

<https://doi.org/10.24867/JPE-1991-08-019>

ORIGINALNI NAUČNI RAD

Palić V., Sabo B., Alanović J.*

ZAVISNOST DUBINE UVARA ŠAVA OD PARAMETARA
REŽIMA EPP ZAVARIVANJA**

THE INFLUENCE OF AUTOMATIC SUBMERGED ARC
WELDING REGIME PARAMETERS ON THE WELDS
PENETRATION

Summary

The results of investigation of the principal automatic submerged arc welding regime parameters influence on the welds penetration are presented in this paper. Basing on the experimental results there have been determined regression dependance $h_u=f(I_z)$, $h_u=f(U_1)$ and $h_u=f(v_z)$. The statistic method for fixing the regression equation classes is presented. This method is established on the testing of linear, square, cubic and fourth power effect of the welding regime parameters on the welds penetration. Those regression equations correspondance is checked by statistic methods.

Basing on dispersion, regression and graphic analysis it was fixed that welding current and welding speed have significant influence on the welds penetration while arc voltage is unimportant.

Measured and calculated values are presented by tables and graphics. All weldings have been performed with domestic welding materials.

*Palić dr Vlastimir, red. prof.; Sabo dr Bela, doc.; Alanović Jadranko, dipl. ing., asistent, Fakultet tehničkih nauka, Institut za proizvodno mašinstvo, 21000 Novi Sad, Vladimira Perića-Valtera 2.

**Rad je finansirao Pokrajinski fond za nauku.

Rezime

U radu su prikazani rezultati istraživanja zavisnosti dubine uvara šava od glavnih parametara režima automatskog zavarivanja pod praškom. Na osnovu eksperimentalnih rezultata određene su regresione zavisnosti $h_u=f(I_z)$, $h_u=f(U_1)$ i $h_u=f(v_z)$. Prikazana je statistička metoda za određivanje karaktera regresionih jednačina koja se zasniva na proveru linearnog, kvadratnog, kubnog i efekta četvrtog stepena parametara režima zavarivanja na dubinu uvara šava. Adekvatnost ovako definisanih regresionih jednačina proverena je statističkim metodama. Na osnovu disperzione, regresione i grafičke analize uticaja parametara režima zavarivanja na dubinu uvara šava je utvrđeno da značajan uticaj ima struja i brzina zavarivanja a da uticaj napona luka nije značajan. Merene i izračunate vrednosti su prikazane tabelarno i grafički. Sva potrebna zavarivanja su izvršena sa domaćim zavarivačkim materijalom.

1. UVOD

Automatsko zavarivanje pod praškom (EPP) spada u visokoproduktivne postupke elektrolučnog zavarivanja. Sa standardnim izvorima struje za zavarivanje moguće je postići dubinu uvara od 15-20 mm [1]. Dubinom uvara određena je penetracija u osnovni materijal i smatra se najvažnijom dimenzijom poprečnog preseka šava. Veličina dubine uvara šava se može približno odrediti, u literaturi poznatim, računskim metodama za zadate parametre režima zavarivanja. Provera dubine uvara šava se vrši probnim zavarivanjima. U cilju smanjenja broja probnih zavarivanja svrsishodno je eksperimentalnim putem odrediti zavisnost dubine uvara šava od parametara režima EPP zavarivanja za konkretan osnovni materijal. Glavni parametri automatskog zavarivanja pod praškom su struja zavarivanja, napon luka i brzina zavarivanja. Za eksperimentalno određivanje zavisnosti dubine uvara šava od glavnih parametara režima automatskog EPP zavarivanja može se koristiti jednofaktorni randomizirani eksperiment.

2. CILJ ISTRAŽIVANJA

Cilj istraživanja se sastojao u eksperimentalnom određivanju zavisnosti dubine uvara šava od glavnih parametara režima automatskog EPP zavarivanja kao i određivanju regresionih zavisnosti $h_u=f(I_z)$, $h_u=f(U_1)$ i $h_u=f(v_z)$. Kod određivanja regresionih zavisnosti osnovni problem je određivanje karaktera (oblika) regresionog modela. U radu

je prikazana metoda odredjivanja karaktera regresionog modela koja se zas-
niva na proveru linearnog, kvadratnog, kubnog i efekta četvrtog stepena
faktora, priznatim statističkim postupkom /2/. Primenom ove metode olak-
šano je odredjivanje karaktera regresionog modela pa ne zahteva veliki
utrošak vremena istraživača za rešavanje ovog problema.

3. OPIS EKSPERIMENTA

Eksperimentalna istraživanja su vršena na pločama od Č.0361 di-
menzija 200x150x20 mm. Za svaku eksperimentalnu jedinicu upotrebljene
su dve ploče, sučeono privarene, bez zazora /3/. Navarivanje na ploče
je izvršeno automatom za EPP zavarivanje, ISKRA-E11. Korišćen je pra-
šak ŽELEZARNA JESENICE - EP20 i elektrodna žica istog proizvođača
EPP 2, Ø5,0 mm. Nakon navarivanja ploče su polomljene na mestu spoja.
Na prelomu navara izmerena je dubina uvara šava mernom lupom sa tač-
nošću 0,1 mm. Primenjen je jednofaktorni randomizirani eksperiment sa
pet nivoa za svaki parametar režima EPP zavarivanja i sa tri ponavljanja
za svaki nivo.

4. REZULTATI EKSPERIMENTA

U Tabeli 1. prikazani su rezultati eksperimenta za odredjivanje
zavisnosti dubine uvara šava od struje zavarivanja.

Tabela 1., Table 1.

$U_1=36$ V, $v_z=50$ cm/min	Rand. red. eksp.jed.	I_z (A)	h_u (mm)	\bar{h}_{uj} (mm)	$S_{h_{uj}}^2$	\hat{h}_{uj} (mm)
	6	700	700	7,9	7,97	0,09335
8	8,3					
2	7,7					
7	750	750	8,3	8,43	0,02335	8,55
1			8,6			
4			8,4			
5	800	800	9,2	9,17	0,02335	9,34
3			9,3			
9			9,0			

nastavak

Tabela 1., Table 1.

U ₁ =36 V, v _z =50 cm/min	Rand.red. eksp.jed.	I _z (A)	h _u (mm)	\bar{h}_{uj} (mm)	S ² _{h_{uj}}	\hat{h}_{uj} (mm)
	11	850		9,8	10,13	0,17335
15	10,0					
13	10,6					
14	900		11,2	11,10	0,01	10,93
10			11,1			
12			11,0			
				$\bar{h}_u = 9,36$	$\bar{S}_{h_u}^2 = 0,06468 = S_G^2$	

U Tabeli 2. prikazani su rezultati eksperimenta za određivanje zavisnosti dubine uvara šava od napona luka.

Tabela 2., Table 2.

I _z = 800 A, v _z = 50 cm/min	Rand.red. eksp.jed.	U ₁ (V)	h _u (mm)	\bar{h}_{uj} (mm)	S ² _{h_{uj}}	\hat{h}_{uj} (mm)
	6	32		9,9	9,63	0,14335
8	9,2					
2	9,8					
7	34		9,5	9,50	0,16	9,65
1			9,1			
4			9,9			
5	36		9,4	9,77	0,30335	9,65
3			10,4			
9			9,5			
11	38		9,6	9,47	0,02335	9,65
15			9,3			
13			9,5			
14	40		9,4	9,87	0,17335	9,65
10			10,0			
12			10,2			
				$\bar{h}_u = 9,65$	$\bar{S}_{h_u}^2 = 0,16068 = S_G^2$	

U Tabeli 3. prikazani su rezultati eksperimenta za određivanje zavisnosti dubine uvara šava od brzine zavarivanja.

Tabela 3., Table 3.

	Rand.red. eksp.jed.	v_z (cm/min)	h_u (mm)	\bar{h}_{uj} (mm)	$S_{h_{uj}}^2$	\hat{h}_{uj} (mm)
$I_z = 800 \text{ A}, U_1 = 36 \text{ V}$	6	30	11,4	11,23	0,14335	10,88
	8		11,5			
	2		10,8			
	7	40	10,1	9,80	0,27	10,20
	1		10,1			
	4		9,2			
	5	50	9,7	9,53	0,02335	9,52
	3		9,4			
	9		9,5			
	11	60	8,7	8,63	0,64335	8,83
	15		9,4			
	13		7,8			
14	70	8,9	8,40	0,21	8,15	
10		8,3				
12		8,0				
			$\bar{h}_u = 9,52$	$\bar{S}_{hu}^2 = 0,25801 = S_G^2$		

5. ANALIZA REZULTATA EKSPERIMENTA

5.1. DISPERZIONA ANALIZA

Odredjivanje značajnosti faktora izvršeno je disperzionom analizom. Disperziona analiza za jednofaktorni eksperiment je detaljno opisana u članku /3/. Ovde se navode samo rezultati disperzione analize za istraživani slučaj.

5.1.1. Rezultat disperzione analize za $h_u = f(I_z)$

$$v_o = 74,83 > C = 3,48 \text{ (V=95 \%)}$$

Zaključak: Struja zavarivanja je značajna.

5.1.2. Rezultat disperzione analize za $h_u = f(U_1)$

$$v_o = 0,55 < C = 3,48 \text{ (V=95\%)}$$

Zaključak: Napon luka nije značajan.

5.1.3. Rezultat disperzione analize za $h_u=f(v_z)$

$$v_0 = 14,68 > C = 3,48 \quad (V=95\%)$$

Zaključak: Brzina zavarivanja je značajna.

5.2. REGRESIONA ANALIZA

Pošto je utvrđena značajnost (neznačajnost) faktora može se odrediti karakter regresionog modela. Ortogonalni polinom se proverava do izložitelja koji je za jedan manji od broja nivoa faktora. Kako u našem slučaju imamo pet nivoa faktora potrebno je proveriti linearni, kvadratni, kubni i efekat četvrtog stepena /2/. Cilj ove analize je da se ovi efekti odrede i da se proverí njihova značajnost.

5.2.1. Odredjivanje karaktera regresione zavisnosti $h_u=f(I_z)$

U Tabeli 4. prikazani su koeficijenti ortogonalnih polinoma /2/.

Tabela 4., Table 4.

	$S_1=23,9$	$S_2=25,3$	$S_3=27,5$	$S_4=30,4$	$S_5=33,3$	K
lin.	-2	-1	0	1	2	10
kv.	2	-1	-2	-1	2	14
kub.	-1	2	0	-2	1	10
č.st.	1	-4	6	-4	1	70

Pokazatelji efekta faktora su:

$$T_{\text{lin.}} = -2 \cdot 23,9 - 1 \cdot 25,3 + 0 \cdot 27,5 + 1 \cdot 30,4 + 2 \cdot 33,3 = 23,9$$

$$T_{\text{kv.}} = 3,7; \quad T_{\text{kub.}} = -0,8; \quad T_{\text{č.st.}} = -0,6$$

Sume kvadrata se izračunavaju iz izraza:

$$SK = \frac{T^2}{n \cdot K}, \quad \text{gde je } n - \text{ broj ponavljanja.}$$

$$SK_{\text{lin.}} = \frac{23,9^2}{3 \cdot 10} = 19,040$$

$$SK_{\text{kv.}} = \frac{3,7^2}{3 \cdot 14} = 0,326$$

$$SK_{\text{kub.}} = \frac{(-0,8)^2}{3,10} = 0,021$$

$$SK_{\text{č.st.}} = \frac{(-0,6)^2}{3,70} = 0,002$$

Detaljna disperziona analiza je prikazana u Tabeli 5.

Tabela 5., Table 5.

Izvor promene	Step.slob.	SK	SREDNJI KVADRAT	
lin.	1	19,040	19,040	
kv.	1	0,326	0,326	
kub.	1	0,021	0,021	S_F^2
č.st.	1	0,002	0,002	
Ukup.ef.faktora	4	19,389	4,847	
GREŠKA	10	0,6468	$S_G^2=0,06468$	
SUMA	14	20,0358	1,43113	

Fišerov kriterijum je:

$$v_o \text{ lin.} = \frac{S_F^2 \text{ lin.}}{S_G^2} = \frac{19,040}{0,06468} = 294,37$$

$$v_o \text{ kv.} = 5,04; \quad v_o \text{ kub.} = 0,32; \quad v_o \text{ č.st.} = 0,03$$

Fišerov kriterijum iz tablica za $V = 95\%$ i stepene slobode 1 i 10 $C = 4,96$.

Za $v_o > C$ smatramo da je efekat značajan. Iz analize proizilazi da kubni i efekat četvrtog stepena nisu značajni, a linearni i kvadratni efekti su značajni. Upoređivanjem značajnosti linearnog i kvadratnog efekta može se zaključiti da se kvadratni efekat (u odnosu na linearni) može zanemariti što znači da regresiona zavisnost može biti LINEARNOG karaktera. Valjanost ove konstacije se može proveriti analizom adekvatnosti regresione jednačine.

Na osnovu gornje analize definišemo regresionu jednačinu u obliku:

$$\hat{h}_u = A \cdot I_z + B$$

Metodom najmanjih kvadrata izračunavamo konstante A i B pa imamo:

$$\hat{h}_u = 0,016 \cdot I_z - 3,376, \text{ mm} \quad (1)$$

gde je: I_z - struja zavarivanja, u A.

U Tablici 1. prikazane su izračunate vrednosti dubine uvara šava prema regresionoj jednačini (1).

5.2.2. Odredjivanje karaktera regresione zavisnosti $h_u=f(U_1)$

Prema metodologiji iz tačke 5.2.1. dobijamo Fišerove kriterijume:

$$v_o \text{ lin.} = 0,35; \quad v_o \text{ kv.} = 0,33;$$

$$v_o \text{ kub.} = 0,17; \quad v_o \text{ č.st.} = 1,33$$

Iz analize proizilazi da ni jedan efekat nije značajan pa regresiona jednačina ima oblik:

$$\hat{h}_u = 9,65 \text{ mm} \quad (2)$$

5.2.3. Odredjivanje karaktera regresione zavisnosti $h_u=f(v_z)$

Prema metodologiji iz tačke 5.2.1. dobijamo Fišerove kriterijume:

$$v_o \text{ lin.} = 54,29; \quad v_o \text{ kv.} = 2,59$$

$$v_o \text{ kub.} = 0,29; \quad v_o \text{ č.st.} = 1,60$$

Iz analize proizilazi da je značajan samo LINEARNI efekat pa definišemo regresionu jednačinu u obliku:

$$\hat{h}_u = C \cdot v_z + D$$

Metodom najmanjih kvadrata izračunamo konstante C i D pa imamo:

$$\hat{h}_u = -0,068 \cdot v_z + 12,933, \text{ mm} \quad (3)$$

gde je: v_z - brzina zavarivanja, u cm/min.

U Tablici 3. prikazane su izračunate vrednosti dubine uvara šava prema regresionoj jednačini (3).

5.3. ADEKVATNOST REGRESIONIH JEDNAČINA

Procena adekvatnosti regresionih jednačina se može uraditi izračunavanjem koeficijenta korelacije. Dokazivanje adekvatnosti regresionih jednačina, sa željenom (izabranom) verovatnoćom se može uraditi upoređivanjem disperzija neadekvatnosti sa disperzijom eksperimentalnih rezultata.

5.3.1. Adekvatnost regresione jednačine (1)

Disperzija neadekvatnosti se određuje iz izraza:

$$S_{\text{nead}}^2 = \frac{\sum_{j=1}^n (\bar{h}_{uj} - \hat{h}_{uj})^2}{k-1}$$

gde je: $k = 5$ - broj nivoa faktora

$l = 1$ - broj članova regresione jednačine ne uzimajući u obzir slobodan član

$\bar{h}_{uj}, \hat{h}_{uj}$ - iz Tabele 1.

$$S_{\text{nead}}^2 = 0,0302$$

Fišerov kriterijum je:

$$v_o = \frac{S_{\text{nead}}^2}{\bar{S}_{hu}^2} = \frac{0,0302}{0,06468} = 0,47$$

Uporedni kriterijum iz tablica za Fišerovu raspodelu za $V=95\%$ i step. slobode $k-l=4$ i $k(n-1)=10$ je $C=3,48$.

Za $v_o < C$ smatramo da je regresiona jednačina adekvatna.

U našem slučaju $v_o = 0,47 < C = 3,48$ pa je stoga regresiona jednačina (1) ADEKVATNA.

5.3.2. Adekvatnost regresione jednačine (2)

$$S_{nead}^2 = \frac{1}{k-1} \sum_{uj}^K (\bar{h}_{uj} - \hat{h}_{uj})^2$$

gde je: $l = 0$ - broj članova reg.jednačine ne uzimajući u obzir slobodan član

$\bar{h}_{uj}, \hat{h}_{uj}$ - iz Tabele 2.

$$S_{nead}^2 = 0,02362$$

$$\bar{S}_{hu}^2 = 0,16068 \text{ (izračunato u tački 4.)}$$

$$v_o = \frac{S_{nead}^2}{\bar{S}_{hu}^2} = \frac{0,02362}{0,16068} = 0,15$$

Uporedni kriterijum iz tablica za Fišerovu raspodelu za $V=95\%$ i step. slobode $k-l=5$ i $k(n-1)=10$ je $C=3,33$.

U našem slučaju $v_o=0,15 < C=3,33$ pa je stoga regresiona jednačina (2) ADEKVATNA.

5.3.3. Adekvatnost regresione jednačine (3)

U našem slučaju $v_o=0,37 < C=3,48$ pa je stoga regresiona jednačina (3) ADEKVATNA.

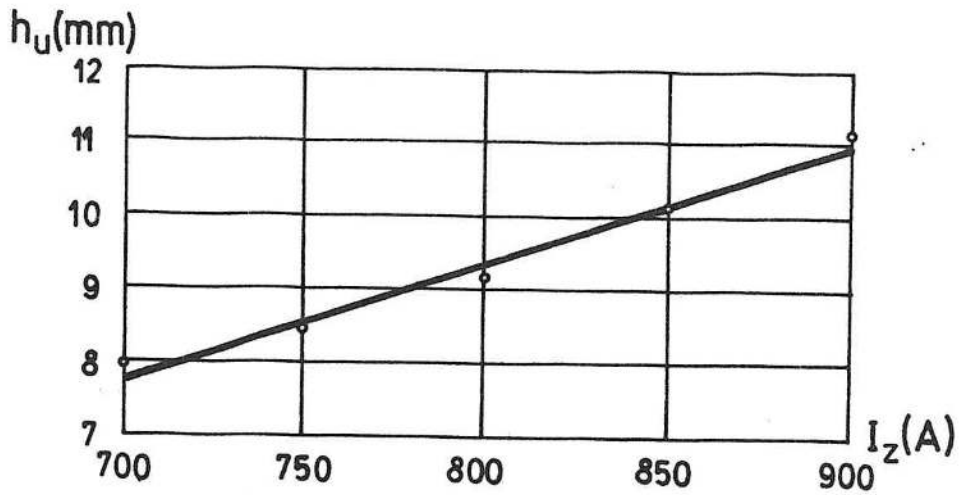
5.4. GRAFIČKA ANALIZA

Na slici 1. prikazan je uticaj struje zavarivanja na dubinu uvara šava.

Na slici 2. prikazan je uticaj napona luka na dubinu uvara šava.

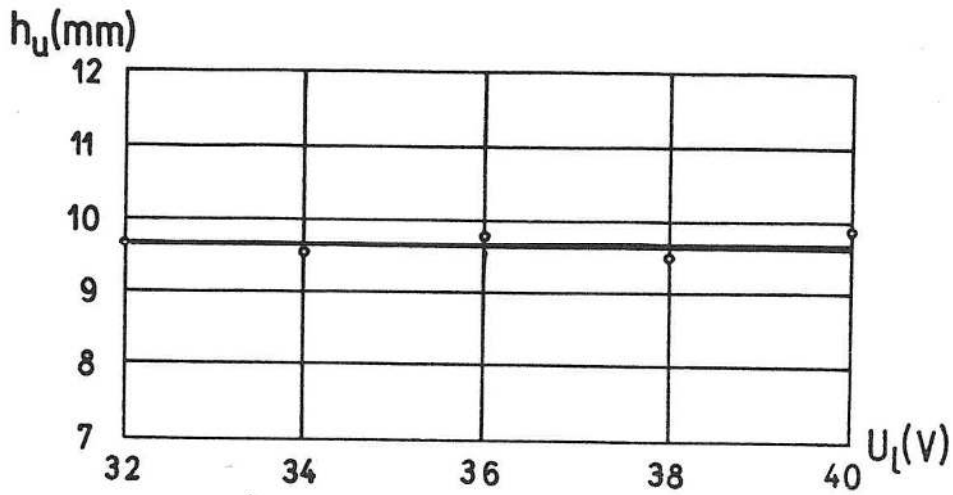
Na slici 3. prikazan je uticaj brzine zavarivanja na dubinu uvara šava.

Grafičkom analizom su potvrđeni rezultati disperzione i regresione analize o uticaju parametara režima zavarivanja na dubinu uvara šava.



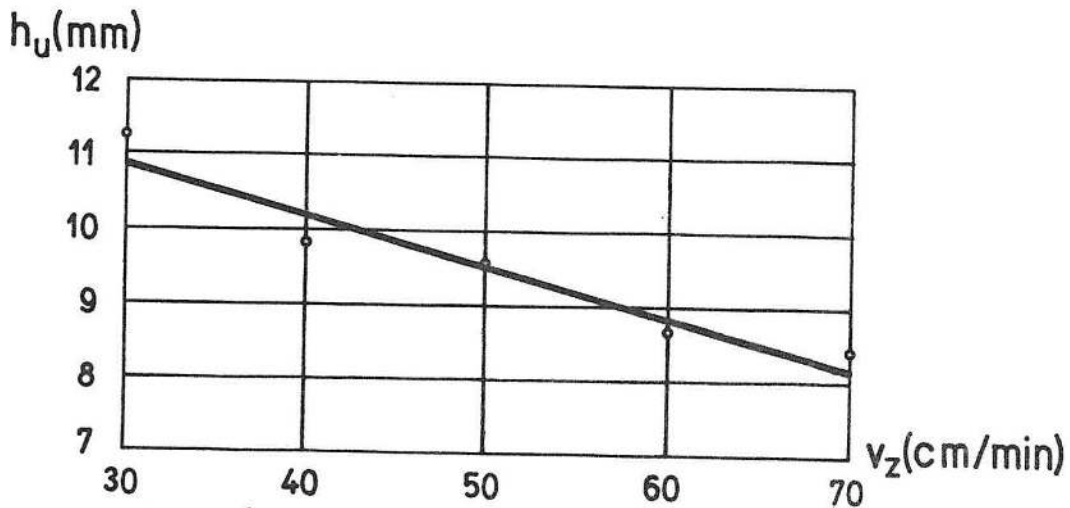
Slika 1. $\hat{h}_u = f(I_z)$ ($U_1 = 36$ V, $v_z = 50$ cm/min)

Figure 1.



Slika 2. $\hat{h}_u = f(U_1)$ ($I_z = 800$ A, $v_z = 50$ cm/min)

Figure 2.



Slika 3. $\hat{h}_u = f(v_z)$ ($I_z = 800$ A, $U_1 = 36$ V)

Figure 3.

6. ZAKLJUČAK

Na osnovu analize rezultata eksperimenta dolazi se do zaključka da značajan uticaj na dubinu uvara šava ima struja i brzina zavarivanja, dok uticaj napona luka nema značaja. U istraživanom intervalu variranja režima zavarivanja uticaj struje i brzine zavarivanja na dubinu uvara šava je približno obrnuto proporcionalan. U radu je prikazana metoda za određivanje karaktera regresione zavisnosti kod jednofaktornog eksperimenta koja umnogome olakšava istraživaču iznalaženje pravog oblika regresione jednačine. Istovremeno je pokazano kako se statistički može proveriti adekvatnost tako određene regresione jednačine.

LITERATURA

- /1/ Palić V.: Zavarivanje, Novi Sad, 1987.
- /2/ Pantelić I.: Uvod u teoriju inženjerskog eksperimenta, Novi Sad, 1976.
- /3/ Palić V.: Uticaj promene napona luka na dimenzije šava, Zbornik radova IPM, br.5/6, Novi Sad, 1989.