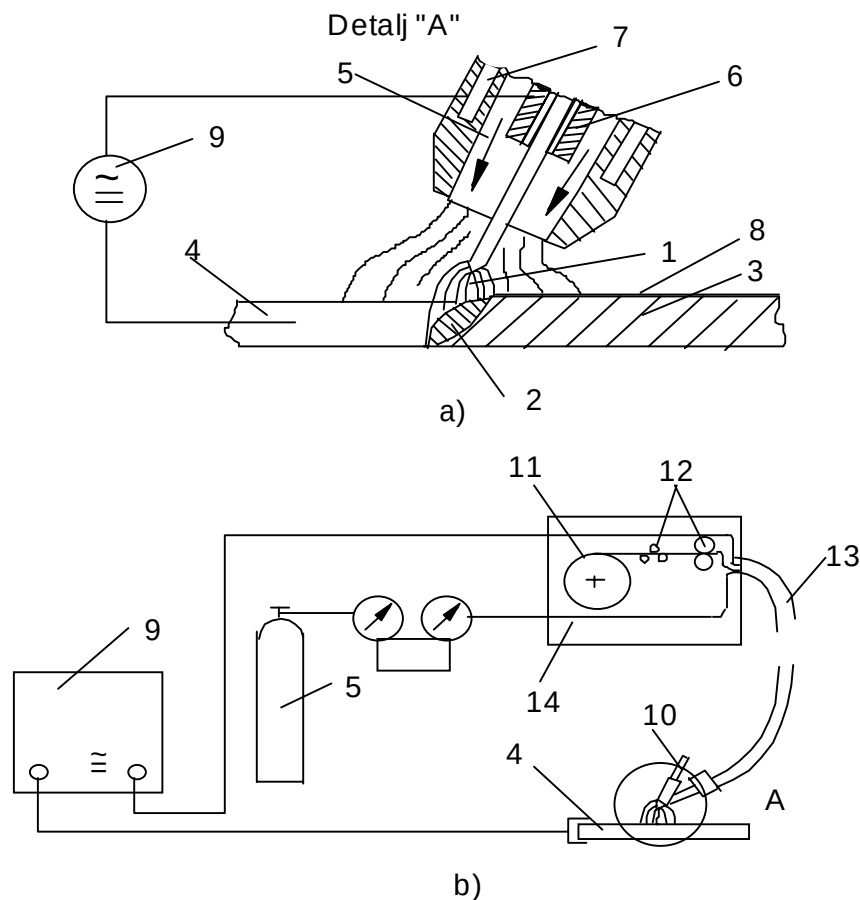
$$T_{\text{uk}} = \sum_{i=1}^{n=4} T_i, \text{ DEM/kg depozita} \quad (2.11)$$

$$T_{\text{uk}} = T_{\text{elektroda}} + T_{\text{el.energije}} + T_{\text{ODI}} + T_{\text{stroja}}$$

$$T_{\text{uk}} = 8,5 + 0,564 + 33,3 + 0,426 = 42,79 \text{ DEM/kg depozita}$$

2.1.2 Zavarivanje taljivom elektrodom pod zaštitom plina (MAG/MIG zavarivanje)

Kod MAG/MIG postupka zavarivanja električni luk se odražava između taljive, kontinuirane elektrode u obliku žice i predmeta koji se zavaruje. Proces se odvija u zaštitnoj atmosferi koju osiguravaju inertni plinovi (Ar ili He) ili aktivni plinovi (CO_2 i mješavine). U ovisnosti o vrsti upotrebljavanog plina i postupak nosi oznaku MAG (zaštita aktivnim plinom) ili MIG (zaštita inertnim plinom). Sam uređaj za zavarivanje u oba slučaja je isti. Shematski je proces i uređaj prikazan slikom 2.4.



Slika 2.4 Shema elektro-lučnog zavarivanja taljivom metalnom elektrodom u zaštitnoj atmosferi plinova (MAG/MIG zavarivanje): a) proces taljenja, b) poluautomat za MAG/MIG – shema kompletnog uređaja

(1 - električni luk, 2 - rastaljeni materijal, 3 - skrtnuti zavar, 4 - osnovni materijal, 5 - zaštitni plin, 6 - kontaktna vodilica, 7 - prisilno hlađenje vodom, 8 - troska, 9 - izvor struje, 10 - pištolj za zavarivanje, 11 - kolut sa žicom, 12 - valjčići za pogon žice, 13 - provodnici, 14 - komandni ormarić)

Pogonski sustav dodaje žicu konstantnom brzinom kroz cijevni paket i pištolj u električni luk. Žica je istovremeno i elektroda i dodatni materijal, to jest njezinim taljenjem se popunjava pripremljeni žlijeb. Postupak može biti poluautomatski (dodavanje žice mehanizirano a vođenje pištolja ručno) ili automatski potpuno mehaniziran. U drugom slučaju glava s pištoljem se može pokretati nekim mehanizmom, ili je ona nepomična, ali zato radni komad ima mehanizirano gibanje.

Zaštitni plinovi koji se koriste kod ovog postupka štite rastaljeni metal od utjecaja okolne atmosfere, a dovode se na mjesto zavarivanja kroz posebnu sapnicu na pištolju koja se nalazi oko kontaktne cjevčice. Ionizacijom plina osigurava se vodljivi prostor za održavanje električnog luka. Kod MAG/MIG zavarivanja najčešće se koriste pune žice, a osim njih koriste se i praškom punjene žice [3].

- **Glavni troškovi MAG/MIG zavarivanja**

Pristup izračunavanju glavnih troškova MAG/MIG zavarivanja je sličan pristupu izračunavanja glavnih troškova kod REL zavarivanja. Razlika u odnosu na glavne troškove REL zavarivanja je dodatak troška plina za zavarivanje, dok se umjesto elektrode koristi žica. Parametri MAG/MIG zavarivanja se također bitno razlikuju od parametara REL postupka.

1. Troškovi žice

$$T_{\text{žice}} = C_{\text{žice}}^l \cdot k'_t, \text{ DEM/kg depozita} \quad (2.12)$$

gdje je: $C_{\text{žice}}^l$ - cijena žice, DEM/kg depozita

k'_t - koeficijent taljenja žice, kg žice/kg depozita

za MAG zavarivanje $k'_t = 1,05$ kg žice/kg depozita

Primjer:

$$T_{\text{žice}} = C_{\text{žice}} \cdot k'_t = 2,1 \cdot 1,05 = 2,205 \text{ DEM/kg depozita}$$

2. Troškovi električne energije

Troškovi električne energije za MAG/MIG postupak izračunavaju se prema istom izrazu za troškove električne energije REL postupka (2.5).

Primjer:

$$T_{\text{el. energije}} = \left[\frac{U \cdot I}{1000 \cdot \eta_s} \cdot \varepsilon + N_o(1 - \varepsilon) \right] \cdot \frac{1}{k_t \cdot \varepsilon} \cdot C_{\text{el.en.}}^l$$

$$T_{\text{el. energije}} = \left[\frac{25 \cdot 180}{1000 \cdot 0,8} \cdot 0,5 + 1 \cdot (1 - 0,5) \right] \cdot \frac{1}{1,8 \cdot 0,5} \cdot 0,11 = 0,405 \text{ DEM/kg depozita}$$

3. Troškovi osobnog dohotka izrade

Troškovi osobnog dohotka izrade se izračunavaju prema izrazu (2.7).

Primjer:

Neto $OD = 10$ DEM, davanja društvenoj zajednici 60%.

$$T_{ODI} = \frac{ODI}{k_t \cdot \varepsilon} = \frac{10 \cdot 1,6}{1,8 \cdot 0,5} = 17,78 \text{ DEM/kg depozita}$$

4. Troškovi plina

$$K_{CO_2} = \frac{p_{CO_2} \cdot 60}{k_t}, \text{ l/kg depozita} \quad (2.13)$$

$$T_{CO_2} = C_{CO_2} \cdot K_{CO_2}, \text{ DEM/kg depozita} \quad (2.14)$$

gdje je: T_{CO_2} - troškovi plina CO_2 , DEM/kg depozita

K_{CO_2} - koeficijent potrošnje CO_2 , l/kg depozita

p_{CO_2} - potrošnja plina CO_2 , l/min

k_t - koeficijent taljenja za CO_2 postupak, kg depozita/h

C_{CO_2} - cijena CO_2 , DEM/l

Primjer:

$$K_{CO_2} = \frac{p_{CO_2} \cdot 60}{k_t} = \frac{17,05 \cdot 60}{3,3} = 310 \text{ l/kg depozita}$$

$$T_{CO_2} = C_{CO_2} \cdot K_{CO_2} = 0,001 \cdot 310 = 0,31 \text{ DEM/kg depozita}$$

5. Troškovi stroja za zavarivanje

Izračunavanje troškova stroja za zavarivanje se provodi prema izrazu (2.10). Nabavna cijena stroja C_N kod MAG/MIG zavarivanja je veća u odnosu na cijenu stroja kod REL zavarivanja. Izdvajanje za amortizaciju, osiguranje, održavanje kao i broj radnih sati je identičan kao kod REL zavarivanja zbog lakše usporedbe.

Primjer:

$$T_{\text{stroja}} = \frac{C_N (\text{amort.} + \text{osiguranje} + \text{održavanje} + \text{kamate PF})}{\text{broj sati rada godišnje}} \cdot \frac{1}{k_t \cdot \varepsilon}$$
$$T_{\text{stroja}} = \frac{5000 \cdot (0,1 + 0,01 + 0,04)}{2200} \cdot \frac{1}{1,8 \cdot 0,5} = 0,38 \text{ DEM/kg depozita}$$

Ukupno glavni troškovi:

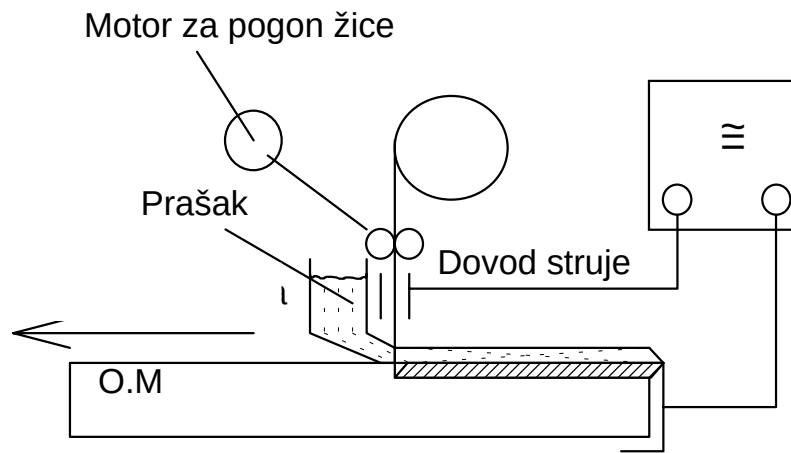
Ukupno glavni troškovi se izračunavaju prema izrazu (2.11).

Primjer:

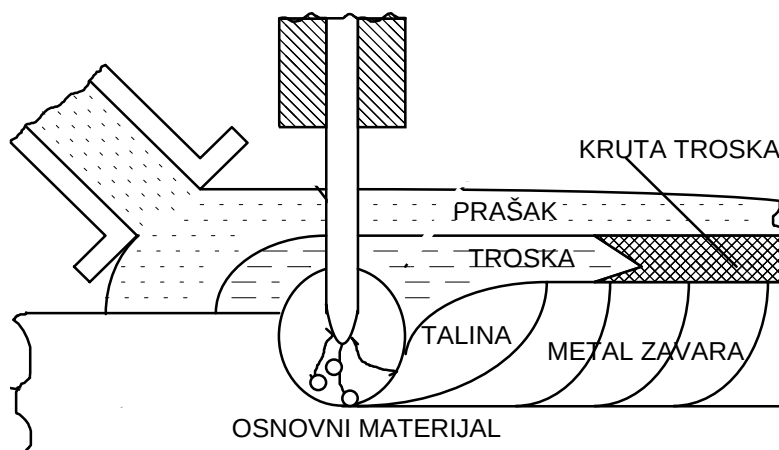
$$T_{\text{uk}} = \sum_{i=1}^{n=5} T_i, \text{ DEM/kg depozita}$$
$$T_{\text{uk}} = T_{\text{žice}} + T_{\text{el.energije}} + T_{\text{ODI}} + T_{\text{CO2}} + T_{\text{stroja}}$$
$$T_{\text{uk}} = 2,205 + 0,405 + 17,78 + 0,31 + 0,38 = 21,08 \text{ DEM/kg depozita}$$

2.1.3 Elektrolučno zavarivanje pod zaštitom praška (EP zavarivanje)

Kod elektrolučnog zavarivanja pod zaštitom praška električni luk se održava između kontinuirane taljive elektrode (najčešće u obliku žice) i radnog komada. Električni luk se u toku procesa ne vidi jer je prekriven slojem praška i troske koja nastaje taljenjem tog praška. Prašak štiti rastaljeni metal od djelovanja okolne atmosfere, onemogućava naglo hlađenje zavara i oblikuje zavar. Shema postupka prikazana je na slici 2.5, a proces taljenja i skrućivanja na slici 2.6.



Slika 2.5 Shema elektro-lučnog zavarivanja pod zaštitom praška (EP)



Slika 2.6 Proces taljenja metala pri EP zavarivanju

Najčešće se primjenjuje mehanizirana varijanta postupka, gdje je mehanizirano dodavanje elektrodne žice i pomicanje u smjeru zavarivanja. Postoje i poluautomatski uređaji gdje se vođenje glave obavlja ručno. Ovaj postupak se primjenjuje za zavarivanje u položenom položaju, ili u posebnim slučajevima u horizontalno-vertikalnom položaju (npr. gradnja plašta rezervoara). U ostalim je položajima postupak teško primjenjiv, jer zbog padanja praška nema zaštite mjesta zavarivanja. EP zavarivanje je namijenjeno prvenstveno za zavarivanje i navarivanje debljih i duljih spojeva [3].

- **Glavni troškovi EP zavarivanja**

Izračunavanje glavnih troškova EP zavarivanja je slično izračunavanju istih kod REL i MAG/MIG postupka. Razlika u odnosu na MAG/MIG postupak je u tome što se umjesto

zaštitnog plina koristi prašak, dok se umjesto elektrode, koja se koristi u REL postupku, koristi žica.

1. Troškovi žice

Troškovi žice se izračunavaju prema izrazu (2.12).

Primjer:

$$T_{\text{žice}} = C_{\text{žice}} \cdot k'_t = 2,1 \cdot 1,05 = 2,205 \text{ DEM/kg depozita}$$

2. Troškovi električne energije

Troškovi električne energije se izračunavaju prema izrazu (2.5).

Primjer:

$$T_{\text{el. energije}} = \left[\frac{U \cdot I}{1000 \cdot \eta_s} \cdot \varepsilon + N_o(1 - \varepsilon) \right] \cdot \frac{1}{k_t \cdot \varepsilon} \cdot C_{\text{el.en.}}^1$$
$$T_{\text{el. energije}} = \left[\frac{30 \cdot 600}{1000 \cdot 0,9} \cdot 0,9 + 1 \cdot (1 - 0,9) \right] \cdot \frac{1}{8 \cdot 0,9} \cdot 0,11 = 0,277 \text{ DEM/kg depozita}$$

3. Troškovi osobnog dohotka izrade

Troškova osobnog dohotka izrade se izračunavaju prema izrazu (2.7).

Primjer:

$$T_{\text{ODI}} = \frac{ODI}{k_t \cdot \varepsilon} = \frac{10 \cdot 1,6}{8 \cdot 0,9} = 2,96 \text{ DEM/kg depozita}$$

4. Troškovi praška

Prilikom zavarivanja EP postupkom za 1 kg depozita potrebno je oko 1,2 kg praška.

$$T_p = 1,2 \cdot C_p, \text{ DEM/kg depozita} \quad (2.15)$$

gdje je: T_p – troškovi praška, DEM/kg depozita

C_p – cijena praška, DEM/kg praška

Primjer:

$$T_p = 1,2 \cdot C_p = 1,2 \cdot 2,1 = 2,52 \text{ DEM/kg depozita}$$

5. Troškovi stroja za zavarivanje

Troškovi stroja za zavarivanje se izračunavaju prema izrazu (2.10), uz nabavnu cijenu stroja C_N koja je veća od nabavne cijene stroja kod MAG/MIG i REL zavarivanja.

Primjer:

$$T_{\text{stroja}} = \frac{C_N (\text{amort.} + \text{osiguranje} + \text{održavanje} + \text{kamate PF})}{\text{brojsati rada godišnje}} \cdot \frac{1}{k_t \cdot \varepsilon}$$
$$T_{\text{stroja}} = \frac{8000 \cdot (0,1 + 0,01 + 0,04)}{2200} \cdot \frac{1}{8 \cdot 0,9} = 0,076 \text{ DEM/kg depozita}$$

Ukupno glavni troškovi:

Ukupno glavni troškovi se izračunavaju prema izrazu (2.11).

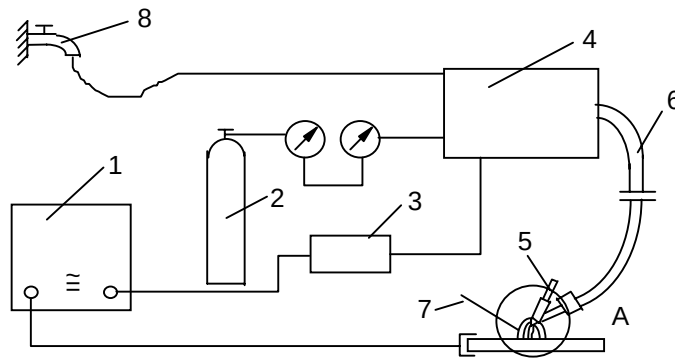
Primjer:

$$T_{\text{uk}} = \sum_{i=1}^{n=5} T_i, \text{ DEM/kg depozita}$$
$$T_{\text{uk}} = T_{\text{žice}} + T_{\text{el.energije}} + T_{\text{ODI}} + T_p + T_{\text{stroja}}$$
$$T_{\text{uk}} = 2,205 + 0,277 + 2,96 + 2,52 + 0,076 = 8,038 \text{ DEM/kg depozita}$$

2.1.4 Zavarivanje netaljivom elektrodom pod zaštitom plina (TIG zavarivanje)

TIG zavarivanje je naziv za elektrolučni postupak zavarivanja gdje se toplinom oslobođenom u električnom luku, koji se uspostavlja između elektrode načinjene iz volframa i radnog komada, tali osnovni i po potrebi dodatni materijal. Mjesto zavarivanja (rastaljeni osnovni materijal, dodatni materijal, zagrijani vrh elektrode) štiti se od štetnog djelovanja okolne atmosfere inertnim plinovima.

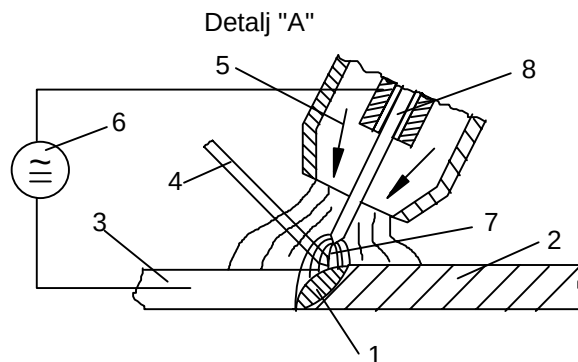
Uređaj za TIG zavarivanje shematski je prikazan na slici 2.7.



Slika 2.7 Shematski prikaz kompletnog uređaja za TIG zavarivanje

(1 – izvor struje, 2 – zaštitni plin, 3 – visokofrekventni generator, 4 – komandni dio, 5 – pištolj za zavarivanje, 6 – provodnici, 7 – električni luk, 8 – dovod vode)

Volframova elektroda kod ovog postupka služi isključivo za uspostavljanje i održavanje električnog luka. Elektroda se izrađuje od čistog volframa (rjeđe) ili volframa legiranog sa malim dodacima torijevog ili zirkonijevog oksida. Volframova elektroda se u radu ne smije taliti, pa se naziva "netaljivom", međutim uslijed erozije vrha, te njegovom prljanju u slučaju nehotičnog kontakta s radnim komadom ona se ipak postupno troši. Proces taljenja metala prikazan je na slici 2.8.



Slika 2.8 Proces taljenja metala pri TIG zavarivanju

(1 – rastaljeni metal, 2 – zavar, 3 – osnovni materijal, 4 – dodatni materijal, 5 – zaštitni plin, 6 – izvor struje, 7 – električni luk, 8 – volframova elektroda)

Zadatak zaštitnog plina je osiguravanje prikladne atmosfere i zaštita vrha elektrode i taline od kontaminacije kisikom i drugim plinovima iz okoline. U tu svrhu koriste se inertni plinovi, najčešće argon (Ar), a zatim helij (He). Kod TIG postupka treba izbjegavati uspostavljanje električnog luka kratkim spojem. Zbog toga su izvori struje zavarivanja dodatno opremljeni posebnim visokonaponskim visokofrekventnim generatorima [3].

- **Glavni troškovi TIG zavarivanja**

Izračunavanje glavnih troškova TIG zavarivanja analogno je izračunavanju glavnih troškova prethodnih postupaka zavarivanja.

1. Troškovi žice

Troškovi žice se izračunavaju prema izrazu (2.12).

Primjer :

$$T_{\text{žice}} = C_{\text{žice}} \cdot k_t = 2,1 \cdot 1,05 = 2,205 \text{ DEM/kg depozita}$$

2. Troškovi električne energije

Ovi troškovi se izračunavaju prema izrazu (2.5).

Primjer:

$$T_{\text{el. energije}} = \left[\frac{U \cdot I}{1000 \cdot \eta_s} \cdot \varepsilon + N_o(1 - \varepsilon) \right] \cdot \frac{1}{k_t \cdot \varepsilon} \cdot C_{\text{el.en.}}^1$$

$$T_{\text{el. energije}} = \left[\frac{200 \cdot 22}{1000 \cdot 0,8} \cdot 0,3 + 1 \cdot (1 - 0,3) \right] \cdot \frac{1}{3,3 \cdot 0,3} \cdot 0,11 = 0,261 \text{ DEM/kg depozita}$$

3. Troškovi osobnog dohotka izrade

Izračunavaju se prema izrazu (2.7).

Primjer :

$$T_{\text{ODI}} = \frac{ODI}{k_t \cdot \varepsilon} = \frac{10 \cdot 1,6}{3,3 \cdot 0,3} = 16,16 \text{ DEM/kg depozita}$$

4. Troškovi plina

$$K_{\text{Ar}} = \frac{p_{\text{Ar}} \cdot 60}{k_t}, \text{ l/kg depozita} \quad (2.16)$$

$$T_{\text{Ar}} = C_{\text{Ar}} \cdot K_{\text{Ar}}, \text{ DEM/kg depozita} \quad (2.17)$$

gdje je: T_{Ar} - troškovi plina argona, DEM/kg depozita

K_{Ar} - koeficijent potrošnje argona, l/kg depozita

p_{Ar} - potrošnja plina argona, l/min

k_t - koeficijent taljenja za TIG postupak, kg depozita/h

C_{Ar} - cijena argona po litri, DEM/l

Primjer:

$$K_{Ar} = \frac{p_{Ar} \cdot 60}{k_t} = \frac{17,5 \cdot 60}{3,3} = 318,2 \text{ l/kg depozita}$$

$$T_{Ar} = C_{Ar} \cdot K_{Ar} = 0,007 \cdot 318,2 = 2,227 \text{ DEM/kg depozita}$$

5. Troškovi stroja za zavarivanje

Troškovi stroja za zavarivanje se izračunavaju prema izrazu (2.10).

Primjer:

$$T_{stroja} = \frac{C_N (\text{amort.} + \text{osiguranje} + \text{održavanje} + \text{kamate PF})}{\text{broj sati rada godišnje}} \cdot \frac{1}{k_t \cdot \varepsilon}$$

$$T_{stroja} = \frac{5000 \cdot (0,1 + 0,01 + 0,04)}{2200} \cdot \frac{1}{3,3 \cdot 0,3} = 0,367 \text{ DEM/kg depozita}$$

Ukupno glavni troškovi:

Ukupno glavni troškovi se izračunavaju prema izrazu (2.11).

Primjer:

$$T_{uk} = \sum_{i=1}^{n=5} T_i, \text{ DEM/kg depozita}$$

$$T_{uk} = T_{žice} + T_{el.energije} + T_{ODI} + T_{Ar} + T_{stroja}$$

$$T_{uk} = 2,205 + 0,261 + 16,16 + 2,227 + 0,369 = 21,222 \text{ DEM/kg depozita}$$