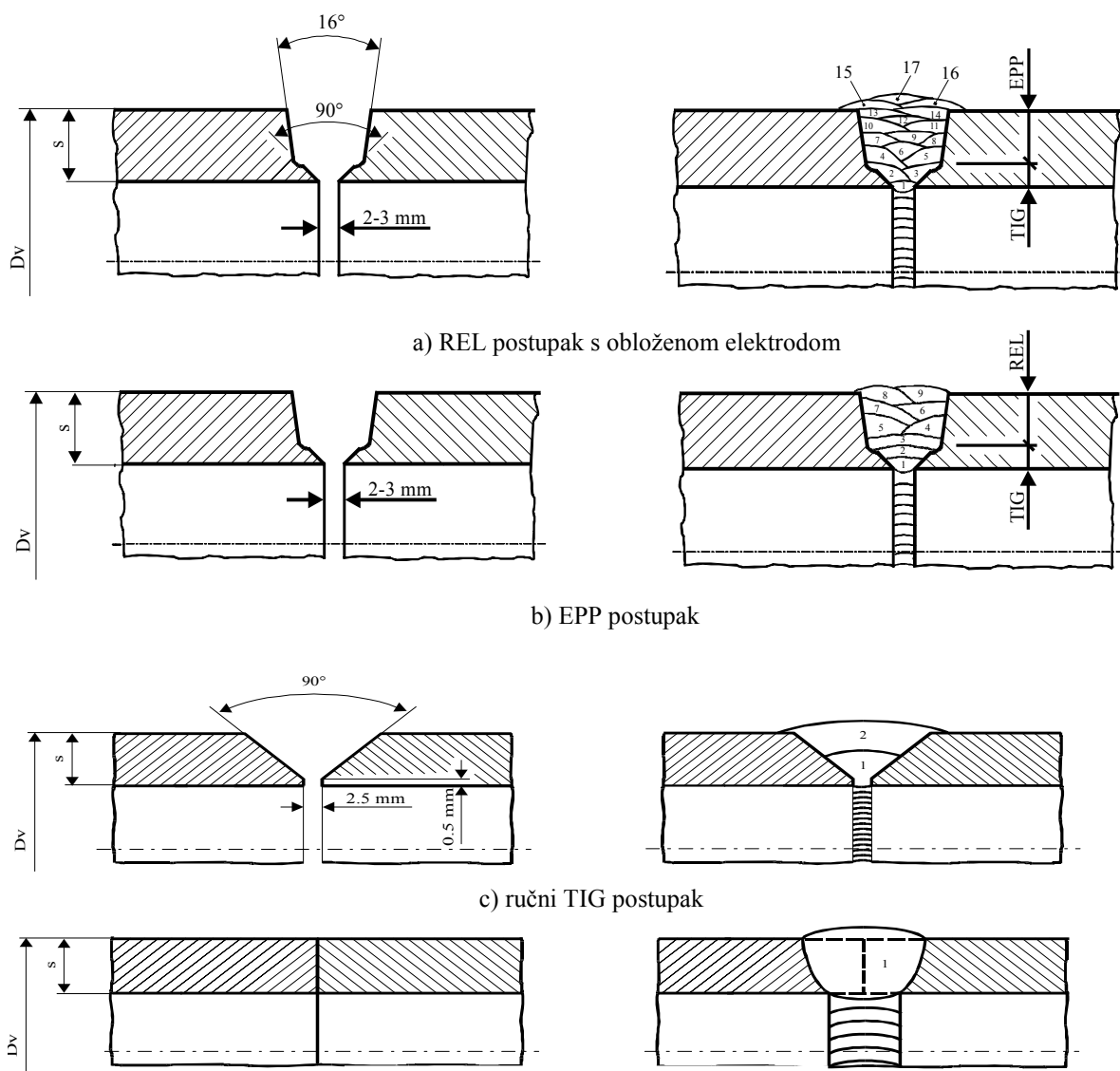


4.2 KVANTIFIKACIJA KOLIČINE NATALJENOG MATERIJALA KOD TIG, REL I EPP POSTUPKA ZAVARIVANJA

Kvantifikacija količine nataljenog materijala provedena je na uzorcima koji su dobiveni isijecanjem iz sučeono zavarenih cijevi. Cijevi su zavarivane TIG (ručnim i automatskim), REL i EPP postupkom zavarivanja. REL i EPP postupcima zavarivanja je popunjavan žlijeb kod sučeono zavarivanih cijevi, dok je korijen zava zavarivan ručnim TIG postupkom zavarivanja s tri prolaza. Promjer cijevi kod kojih je REL i EPP postupcima zavarivanja popunjavan žlijeb je $\varnothing 168.3 \times 17.5$ mm. Ručnim i automatskim TIG postupkom zavarivanja sučeono su zavarivane cijevi promjera 48.3×4.5 mm.

Na slici 4.6 prikazani su primijenjeni oblici žlijeba s pripadajućim dimenzijama i slijed zavarivanja kod navedenih postupaka.



Slika 4.6 Oblici žlijeba i slijed zavarivanja

U tablici 4.5 su prikazani dodatni materijali koji su korišteni u navedenim postupcima zavarivanja.

Postupak		Oznaka žice prema standardu	Promjer žice, Ø (mm)	Trgovačka oznaka	Proizvođač
REL		EMoB26 (DIN 8575)	3.25	EVBMo	ELEKTRODA Jesenice
EPP		UPS2Mo (DIN 8575)	2.0	EMS2Mo	Böhler
TIG	Ručno	SGMo (DIN 8575)	2.4	DMo-IG	Böhler
	Automatski	SGMo (DIN 8575)	0.8	DMo-IG	Böhler

Tablica 4.5 Neki podaci za primijenjene žice

Pojedinosti provedenih postupaka zavarivanja prikazane su u slijedećim tablicama:

REL postupak (obloženom elektrodom)	OSNOVNI MATERIJAL		Uzorak broj 4					
	Oznaka prema standardu	15Mo3 sa 15Mo3						
	Oblik spoja i dimenzije izratka	V-spoj, Ø168.3x17.5mm						
	Šarža	536841	Broj prolaza					
	Položaj zavarivanja	Horizontalan						
			4	5	6	7	8	9
	Trgovačka oznaka žice		EVBMo					
	Parametri zavarivanja							
	Jakost struje, I (A)		135	135	135	135	135	135
	Napon električnog luka, (V)		24	24	24	24	24	24
	Promjer žice (elektrode), Ø (mm)		3.25	3.25	3.25	3.25	3.25	3.25
	Temperatura između prolaza, (°C)		245	260	280	295	300	305
	Polaritet (+ / -)		(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)

Tablica 4.6 Parametri zavarivanja kod REL postupka obloženom elektrodom

Kod EPP postupka zavarivanja parametri zavarivanja su bili konstantni, a temperatura između prolaza je neznatno rasla, pa su zbog jednostavnosti tabličnog prikaza date vrijednosti za samo prvih 5 od 14 prolaza.

EPP postupak	Osnovni materijal		Uzorak broj 5				
	Oznaka prema standardu	15Mo3 sa 15Mo3					
	Oblik spoja i dimenzije izratka	V-spoj, Ø168.3x17.5 mm	Broj prolaza				
	Šarža	652272					
	Položaj zavarivanja	Horizontalan					
			4	5	6	7	8
	Trgovačka oznaka žice		EMS2Mo				
	Parametri zavarivanja						
	Jakost struje zavarivanja, I (A)		265	265	265	265	265
	Napon električnog luka, U (V)		30	30	30	30	30
	Promjer žice, Ø (mm)		2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	Temperatura između prolaza, (°C)		205	275	320	355	375
	Polaritet (+ / -)		(+)	(+)	(+)	(+)	(+)

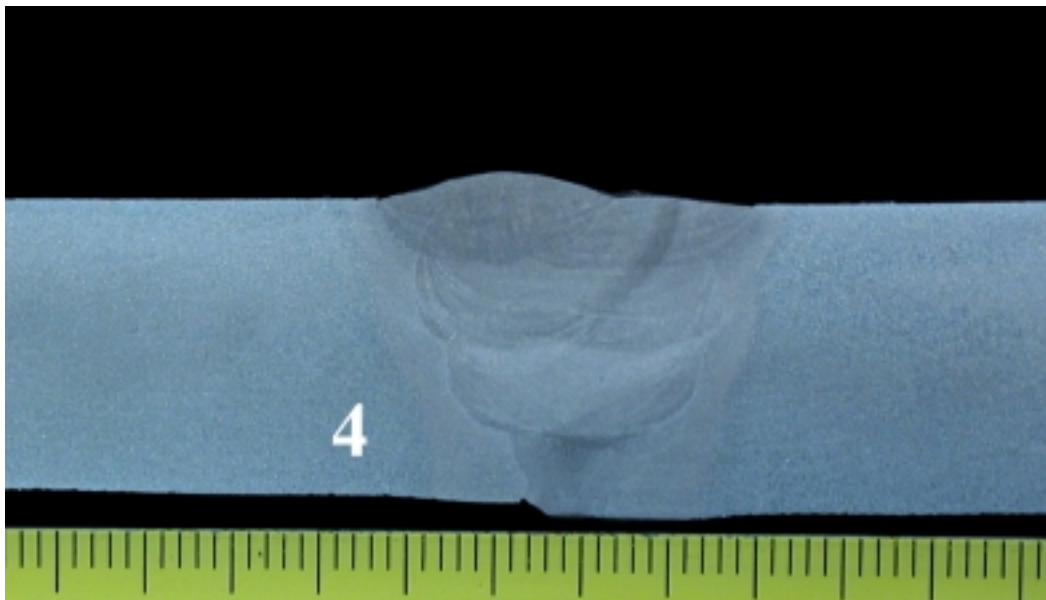
Tablica 4.7 *Parametri zavarivanja kod EPP postupka*

ručni TIG postupak	Osnovni materijal		Uzorak broj 6		
	Oznaka prema standardu	15Mo3 sa 15Mo3			
	Oblik spoja i dimenzije izratka	V-spoj, Ø48.3x4.5 mm			
	Šarža	536841	Broj prolaza		
	Položaj zavarivanja	Horizontalan			
			1	2	3
	Trgovačka oznaka žice		DMo-IG		
	Parametri zavarivanja				
	Jakost struje zavarivanja, I (A)		108	112	–
	Napon električnog luka, U (V)		12.5	12.5	–
	Promjer žice, Ø (mm)		2.4	2.4	–
	Količina zaštitnog plina (Ar), (l/min)		7	7	–
	Temperatura između prolaza, (°C)		20	125	–
	Polaritet (+ / –)		(–)	(–)	–

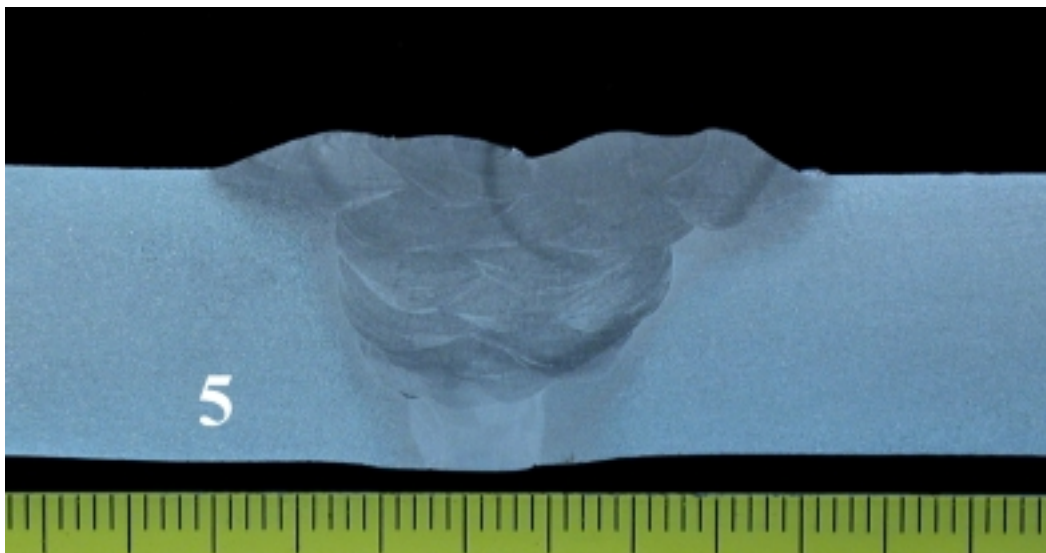
Tablica 4.8 *Parametri zavarivanja kod ručnog TIG postupka*

TIG-automatski (impulsnim strujama)	Osnovni materijal		Uzorak broj 7		
	Oznaka prema standardu	15Mo3 sa 15Mo3			
	Oblik spoja i dimenzije izratka	I-spoj, Ø 48.5x4.5 mm			
	Šarža	098732	Broj prolaza		
	Položaj zavarivanja	Horizontalan			
			1	2	3
	Trgovačka oznaka žice		DMo-IG	–	–
	Parametri zavarivanja			–	–
	Srednja jakost struje, I (A)		110	–	–
	Srednji napon električnog luka, U (V)		12.5	–	–
	Promjer žice, Ø (mm)		0.8	–	–
	Količina zaštitnog plina (Ar) s vanjske strane, (l/min)		15	–	–
	Količina zaštitnog plina (Ar) s unutrašnje strane, (l/min)		10	–	–
	Temperatura između prolaza, (°C)		20	–	–
	Polaritet (+ / –)		(–)	–	–

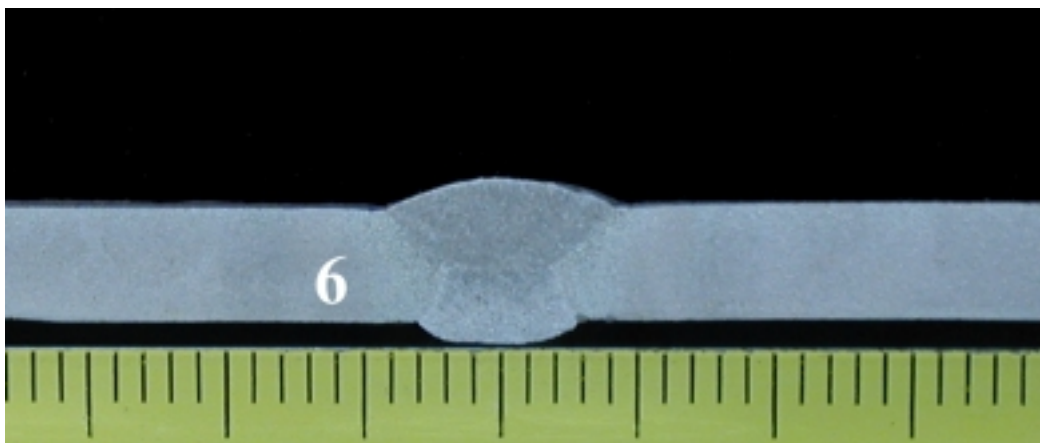
Tablica 4.9 *Parametri zavarivanja kod automatskog TIG postupka*



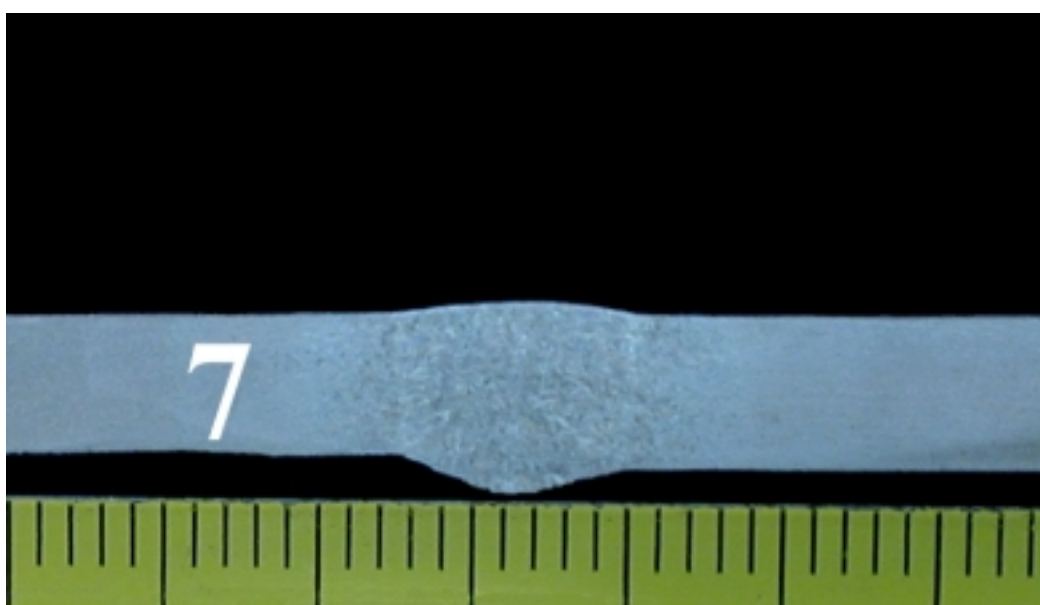
Slika 4.7 Fotografija uzorka 4



Slika 4.8 Fotografija uzorka 5



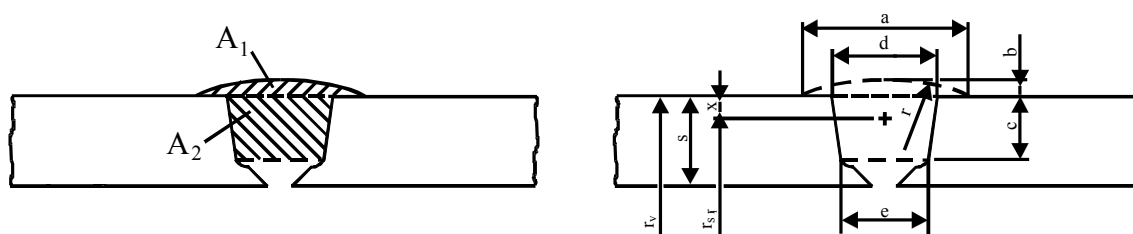
Slika 4.9 Fotografija uzorka 6



Slika 4.10 Fotografija uzorka 7

Proračun količine nataljenog materijala za provedene postupke zavarivanja

Količina nataljenog materijala kod REL postupka zavarivanja obloženom elektrodom



Slika 4.11 Idealan presjek zavora izveden REL postupkom zavarivanja obloženom elektrodom sa svim potrebnim dimenzijama za izračunavanje količine nataljenog materijala

U tablici 4.10 su prikazane veličine izmjerene na uzorku

Izmjerene vrijednosti veličina				
a, (mm)	b, (mm)	c, (mm)	d, (mm)	e, (mm)
21.3	1.18	12.5	20	16.7

Tablica 4.10 *Vrijednosti veličina zavara izvedenog REL postupkom zavarivanja*

Kako se vidi iz slike, površina poprečnog presjeka dijela zavara koji je izveden REL postupkom zavarivanja može se promatrati kroz dvije površine, naznačena površina 1 (A_1) se izračunava primjenom izraza za kružni odsječak, a koji su već ranije primjenjivani kod kvantifikacije količine nataljenog materijala MAG postupkom zavarivanja i izmjerenih vrijednosti na uzorku, a 2 (A_2) prema izrazima za trapez.

Budući da je zavar kružni, duljinu zavara je nužno izračunavati s obzirom na srednji promjer.

Količina nataljenog materijala s obzirom na površinu 1:

Zadane veličine:

$$a = 21.3 \text{ mm}, b = 1.18 \text{ mm}$$

$$r = \frac{a^2 + 4 \cdot b^2}{8 \cdot b} = \frac{21.3^2 + 4 \cdot 1.18^2}{8 \cdot 1.18} = 48.65 \text{ mm}$$

$$\sin \varphi = \frac{a \cdot (r - b)}{r^2} = \frac{21.3 \cdot (48.65 - 1.18)}{48.65^2} = 0.4272$$

$$\widehat{\varphi} = \frac{\pi}{180} \cdot \arcsin \varphi = \frac{\pi}{180} \cdot \arcsin 0.4272 = 0.441 \text{ rad}$$

$$A_1 = \frac{r^2}{2} \cdot (\widehat{\varphi} - \sin \varphi) = \frac{48.65^2}{2} \cdot (0.441 - 0.4272) = 16.8 \text{ mm}^2$$

$$r_{sr_1} = \frac{D_v}{2} + \frac{1}{3} \cdot b = \frac{168.3}{2} + \frac{1}{3} \cdot 1.180 = 84.54 \text{ mm}$$

$$l_1 = 2 \cdot r_{sr_1} \cdot \pi = 2 \cdot 84.54 \cdot \pi = 531.18 \text{ mm}$$

$$V_1 = A_1 \cdot l_1 = 16.8 \cdot 531.18 = 8923.5 \text{ mm}^3$$

$$m_1 = \rho \cdot V_{n_1} = 7850 \cdot 8923.5 \cdot 10^{-9} = 0.07 \text{ kg}$$

Količina nataljenog materijala s obzirom na površinu 2:

$$x = \frac{c \cdot d + 2 \cdot e}{3 \cdot c + e} = \frac{20 \cdot 12.5 + 2 \cdot 16.7}{3 \cdot 20 + 16.7} = 3.7 \text{ mm}$$

$$r_{sr_2} = \frac{D_v}{2} - x = \frac{168.3}{2} - 3.7 = 80.45 \text{ mm}$$

$$l_2 = 2 \cdot r_{sr_2} \cdot \pi = 2 \cdot 80.45 \cdot \pi = 505.48 \text{ mm}$$

$$A_2 = \left(\frac{c + e}{2} \right) \cdot d = \left(\frac{20 + 16.7}{2} \right) \cdot 12.5 = 229.37 \text{ mm}^2$$

$$V_2 = A_2 \cdot l_2 = 229.37 \cdot 505.48 = 115942.5 \text{ mm}^3$$

$$m_2 = \rho \cdot V_2 \cdot 10^{-9} = 7850 \cdot 115942.5 \cdot 10^{-9} = 0.91 \text{ kg}$$

Masa nataljenog materijala je:

$$m = \rho \cdot (V_1 + V_2) = m_1 + m_2 = 0.91 + 0.07 = 0.98 \text{ kg}$$

Zavarivanje je trajalo 59 minuta pa je produktivnost ovog postupka:

$$\dot{m} = \frac{m}{t} = \frac{0.98}{59} = 0.0166 \text{ kg depozita/min}$$

$$k_t = \dot{m} \cdot 60 = 0.997 \text{ kg depozita/h}$$

Analognim postupkom se dobije i količina nataljenog materijala za EPP postupak zavarivanja uz uvrštenje vrijednosti očitanih sa uzorka koje su naznačene na idealiziranom presjeku i prikazane u tablici 4.10.

$$l_2 = 2 \cdot r_{sr_2} \cdot \pi = 2 \cdot 80.45 \pi = 505.48 \text{ mm}$$

Sl 4.12 *Idealan presjek zavara izveden EPP postupkom zavarivanja sa svim potrebnim dimenzijama za izračunavanje količine nataljenog materijala*

Izmjerene vrijednosti veličina				
a, (mm)	b, (mm)	c, (mm)	d, (mm)	e, (mm)
34.4	2.68	20	12.5	16.7

Tablica 4.11 *Vrijednosti veličina zavara izvedenog EPP postupkom zavarivanja*

$$m_1 = 0.259 \text{ kg}$$

$$m_2 = 0.91 \text{ kg}$$

Masa zavara je:

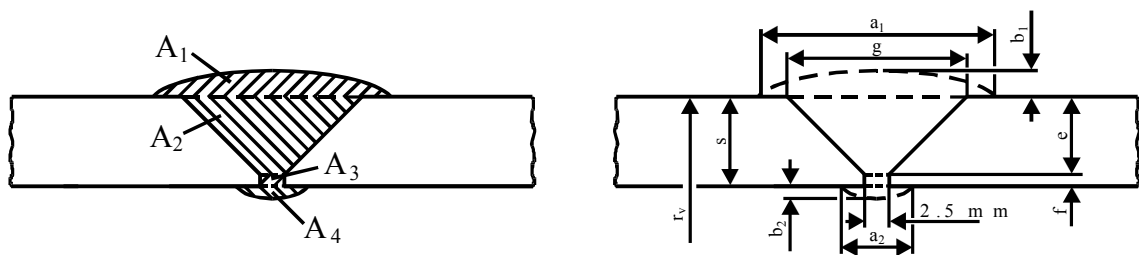
$$m = 1.169 \text{ kg}$$

Zavarivanje je trajalo 18.2 minuta pa je produktivnost ovog postupka:

$$\dot{m} = \frac{m}{t} = \frac{1.169}{18.2} = 0.0642 \text{ kg/min}$$

$$k_t = \dot{m} \cdot 60 = 3.854 \text{ kg depozita/h}$$

Količina nataljenog materijala kod ručnog TIG postupka zavarivanja



Sl 4.13 *Idealan presjek zavara izveden ručnim TIG postupkom zavarivanja sa svim potrebnim dimenzijama za izračunavanje količine nataljenog materijala*

Izmjerene vrijednosti veličina			
a_1 , (mm)	b_1 , (mm)	a_2 , (mm)	b_2 , (mm)
8.37	1.08	5.8	0.88

Tablica 4.12 *Vrijednosti veličina zavara izvedenog ručnim TIG postupkom zavarivanja*

Količine nataljenog materijala s obzirom na naznačene površine zavara:

$$m_1 = 0.00743 \text{ kg}$$

$$m_2 = 0.0214 \text{ kg}$$

$$m_3 = 0.00123 \text{ kg}$$

$$m_4 = 0.00331 \text{ kg}$$

Masa zavara je:

$$m = 0.0333 \text{ kg}$$

Zavarivanje je trajalo 16.75 minuta pa je produktivnost ovog postupka:

$$\dot{m} = \frac{m}{t} = \frac{0.0333}{16.75} = 0.002 \text{ kg/min}$$

$$k_t = \dot{m} \cdot 60 = 0.12 \text{ kg depozita/h}$$

Količina nataljenog materijala kod automatskog TIG postupka zavarivanja

$$r_{sr_2} = \frac{D_v}{2} - x = \frac{168.3}{2} - 3.7 = 80.45$$

Sl 4.14 *Idealan presjek zavara izveden automatskim TIG postupkom zavarivanja sa svim potrebnim dimenzijama za izračunavanje količine nataljenog materijala*

Izmjerene vrijednosti veličina			
a ₁ , (mm)	b ₁ , (mm)	a ₂ , (mm)	b ₂ , (mm)
7.92	0.389	7.27	0.78

Tablica 4.13 *Vrijednosti veličina zavara izvedenog automatskim TIG postupkom zavarivanja*

Količine nataljenog materijala s obzirom na naznačene površine zavara:

$$m_1 = 0.00248 \text{ kg}$$

$$m_2 = 0.00364 \text{ kg}$$

Masa zavara je:

$$m = 0.00612 \text{ kg}$$

Zavarivanje je trajalo 7.5 minuta pa je produktivnost ovog postupka:

$$\dot{m} = \frac{m}{t} = \frac{0.00612}{7.5} = 0.000816 \text{ kg/min}$$

$$k_t = \dot{m} \cdot 60 = 0.000816 \cdot 60 = 0.049 \text{ kg depozita/h}$$

Postupak		$\dot{m}$ (kg/min)	k_t (kg depozita/h)
REL		0.0166	0.977
EPP		0.0624	3.854
TIG	Ručno	0.002	0.12
	Automatski	0.000816	0.049

Tablica 4.14 *Količina nataljenog materijala kod REL, EPP, te ručni i automatski TIG postupak zavarivanja*