

UTICAJ PARAMETARA ZAVARIVANJA NA KVALITET ZAVARA IZVEDENIH MAG ZAVARIVANJEM

INFLUENCE OF WELDING PARAMETERS ON SEAM WELDED QUALITY WITH MAG WELDING

Bajrush Bytyqi, prof.ord.
Hysni Osmani, prof.
Ferit Idrizi, ass.
UP, Fakulteti i Inxhinierisë Mekanike
Prishtinë
Kosovë

Ključne riječi: zavarivanje, MAG zavarivanje, parametri, kvalitet

REZIME

Broj faktora koji utiču na zavarivanje i preko njega, na kvalitet zavarenog spoja je veoma velik.

Uticajni faktori kod zavarivanja MAG postupkom se dijele u tri osnovne grupe:

a - materijalni i energetske,

b - regulirajuće veličine i

c - tačnost izrade (tolerancije).

Parametri režima zavarivanja (I , U , v , ...) utiču na količinu toplote, a ona na količinu rastopljenog materijala, dimenzije rastopljene zone, strukturu i mehanička svojstva zavarenog spoja i tim na kvalitet zavara.

Da bi se stekao što jasniji uvid o uticaju parametara režima zavarivanja na kvalitet zavara, pristupilo se:

a - teoretsko – računskoj obradi najuticajnih faktora i

b - eksperimentalno istraživanje istih, s ciljem njihovog upoređivanja.

Rezultati zavarenih i istraženih uzoraka su prikazani u obliku tabela, slika i grafikona, kako bi se stekao što jasniji uvid o njihovom uticaju na kvalitet, oblik i dimenzije zavara izvedenih MAG zavarivanjem.

U radu su razmotreni samo oni uticajni faktori, za koje se smatralo da su najuticajni na kvalitet zavara ispitanih uzoraka.

Key words: welding, MAG welding, parameters, quality

ABSTRACT

There are huge numbers of parameters, which influence on welding and in seam welding quality.

Number of influence factors during the welding with MAG can be divided in three major groups:

a - material and energetic factors,

b - regularity factors, and

c - preciseness factors (tolerations).

Welding parameters (I, U, v, \dots) influence on heat quantity, which with quantity of melted material, dimensions of seam, structure and mechanic attributes of welded joints and with that in quality of welded seam.

To be more (precisely) clearly, influence of regimen welding parameters on seam welded quality was approached by these methods:

*a - theoretic and calculative method, including most influence factors on seam welding quality, and
b- practically, exploring their influence experimentally with aim to compare theoretic and experimental results.*

Results of welded explored samples were featured in tabular and figurative way, only to be more clearly about their influence in quality, shape and dimensions of welded seams with MAG welding.

On project were processed only those influence factors, which were considered more influence on welded quality among samples.

1. UVOD

Kod MAG postupka zavarivanja kao zaštitni gas koristi se ugljendioksid (CO₂) i gasne mješavine ugljendioksida sa argonom, kisikom, odnosno smjesa sva tri gasa. Zaštitno dejstvo ugljendioksida, odnosno gasnih smjesa, ogleda se u izolovanju zone zavarivanja od zraka.

Stepen zaštite i dezoksidacije metala pri zavarivanju u zaštiti ugljendioksida, može biti povećan primjenom punjene žičane elektrode. Izborom zaštitnog gasa može se mijenjati dubina uvarivanja i širina zavara, a na taj način i oblik istog. Dobro provođenje toplote kroz CO₂ gas uvjetovano je njegovom disocijacijom. Naime, CO₂ gas se u električnom luku, pod dejstvom visoke toplote, razlaže prema formuli:



gdje je: Q - utrošena toplota na disocijaciju CO₂ gasa.

Kada disocirani gas dospije do spoljne granice električnog luka, u hladniju zonu (uglavnom je to radni komad), reakcija se odvija obrnutim smjerom, s desna u lijevo. Pri tome se oslobadja utrošena toplota na disocijaciju (oko 283.878.10³ J/mol). Više toplote dopijeva na površinu radnog komada, što utiče na postizanje dubljeg i užeg zavara.

2. UTICAJ PROMJENLJIVIH VELIČINA NA PROCES ZAVARIVANJA

Izbor promjenljivih veličina pri zavarivanju od presudnog je značaja za kvalitet zavarenog spoja. Iz tog razloga zavarivač mora biti dobro upoznat sa uticajem ovih veličina na kvalitet zavarenog spoja kako bi, mijenjajući pojedine od njih, mijenjao i uvjete zavarivanja, te na taj način postigao optimalne rezultate.

Podešavanje jedne promjenljive veličine zavisno je i od drugih promjenljivih veličina. Izbor promjenljivih veličina tijesno je povezan sa sljedećim faktorima:

- *kemijskim sastavom i debljinom osnovnog metala,*
- *kemijskim sastavom žičane elektrode,*
- *potrebnim kvalitetom zavarenog spoja,*
- *količinom potrebnog dodatnog materijala za izvodjenje dotičnog zavarenog spoja, itd.*

Preporučuje se da se prije zavarivanja svakog novog radnog komada odaberu i provjere najpovoljnije promjenljive veličine na pomoćnom komadu, a tek poslije toga pređe na zavarivanje radnog komada.

2.1. Uticaj jačine struje zavarivanja

Kada su sve ostale promjenljive veličine konstantne, jačina struje zavarivanja zavisi od brzine dovodenja žičane elektrode, odnosno od koeficijenta topljenja. Ta zavisnost u stvarnosti je nelinearna. Dakle, podešavanje jačine struje zavarivanja vrši se odabiranjem odgovarajuće brzine dovodenja žičane elektrode. Što je veća brzina dovodenja žičane elektrode, time je

veća i jačina struje zavarivanja. Ako varira brzina dovođenja, variraće i jačina struje zavarivanja, uz konstantan napon izvora napajanja.

Povećanje jačine struje zavarivanja, odnosno brzine dovođenja žičane elektrode, uz konstantne sve ostale promjenljive veličine, dovodi do povećanja:

- *dubine uvarivanja i nadvišenja šava,*
- *koeficijenta topljenja,*
- *zapremine rastopa.*

2.2. Uticaj napona električnog luka

Napon električnog luka je, uz jačinu struje zavarivanja, najznačajnija promjenljiva veličina od koje zavisi kvalitet zavarenog spoja. On je zavisan od dužine električnog luka, a podešava se na izvoru struje. Uz odabranu jačinu struje i žičanu elektrodu određenog prečnika, mogu se podesiti različiti naponi zavarivanja u zavisnosti od toga šta se želi postići. Ne postoje tačne vrijednosti napona električnog luka, koje bi se mogle preporučiti kao egzaktne za kvalitetno izvodjenje zavarenih spojeva, već se mogu dati samo orijentacione vrijednosti.

Pri bilo kom nivou napona električnog luka, povećanje istog dovodi do povećanja širine zavara i do smanjenja dubine uvarivanja. Zavar dobija ljepši izgled, ali ima slabije mehaničke osobine.

2.3. Prečnik žičane elektrode

Prečnik žičane elektrode datog sastava ima optimalni raspon jačine struje zavarivanja. Raspon jačine struje zavarivanja ograničen je pojavom nepoželjenih efekata. Tako, pri nedovoljnim jačinama struje može doći do nemogućnosti topljenja žičane elektrode, a pri prevelikim jačinama struje može doći do razbrizgavanja, poroznosti i pojave siromašnog rastopa.

2.4. Uticaj brzine zavarivanja

Pod brzinom zavarivanja se podrazumijeva brzina kojom se električni luk pomjera po liniji spajanja.

U općem slučaju, brzina zavarivanja je određena jačinom struje i položajem zavarivanja. S promjenom brzine u odnosu na brzinu pri kojoj se postiže maksimalno uvarivanje, dubina uvarivanja će opadati i rastop će biti uži i širi, zavisno od toga da li se brzina povećava ili smanjuje.

Dakle, sa povećanjem brzine zavarivanja smanjuje se širina i nadvišenje šava, kao i dubina uvarivanja.

2.5. Uticaj zaštitnog gasa

Većina metala i njihovih legura u rastopljenom stanju stupa u reakciju s osnovnim elementima iz zraka i s njima obrazuje metalne okside, odnosno nitride. Pri zavarivanju rastopljeni metal se onečišćuje ovim oksidima i nitridima, što dovodi do pojave grešaka u zavarenom spoju i prouzrokuje smanjenje njegovih mehaničkih osobina. Da bi se to izbjeglo, pri zavarivanju u zaštiti gasa koriste se određeni gasovi, koji štite zonu zavarivanja od dodira s zrakom.

Ugljendioksid je jedinjenje ugljenika i kisika u masenim odnosima 27,3% ugljenika prema 72,7 % kisika.

Izbor gasne zaštite, odnosno vrste zaštitnog gasa, zavisi od: vrste osnovnog materijala, postupka zavarivanja, oblika prenosa dodatnog materijala, dubine uvarivanja, dimenzije poprečnog presjeka šava, brzine zavarivanja, potkopavanja stranica žlijeba, razbrizgavanja tečnog metala, cijene zaštitnog gasa, mogućnosti snabdijevanja, raspoložive opreme, itd.

3. UTICAJNI FAKTORI RAZMOTRENI U RADU

U radu su razmotreni samo oni uticajni faktori, za koje se smatralo da su bitni za kvalitet zavara izvedenih MAG zavarivanjem, i to:

- parametri režima zavarivanja: I, U, v, v_t , d_t i vrsta gasa,
- kemijski sastav osnovnog i dodatnog materijala, i
- položaj zavarivanja.

Parametri režima zavarivanja utiču na količinu topline, a ona na količinu i kvalitet rastopljenog materijala, dimenzije zone zavara, strukturu i mehanička svojstva zavarenog spoja.

Za obradu navedenih uticajnih faktora na kvalitet zavara, korišteni su sljedeći izrazi i obrasci:

$P = U \times I$ (W) – snaga električnog luka pri MAG zavarivanju, $P_e = \eta \times P = \eta \times U \times I$ (W) – efektivna snaga električnog luka, $Q = U \times I \times t$ (J) – količina topline električnog luka, $q = \eta \times Q = \eta \times U \times I \times t$ (J) – efektivna toplina električnog luka, q_p - linearna toplina električnog luka – pogonska toplina, A_{rs} - površina poprečnog presjeka rastopljene zone, FQ - unos topline po rastopljenoj masi metala, U (V) – napon električnog luka, I (A) – jačina struje električnog luka, t (s) – vrijeme gorenja električnog luka, v_s (m/s) – brzina zavarivanja, h (J/kg) – specifična entalpija, ρ (kg/m³) – gustoća mase, d_t (m) – prečnik žice za zavarivanje, v_t (m/min) – brzina dovođenja žice, η – koeficijent iskorištenja električnog luka, s – indeks mjerenih veličina na mjestu zavarivanja.

3.1. Pregled korištenih uticajnih faktora za istraživanja

U nastavku je dat tabelarni pregled navedenih uticajnih faktora na kvalitet izvedenih zavara MAG zavarivanjem.

Tabela 1. Toplina električnog luka u zavisnosti od U, I, t [1]

RED. BROJ	Q = f(U)		Q = f(I)		Q = f(t)	
	U (V)	Q (J)	I (A)	Q (J)	t (s)	Q (J)
1	20	13.200	100	8.580	2	6.864
2	22	14.520	150	18.870	4	13.728
3	24	15.840	200	17.160	6	20.592
4	26	17.160	250	21.450	8	27.456
5	28	18.480	300	25.740	10	34.320
6	30	19.800	350	30.030	12	41.184

Tabela 2. Pogonska toplina električnog luka u funkciji od U, I, v [1]

REDNI BROJ	$q_p = f(U)$		$q_p = f(I)$		$q_p = f(v)$	
	U (V)	q_p (J/m)	I (A)	q_p (J/m)	v (m/s)	q_p (J/m)
1	20	63.360	100	41.180	0,10	205.920
2	22	69.690	150	61.770	0,15	137.280
3	24	76.030	200	82.360	0,20	102.960
4	26	82.360	250	102.960	0,25	82.360
5	28	88.740	300	123.550	0,30	68.640
6	30	95.040	350	144.144	0,35	58.830

Tabela 3. Poprečni presjek rastopljene zone u funkciji od FQ, v, I, U, v_t , $d_t \times 10^{-6}$ [1].

REDNI BROJ	$A_{rs} = f(FQ)$		$A_{rs} = f(v)$		$A_{rs} = f(I)$		$A_{rs} = f(U)$		$A_{rs} = f(v_t)$		$A_{rs} = f(d_t)$	
	FQ	A_{rs}	v	A_{rs}	I	A_{rs}	U	A_{rs}	v_t	A_{rs}	d_t	A_{rs}
1	490	1,55	0,025	3,34	100	1,036	20	1,59	1,0	0,288	0,006	1,72
2	540	1,70	0,033	2,50	150	1,554	22	1,75	1,5	0,432	0,008	2,30
3	655	2,06	0,041	2,06	200	2,072	24	1,91	2,0	0,576	0,010	2,88
4	819	2,58	0,050	1,67	250	2,590	26	2,07	2,5	0,720	0,012	3,45
5	884	2,79	0,058	1,43	300	3,108	28	2,23	3,0	0,865	0,014	4,03
6	-	-	0,066	1,25	350	3,626	30	2,39	3,5	1,009	0,016	4,60

Tabela 4. Unos toplote u funkciji od $I, U, v_t, d_t \times 10^{-3} [1]$.

RED. BROJ	FQ = f(I)		FQ = f(U)		FQ = f(v _t)		FQ = f(d _t)	
	I (A)	FQ (kg/s)	U (V)	FQ (kg/s)	v _t (m/s)	FQ (kg/s)	d _t (m)	FQ (kg/s)
1	100	0,33	20	0,50	1,0	0,09	0,006	0,033
2	150	0,49	22	0,55	1,5	0,13	0,008	0,059
3	200	0,65	24	0,60	2,0	0,18	0,012	0,133
4	250	0,82	26	0,65	2,5	0,23	0,016	0,236
5	300	0,98	28	0,70	3,0	0,27	0,026	0,625
6	350	1.14	30	0.75	3,5	0,32	0,030	0,832

4. REZULTATI EKSPERIMENTALNIH ISTRAŽIVANJA ZAVARA

Eksperimentalna proučavanja uticaja navedenih parametara režima zavarivanja na kvalitet zavarenih spojeva izvršena su na zavarima izradjenih od materijala St 38b-2 i St 38u u obliku lima debljine 2,00, 2,50 i 3,00 mm.

Za dodatni materijal upotrebljena je žica za MAG zavarivanje njemačke proizvodnje oznake 10MnSi8.

Zavarivanje ploča za istraživanje je izvedeno u horizontalnom položaju u obliku sučeonog spoja (I-spoj) i preklopnog spoja (=), sa opremom za poluautomatsko zavarivanje tip RGSa 500.1.

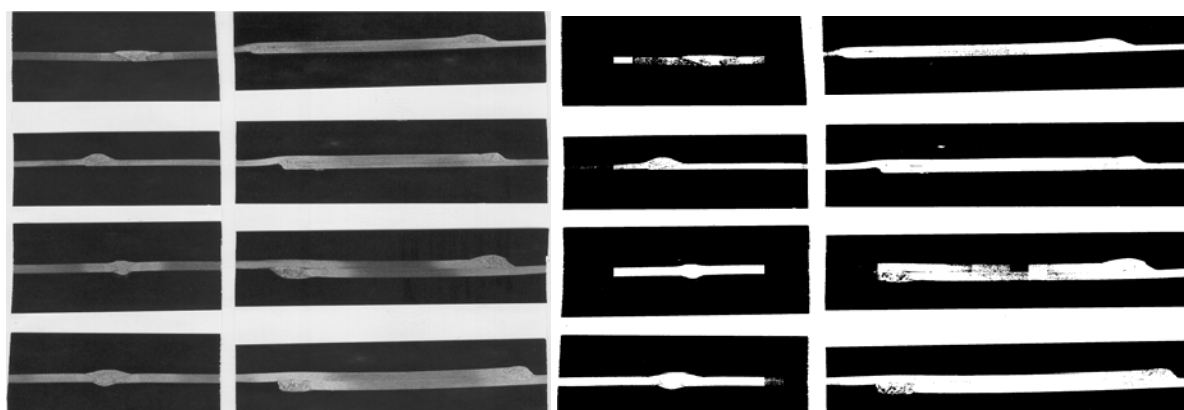
Parametri režima zavarivanja koji su korišteni ovom prilikom dati su u tabeli 5.

Da bi se stekao što potpuniji uvid o uticaju parametara režima zavarivanja na kvalitet zavara u nastavku je dat:

- pregled parametara režima zavarivanja s kojima su zavareni ispitani uzorci – probe (tabela 5),
- pregled makrosnimaka ispitanih uzoraka (sl.1),
- pregled eksperimentalnih rezultata mjerenih tvrdoća na ispitanim uzorcima (tabela 6),
- pregled eksperimentalnih rezultata sile kidanja ispitanih uzoraka (tabela 7),
- slika i morfologija loma ispitanih uzoraka (sl.2),
- pregled rezultata ugla savijanja ispitanih uzoraka i morfologija savijanja (tabela 8, sl.3) i
- pregled zapažanja tokom i nakon izvedenih ispitivanja na ispitanim uzorcima.

Tabela 5. Pregled parametara režima zavarivanja zavara izvedenih MAG postupkom.

RED. BROJ	DEBLJINA t(mm)	OBLIK SPOJA	RAZMAK x(mm)	REŽIM ZAVARIVANJA				d _t (mm)	NAPOMENA
				I(A)	U(V)	v _t (m/min)	v _s (m/min)		
1	2+2	I	0	80	20	2,6	0,36	1,0	min
2	2+2	I	0	150	22	6,5	1,0	1,0	max
3	2+2	=	0	100	19	3,3	0,36	1,0	min
4	2+2	=	0	200	22	9,0	1,14	1,0	max
5	2,5+2,5	I	0	100	20,5	3,6	0,36	1,0	min
6	2,5+2,5	I	0	170	23	6,7	0,78	1,0	max
7	2,5+2,5	=	0	100	19	3,3	0,36	1,0	min
8	2,5+2,5	=	0	220	23	9,7	0,96	1,0	max
9	3 + 3	I	1,0	120	19	4,5	0,30	1,0	min
10	3 + 3	I	1,0	160	20	6,5	0,70	1,0	max
11	3 + 3	=	0	130	21	5,6	0,36	1,0	min
12	3 + 3	=	0	200	23	9,7	0,72	1,0	max



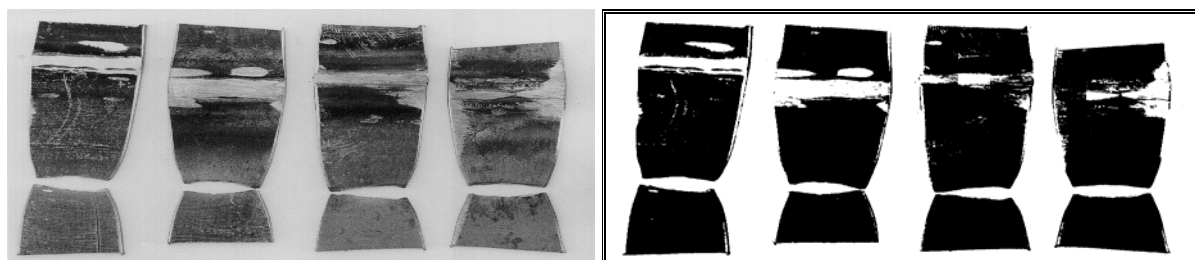
Slika 1. Izgled makrosnimaka zavara izvedenih MAG zavarivanjem.

Tabela 6. Pregled eksperimentalnih rezultata tvrdoće mjerenih uzoraka.

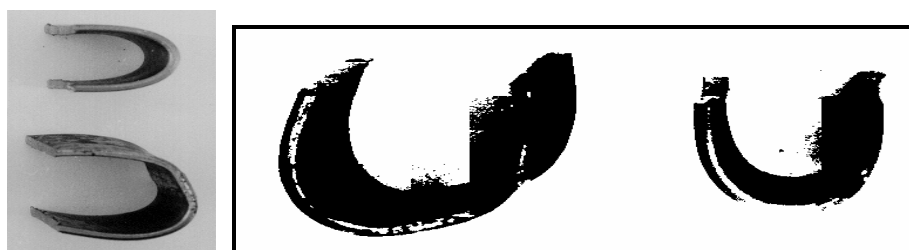
REDNI BROJ PROBE	TVRDOĆA ZAVARA								NAPOMENA
	HV ₅ (daN/mm ²)				HV ₅ (daN/mm ²)				
	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	
	min	max	min	max	min	max	min	max	
	I	I	=	=	I	I	=	=	Broj probe
	2+2	2+2	2+2	2+2	3+3	3+3	3+3	3+3	Režim zavarivanja
									Oblik spoja
									Debljina t(mm)
1	110	117	115	130	118	123	124	151	Osnovni materijal
2	118	124	123	127	120	121	121	143	
3	172	164	129	136	123	137	136	147	
4	172	208	134	155	124	137	150	161	
5	164	201	138	155	129	145	148	161	
6	164	-	140	158	137	152	148	195	
7	164	203	137	153	143	164	164	169	
8	-	-	139	147	-	-	169	178	
9	190	210	145	161	177	192	193	197	Prelazna zona
10	195	249	135	183	182	201	175	206	Zona osnovnog materijala
11	199	244	138	190	195	206	192	203	Sredina šava
12	199	249	142	197	201	201	206	201	Zona osnovnog materijala
13	190	232	-	190	187	185	210	203	Prelazna zona
14	-	-	-	-	-	-	190	201	Zona pod uticajem toplote
15	169	212	137	138	177	150	160	197	
16	169	208	134	142	165	145	160	169	
17	162	197	131	-	171	128	175	142	
18	155	188	-	-	161	130	183	144	
19	114	168	121	124	117	119	158	151	Osnovni materijal
20	113	131	117	125	118	116	152	153	

Tabela 7. Pregled ostvarene sile kidanja zavara izvedenih MAG zavarivanjem.

REDNI BROJ	t (mm)	ŠAV n _t	F _M (daN)	F _{Mmes} (daN)	R _M (daN/mm ²)	R _{Mmes} (daN/mm ²)	NAPOMENA
1	2	1-1	1.295	1.277	32,30	32,30	Osnovni materijal t=2 (mm); b _p =20 (mm)
		1-2	1.260		32,30		
2	2	2-1	1.370	1.375	33,70	33,75	Minimalni parametri
		2-2	1.380		33,80		
3	2	3-1	1.320	1.325	32,70	33,65	Maksimalni parametri
		3-2	1.330		33,60		
4	3	4-1	2.030	2.070	35,00	35,50	Osnovni materijal t=3 (mm); b _p =20 (mm)
		4-2	2.110		36,00		
5	3	5-1	2.140	2.160	36,00	36,20	Minimalni parametri
		5-2	2.180		36,40		
6	3	6-1	2.130	2.130	36,00	36,00	Maksimalni parametri
		6-2	2.130		36,00		



Slika 2. Izgled epruveta nakon probe kidanja i morfologija kidanja.



Slika 3. Izgled epruveta nakon ispitivanja na savijanje sa strane lica i korijena

Tabela 8. Eksperimentalni podaci ugla savijanja sa strane lica i korijena zavara

REDNI BROJ	t (mm)	ŠAV n_t	CILIND. d_c (mm)	UGAO SAVIJANJA α ($^\circ$)	NAPOMENA
1	2	1-1	6	180	Osnovni materijal t = 2 (mm)
		1-2	6	180	
2	2	2-1	6	180 – lice šava	Minimalni parametri
		2-2	6	180 – lice šava	
		2-3	6	180 – korijen šava	
		2-4	6	180 – korijen šava	
3	2	3-1	6	180 – lice šava	Maksimalni parametri
		3-2	6	180 – lice šava	
		3-3	6	180 – korijen šava	
		3-4	6	180 – korijen šava	
4	3	4-1	10	180	Osnovni materijal t = 3 (mm)
		4-2	10	180	
5	3	5-1	10	180 – lice šava	Minimalni parametri
		5-2	10	180 – lice šava	
		5-3	10	180 – korijen šava	
		5-4	10	180 – korijen šava	
6	3	6-1	10	180 – lice šava	Maksimalni parametri
		6-2	10	180 – lice šava	
		6-3	10	180 – korijen šava	
		6-4	10	180 – korijen šava	

5. ZAKLJUČCI

Povećanjem jačine struje poboljšava se rastapanje osnovnog i dodatnog materijala.

Uticaj navedenih parametara režima zavarivanja na kvalitet zavara je uočljiv kod svih zavara. Ne primjećuju se ni vruće ni hladne prsline, niti ostale greške koje su uobičajene kod ovakvih zavara.

Makro i mikrosnimci pokazuju da je ostvaren homogen spoj kod svih ispitanih zavara.

Sila kidanja na istežanje je na viskom nivou, jer nijedan uzorak nije kidan u zoni zavara, već u osnovnom materijalu ispitanih uzoraka.

Rezultati istraženih tvrdoća zavara su niži od kritičnih $< 350 \text{ daN/mm}^2$.

Svi režimi daju zadovoljavajuće rezultate metalurških i mehaničkih osobina.

Kod svih ispitivanih epruveta, prvo je došlo do deformacija u osnovnom materijalu, pa tek onda je nastupilo razaranje – kidanje uzorka.

Kod svih uzoraka je ostvaren homogen spoj rastopljene zone. Ne primjećuju se nikakve unutarnje greške. Mehanička svojstva su na zahtjevanom nivou. Ne primećuje se nikakav pad kvaliteta na zavarima i oko njih, već naprotiv poboljšanja.

Svi režimi su dali zadovoljavajuće rezultate metalurških i mehaničkih svojstava. Povećanjem parametara režima zavarivanja, a naročito jačine struje, povećava se tvrdoća rastopljene zone, dok povećanjem debljine osnovnog materijala ona opada. Sve probe su se kidale u osnovnom materijalu, a ne u zonama zavara i to nakon deformisanja u tim zonama.

6. REFERENCE

- [1] Bytyqi B., “Supstitucija elektrolučnog zavarivanja elektrootporskim zavarivanjem” doktorska disertacija, UK, RO Tehnički fakultet, Prishtina, 1985. godine,
- [2] Rykalin N.N.: “Toplivye osnovy svarki”, Akademij nauk SSSR, Moskva, 1987. godine,
- [3] Stefanović J.: “Uticaj unosa toplote na kvalitet zavarenog spoja čelika povišene jačine”, “Zavarivač”-Beograd, 22(1977.)1, st. 5-14,
- [4] Standardi TGL-9559 (1976.): “Bleche aus weichen unlegierten Staehlen”, Berlin, 1976.,
- [5] Standardi TGL –7253, Bl.2: “Schweisszusatzwerkstoffe fuer Eisen und Stahl Schweissdraehnte”, Technische Lieferbedingungen,
- [6] Katalog : “ZIS–entwiecklungen“, Lizenzkatalog, 1977, ZIS-Halle, DDR., Transformator “RGSa 500.1”: VEB Traansformatoren Werk-DDR,
- [7] Aichele.G., Smith.A.: “MAG-Schweissen“, Band 65 der Fachbuchreihe des DVS, Duesseldorf, 1995.,
- [8] Aichele G.: “Schutzgasschweissen”, Messer Griesheim, Frankfurt/ M, 1998.,
- [9] Bajić B.: “Elektrolučno zavarivanje u zaštiti inertnog i aktivnog gasa MIG-MAG”, Gorenje – Varstroj – Lendava i Sekcija za unapređivanja zavarivanja u SRCG, 1998. godine