

Platiranje konstrukcijskih jekel z navarjanjem

Cladding of the Structural Steels by Surfacing

R. Kejžar, ZRMK Ljubljana

Pri varjenju z legiranimi aglomeriranimi varilnimi praški je sestava čistega vara močno odvisna od varilnih parametrov. Ob upoštevanju oksidacijsko redukcijskih procesov med varjenjem, vpliva na sestavo čistega vara le razmerje med težo odtaljene varilne žice in težo kovin, ki pridejo v navar iz legiranega aglomeriranega varilnega praška.

S pravilno izbiro sestave varilne žice in legiranega aglomeriranega praška ter postavitvijo ustreznih varilnih parametrov glede na temperaturo predgrevanja, kar odločilno vpliva tako na izkoristek varjenja, kot tudi na taljenje osnove (% uvara), lahko dobimo izbrano sestavo in kvaliteto enoslojne močno legirane prevleke na izbranem nelegiranem ali malolegiranem jeklu.

Z legiranimi aglomeriranimi varilnimi praški je priporočljivo navarjati z nizko jakostjo varilnega toka (450A, 35V), kar zagotavlja razmeroma malo taljenja osnovnega materiala ter minimalno odgorevanje legiranih elementov.

Ključne besede: navarjanje pod praškom, aglomerirani praški, legiranje navara, oksidacijsko - redukcijski procesi, odgor legiranih elementov.

In welding with alloyed agglomerated welding fluxes, compositions of the deposited metal depend strongly on welding parameters. Taking into consideration oxidation-reduction processes during welding, the composition of the deposited metal is influenced only by the ratio between the weight of the welding wire burnt-off and the weight of the metals introduced into the surfacing from an alloyed agglomerated welding flux.

With a correct choice of the compositions the welding wire and the alloyed agglomerated flux as well as with a correct choice of suitable welding parameters as regards preheating temperature which has a decisive influence on the welding efficiency as well as on the melting of the parent metal (% of penetration), a chosen composition and quality of one-layer surfaced high-alloyed cladding on a chosen unalloyed or low-alloy steel can be obtained.

In case of the alloyed agglomerated welding fluxes, it is advisable to carry out surfacing with low welding current intensity (450 A, 35 V) which assures relatively weak melting of the parent metal and a minimum burn-off of alloying elements.

Key words: surfacing in submerged arc welding, agglomerated fluxes, alloying of the surfacing, oxidation - reduction processes, burn-off of alloying elements.

1 Uvod

Postopki navarjanja omogočajo, da izdelamo iz posebnih korozijsko ali obrabno odpornih jekel in zlitin le tiste obremenjene ploskve in robove, ki se med obratovanjem obrabljajo zaradi kemičnih, mehanskih in toplotnih obremenitev. Ker je delež navara v primerjavi s celotno napravo, strojnim elementom ali orodjem večinoma majhen (pogosto pod 10%),

je ekonomično, da navarimo najkvalitetnejše obrabno odporne zlitine.

Močno taljenje osnovnega materiala je pomanjkljivost večine obločnih in še posebno polavtomatskih in avtomatskih postopkov navarjanja. Zaradi mešanja navara z osnovnim materialom moramo zelo pogosto navarjati večslojno (tabela 1).

Tabela 1: Ocena razredčenja navarjenih slojev na konstrukcijsko jeklo zaradi taljenja osnovnega materiala

Postopek navarjanja	TIG	RO	MIG	EPP-1	EPP-3
Produktivnost (kg/h)	0,3-1,0	0,5-2,5	1,5 6,0	3,0-20,0	
% uvara	10-30	20-40	20-50	20-80	
Koeficient mešanja "K"	0,2	0,3	0,4	0,5	0,3
% odstopanja*					
- 1 sloj	20,0	30,0	40,0	50,0	30,0
- 2 sloj	4,0	9,0	16,0	25,0	9,0
- 3 sloj	0,8	2,7	6,4	12,5	2,7
- 4 sloj	0,2	0,8	2,6	6,3	0,8

* Odstopanje od sestave čistega vara

Vpliv razredčenja navara z raztaljenim osnovnim materialom računamo po naslednjih enačbah:

$$\% Me_n = \% Me_{\delta v} - K^n (\% Me_{\delta v} - \% Me_{OM})$$

$$\% \text{odstopanja} = \frac{\% Me_{\delta v} - \% Me_n}{\% Me_{\delta v}} \times 100 = K^n \left(1 - \frac{\% Me_{OM}}{\% Me_{\delta v}} \right)$$

$$\% \text{odstopanja} = K^n \times 100$$

Legenda oznak:

$\% Me_n$, $\% Me_{\delta v}$ in $\% Me_{OM}$ - vsebnosti elementov v navaru "sloju n", čistem varu in osnovnem materialu
K - koeficient mešanja (delež uvara v celotnem varu);

$$K = \frac{\text{uvar}}{\text{uvar} + \text{navar}}$$

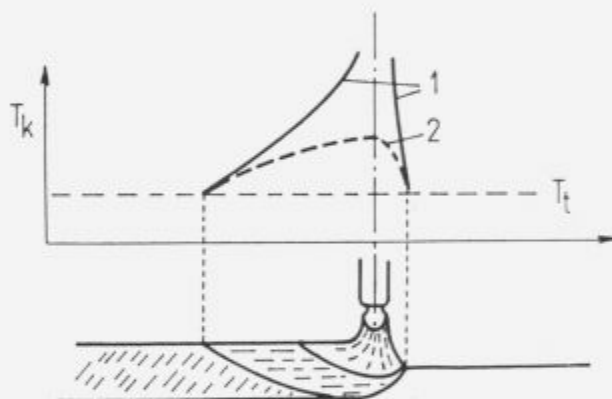
n - število navarjenih slojev

Taljenje osnovnega materiala, ki je posebno izrazito pri navarjanju pod praškom, zelo učinkovito zmanjšamo z uvajanjem dodatnih materialov (kovin in kovinskih zlitin) v kotel in oblok - tako preprečimo oz. zmanjšamo neposreden vpliv obloka na varjenec (slika 1).

Varjenje po TIG - postopku z dodatnim materialom je klasičen primer, kako z dodajanjem varilne žice hladimo varilno kotel in zmanjšujemo taljenje osnovnega materiala. Podoben učinek dosežemo tudi pri varjenju z visokoproduktivnimi elektrodami ter visokoproduktivnimi in legiranimi varilnimi praški, ki vsebujejo večje količine kovin in kovinskih zlitin v elektrodni oblogi, oz. varilnem prašku¹⁻⁵.

2 Legiranje navara pri varjenju pod legiranimi varilnimi praški

Navarjanje pod legiranimi aglomeriranimi varilnimi praški omogoči, da že enoslojno dobimo željeno sestavo navarjenega sloja tudi kadar navarjamo na konstrukcijsko jeklo. Razredčenje navara, ki ga povzroči taljenje osnovnega materiala, ter odgorevanje legiranih elementov moramo nadomestiti z legiranjem navara preko legiranega aglomeriranega varilnega praška⁶⁻⁹.



Slika 1: Razporeditev temperature v kopeli vara
1 - neposreden vpliv obloka na taljenje osnove
2 - posreden vpliv obloka na taljenje osnove
 T_k - temperatura kopeli vara
 T_t - temperatura taljenja

Figure 1: Temperature distribution in the weld pool
1 - direct effect of the arc on the basis melting
2 - indirect effect of the arc on the basis melting
 T_k - temperature of the weld pool
 T_t - melting temperature

Potek procesov legiranja vara smo ugotavljali pri varjenju pod taljenima praškoma EP10 in EP50 (proizvajalec Železarna Jesenice) ter aglomeriranimi praškoma 100SM in BM2 (v razvoju ZRMK Ljubljana).

Podatki o izbranih varilnih praških in pogojih varjenja so podani v tabelah 2, 3 in 4.

Različni parametri varjenja pod taljenima praškoma EP10 in EP50 ter nelegiranim aglomeriranim praškom 100 SM ne vplivajo bistveno na sestavo čistega vara in varilne žindre. Povsem drugače pa je pri varjenju pod močno legiranim aglomeriranim praškom BM2, kjer so parametri varjenja odločilnega pomena za sestavo čistega vara in varilne žindre (tabela 5 in 6⁹⁻¹¹).

Tabela 2: Vsebnost nekaterih oksidov v izbranih taljenih in aglomeriranih varilnih praških

Varilni prašek	SiO ₂ %	FeO %	MnO %	Cr ₂ O ₃ %	V ₂ O ₃ %	MoO ₂ %	WO ₂ %
EP10	40	-	35	-	-	-	-
EP50	50	-	-	-	-	-	-
100SM	30	0,9	0,3	-	-	-	-
BM2	20	0,7	-	0,6	0,2	0,5	0,3

Tabela 3: Vsebnosti kovin v izbranih aglomeriranih varilnih praških

Varilni prašek	Si %	Ca %	Mn %	Cr %	V %	Mo %	W %	C %	Fe %
100SM	1,1	0,2	1,6	-	-	-	-	-	1,5
BM2	-	-	-	8,1	3,4	8,9	10,2	1,2	12,9

Tabela 4: Varilnotehnični podatki za varjenje z varilno žico EPP2 (0,11 %C, 0,18 %Si in 1,18 %Mn) pod izbranimi taljenima in aglomeriranimi praškoma

Varilni prašek	I (A)	U (V)	uvar (%)	η (%)	v _r (g _s)	P _{2l} (g _l / g _v)
EP10	450	35	60	98	2,1	1,0
	650	35	70	98	3,4	0,9
EP50	450	35	60	97	2,1	1,0
	650	35	70	97	3,4	0,9
100SM	450	35	60	97	1,6	0,9
	650	35	70	97	2,4	0,8
	650	45	50	97	2,6	1,2
BM2	450	35	50	189	3,4	0,8
	650	35	60	120	4,0	0,6
	650	45	40	158	4,3	1,0

Legenda oznak:

- I - jakost varilnega toka
- U - varilna napetost
- uvar - delež raztaljenega osnovnega materiala v celotnem varu
- v_r - produktivnost
- P_{2l} - pokrivanje vara z varilno žlindro

Tabela 5: Kemične sestave čistih varov pri varjenju z žico EPP2 pod izbranimi taljenimi in aglomeriranimi varilnimi praški

Varilni prašek	I (A)	U (V)	C (%)	Si (%)	Mn (%)	Cr (%)	V (%)	Mo (%)	W (%)
EP10	450	35	0,04	0,36	1,45	-	-	-	-
EP50	450	35	0,06	0,68	0,67	-	-	-	-
100SM	450	35	0,06	0,80	0,70	-	-	-	-
BM2	450	35	1,58	0,42	0,12	9,22	3,26	10,88	12,08
"	650	35	0,75	0,28	0,08	5,65	1,88	6,18	6,93
"	650	45	0,93	0,23	0,13	6,12	1,98	7,27	8,28

Tabela 6: Kemične sestave varilnih žlinder pri varjenju z žico EPP2 pod izbranimi taljenimi in aglomeriranimi varilnimi praški

Varilni prašek	I (A)	U (V)	SiO ₂ (%)	FeO (%)	MnO (%)	Cr ₂ O ₃ (%)	-V ₂ O ₃ (%)	MoO ₂ (%)	WO ₂ (%)
EP10	450	35	37,20	4,83	29,59	-	-	-	-
EP50	450	35	47,20	3,01	4,33	-	-	-	-
100SM	450	35	18,90	3,05	2,23	-	-	-	-
BM2	450	35	28,00	5,84	0,56	4,74	2,19	3,40	3,21
"	650	35	26,80	7,36	0,84	5,53	2,50	4,59	4,03
"	650	45	29,00	6,86	0,72	5,20	2,40	3,39	3,16

Tabela 7: Izračunana razmerja, oz. količine raztaljene varilne žice, varilnega praška, nastale varilne žindre in navara, ocena prigora in odgorevanja posameznih elementov ter vrednosti za vezani kisik, ki karakterizira intenzivnost oksidacijsko redukcijskih procesov, za varjenja pod izbranimi varilnimi praški in pri različnih varilnih pogojih za prašek BM2 (tabela 4)

Varilni prašek	EP10	EP50	100SM	BM2	BM2	BM2
Parametri varj.	450A,35V	450A,35V	450A,35V	450A,35V	650A,35V	650A,45V
P _{žl} (g _{žl} / g _v)	1.0	1.0	0.9	0.8	0.6	1.0
G _ž (g)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
G _{pr} (g)	0.927	0.952	0.869	2.68	1.22	2.04
G _{žl} (g)	0.967	0.950	0.877	1.65	0.85	1.57
G _n (g)	0.967	0.950	0.975	2.06	1.41	1.57
G _C / G _n	-0.0007	-0.0005	-0.0005	-0.0003	-0.0036	-0.0070
G _{Si} / G _n	+0.0028	+0.0053	+0.0037	+0.0047	+0.0015	+0.0011
G _{Mn} / G _n	+0.0019	-0.0336	-0.0194	-0.0045	-0.0076	-0.0062
G _{Cr} / G _n				-0.0132	-0.0135	-0.0440
G _V / G _n				-0.0117	-0.0106	-0.0243
G _{Mo} / G _n				-0.0070	-0.0151	-0.0429
G _W / G _n				-0.0119	-0.0189	-0.0497
G _{Fe} / G _n	-0.0375	-0.0234	-0.0151	-0.0333	-0.0299	-0.0462
G _{O₂} / G _n	0.0087	0.0113	0.0155	0.0234	0.0334	0.0806
				(0.0288)	(0.0356)	(0.0594)

Legenda oznak:

P_{žl} - pokrivanje vara z žindro

G_ž, G_{pr}, G_{žl} in G_n - teže žice, praška, žindre in navara - izračunane na G_ž = 1 g.

G_C / G_n, G_{Si} / G_n, G_{Mn} / G_n, G_{Cr} / G_n, G_V / G_n, G_{Mo} / G_n, G_W / G_n in G_{Fe} / G_n - ocena prigora in odgora ogljika, silicija, mangana, kroma, vanadija, molibdena, wolframa in železa na težo navara

G_{O₂} / G_n - ocena količine kisika, ki sodeluje v oksidacijsko - redukcijskih procesih, na težo navara

Opomba: Osnova za podane vrednosti je bila sestava čistega vara, le odgor železa smo računali na osnovi vsebnosti FeO v varilni žindri. V oklepaju podane vrednosti za količine kisika, ki ga vežemo pri oksidacijsko redukcijskih procesih, so tudi korigirane glede na analizirano sestavo varilne žindre¹².

Prigor in odgor dezoksidantov in legiranih elementov smo ugotavljali na osnovi materialne bilance vhodnih komponent (kemične sestave varilne žice EPP2 in varilnih praškov EP10, EP50, 100SM in BM2) ter izhodnih komponent (kemične sestave čistih navarov in varilnih žlinder). Rezultati izračunov so podani v **tabeli 7**.

Intenzivnost oksidacijsko redukcijskih procesov je pri navarjanju pod legiranimi aglomeriranimi praški bistveno višja kot pri varjenju pod taljenimi praški. Količina vezanega kisika, ki sodeluje pri oksidacijsko redukcijskih procesih, se

poveča; od 0,0087 g O₂/g vara (EP10) preko 0,0155 g O₂/g vara (SM100) na 0,0288 g O₂/g vara (BM2).

Na intenzivnost odgorevanja legiranih elementov pa pri navarjanju pod legiranimi aglomeriranimi praški odločilno vplivajo tudi varilni parametri. Količina vezanega kisika, ki karakterizira intenzivnost oksidacijsko redukcijskih procesov, se z zvišanjem jakosti in varilne napetosti močno poveča: od 0,0288 g O₂/g vara (450A, 35V), preko 0,0356 g O₂/g vara (650A, 35V) na 0,0594 g O₂/g vara (650A, 45V).

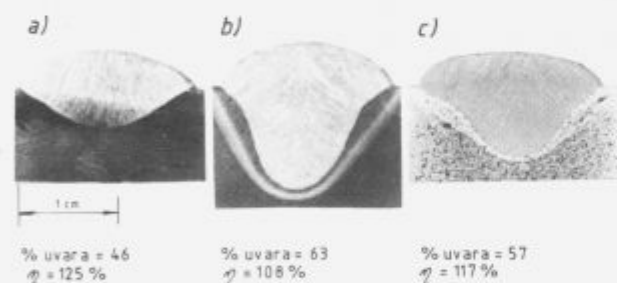
Tabela 8: Kemične sestave enoslojnih navarov z žico EPP2, $\phi 3\text{mm}$ pod legiranimi aglomeriranimi praškoma 0-7 SM in BM2 na konstrukcijsko jeklo (0,17 % C, 0,24 % Si in 0,65 % Mn)

Varilni prašek	I (A)	U (V)	C (%)	Si (%)	Mn (%)	Cr (%)	V (%)	Mo (%)	W (%)
0-7 SM	450	40	0,11	0,27	0,84	5,34	-	-	-
	650	35	0,10	0,25	0,63	2,37	-	-	-
	650	45	0,10	0,30	0,71	3,79	-	-	-
BM 2	450	40	0,86	0,22	0,34	5,47	2,60	6,16	6,73
	650	35	0,44	0,25	0,44	2,31	0,92	2,28	2,64
	650	45	0,64	0,30	0,38	3,80	1,73	4,30	4,75

3 Enoslojno navarjanje na konstrukcijska jekla

Enoslojno navarjanje konstrukcijskih jekel je posebno zanimivo za proizvajalce najrazličnejših orodij in strojnih elementov, ki se med obratovanjem obrabljajo. Celoten enoslojni navar je enake sestave ter ima tudi enako odpornost proti obrabi. To omogoča, da legirane elemente v navaru izrabimo maksimalno. Kvalitetne in pravilno legirane navare pa bomo dobili le, če bomo upoštevali tudi razredčenje čistega vara zaradi taljenja osnovnega materiala.

Taljenje osnovnega materiala (% uvara) in vpliv razredčenja čistega vara na sestavo enoslojnega navara je za varjenja z žico EPP2 pod praškoma 0-7 SM (17 % kovin v prašku) in BM2 (47 % kovin v prašku) prikazano v odvisnosti od varilnih parametrov na slikah 2 in 3 ter v tabeli 8.



Slika 2: Izgled presekov enoslojnih navarov pri navarjanju z žico "EPP2" pod praškom "0-7 SM"

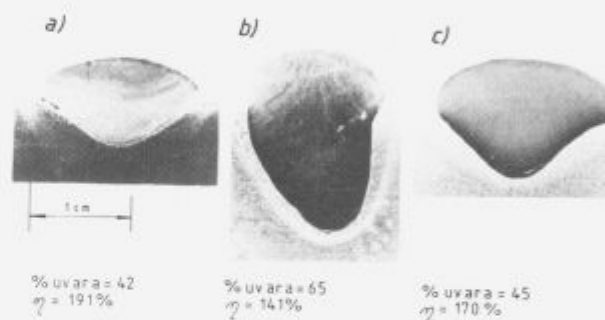
a) I = 450A, U = 40V b) I = 650A, U = 35V c) I = 650A, U = 45V

Figure 2: Appearance of one - layer building - up sections in submerged arc surfacing with wire "EPP2" and flux "0-7 SM"

a) I = 450A, U = 40V b) I = 650A, U = 35V c) I = 650A, U = 45V

Zaradi taljenja osnove pride do močnega razredčenja čistega vara (primerjaj tabeli 5 in 8; navarjanje pod praškom BM2). Z legiranjem navara preko legiranega varilnega praška uspemo razmeroma enostavno dolegirati enoslojni navar do ustrezne kemične sestave le, če pri navarjanju strogo upoštevamo pred-

pisano tehnologijo - izbiro varilnih parametrov in temperaturo predgrevanja¹¹.



Slika 3: Izgled presekov enoslojnih navarov pri navarjanju z žico "EPP2" pod praškom "BM2"

a) I = 450A, U = 40V b) I = 650A, U = 35V c) I = 650A, U = 45V

Figure 3: Appearance of one - layer building - up sections in submerged arc surfacing with wire "EPP2" and flux "0-7 SM"

a) I = 450A, U = 40V b) I = 650A, U = 35V c) I = 650A, U = 45V

Z legiranimi aglomeriranimi varilnimi praški je priporočljivo navarjati z nizko izbranimi varilnimi parametri (posebno z nizko jakostjo varilnega toka; žica EPP2, $\phi 3\text{ mm}$ - 450A in 40V), kar zagotavlja, da je taljenje osnovnega materiala pod 50 %.

Nizke jakosti varilnega toka na varilno žico pri razmeroma visoki varilni napetosti so značilne za postopek varjenja z večžično elektrodo. Navarjanje pod legiranimi aglomeriranimi praški po postopku varjenja z večžično elektrodo je perspektiva platiranja cenениh konstrukcijskih jekel z močno legiranimi korozijsko in abrazijsko odpornimi prevlekami.

4 Zaključek

Za navarjanje pod legiranimi aglomeriranimi praški je zelo pomembno, da strogo spoštujemo predpisano tehnologijo - izbiro varilnih parametrov, ki odločilno vpliva tako na izkoristek varjenja, kot tudi na taljenje osnove (% uvara). Le pravilno razmerje med količino odtaljene varilne žice in količino raztaljenih kovin, ki preko legiranega varilnega pra-

ška legirajo navar, nam ob kontroliranem taljenju osnovnega materiala zagotavlja, da bomo dobili na konstrukcijskem jeklu močno legirano korozijsko ali abrazijsko odporno prevleko izbrane sestve in kvalitete.

Z legiranimi aglomeriranimi varilnimi praški je priporočljivo navarjati z nizko jakostjo varilnega toka (žico EPP2, ϕ 3 mm - 450A), kar zagotavlja minimalno taljenje osnove (uvar pod 50 %) in minimalno odgorevanje legiranih elementov. Taka nastavitve varilnih parametrov (nizka jakost toka na žico pri razmeroma visoki varilni napetosti) je značilna za varjenje pod paškom z večžično elektrodo, zato je omenjeni postopek zelo primeren za enoslojno platiranje konstrukcijskih jekel z močno legiranimi prevlekami.

5 Literatura

- ¹ R. Kejžar, Hardfacing by Submerged Arc Welding. Proceedings of the 2nd International Conference on Tooling "Neue Werkstoffe und Verfahren für Werkzeugen", Bochum, 1989, 301/314.
- ² Weld Surfacing and Hardfacing. The Welding Institute, Abington, 1980
- ³ A. Diebold: Verschleiss- und Korrosionsminderung. Schweißtechnik, Wien 32 (1978) 7, 129/133.
- ⁴ R. Kejžar: Refinement of Working Surfaces by Submerged Arc Hardfacing. Proceedings of the International Conference on the Joining of Materials, JOM 5, Helsingör, 1991, 117/126.
- ⁵ R. Kejžar: Navarjanje močno legiranih nanosov na konstrukcijska jekla. Varilna tehnika, Ljubljana 41(1992)4, 96/101.
- ⁶ R. Kejžar: Legirani aglomerirani praški za posebna navarjanja. Rudarsko-metalurški zbornik, Ljubljana 38(1991)2, 275/290.
- ⁷ R. Kejžar: New Prospectives of Cladding by Submerged Arc Building-up. Proceedings of International Conference on Welding Technology in Developing Countries - Present Status and Future Needs, Roorkee, 1988.
- ⁸ R. Kejžar: Prednosti uporabe novih sintetičnih repromaterialov pri izdelavi dodatnih materialov za varjenje. Kovine, zlitine, tehnologije, Jesenice 27(1993)1-2, 213/216.
- ⁹ R. Kejžar: One-Layer Submerged Arc Surfacing of High-Alloyed Claddings with Single and Multiple Electrodes and with Alloyed Agglomerated Powders. Proceedings of the International Conference on the Joining of Materials, JOM 6, Helsingör, 1993, 455/463.
- ¹⁰ R. Kejžar: Prigor in odgor elementov (silicija in mangana) pri varjenju pod praškoma EP 10 in EP 50. Železarski Zbornik, Jesenice 9(1975)1, 11/17.
- ¹¹ R. Kejžar: Some Results Referring to Alloying of Submerged Arc Surfacing in Multiple Electrode Welding. IIW Doc. 212-813-92.
- ¹² R. Kejžar: Alloying Processes in Submerged Arc Surfacing with Alloyed Agglomerated Fluxes. IIW Doc. 212-844-93