

ŠTUDIJ LEGIRANJA NAVARA PRI NAVARJANJU OBRABNO OBSTOJNIH NANOSOV POD LEGIRNIMI VARILNIMI PRAŠKI

STUDY OF THE ALLOYING OF A SURFACING WELD IN THE SURFACING OF WEAR-RESISTANT DEPOSITS WITH ALLOYED WELDING FLUXES

Rajko Kejžar

Fakulteta za strojništvo, Univerza v Ljubljani, Aškerčeva 6, 1000 Ljubljana, Slovenija

Prejem rokopisa - received: 2002-11-12; sprejem za objavo - accepted for publication: 2003-02-25

Postopki navarjanja omogočajo, da izdelamo iz posebnih 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 celotnim orodjem ali strojnim elementom večinoma majhen (pogosto pod 10 %) je ekonomično, da navarjamo najkvalitetnejše obrabno odporne zlitine.

Za navarjanje so posebno primerne debelo oplaščene elektrode in legirni varilni praški. Preko elektrodne obloge in legirnega varilnega praška lahko zelo učinkovito dolegiramo tudi enoslojne navare na konstrukcijskem jeklu do izbrane sestave. Pri oplaščenih elektrodah je učinkovitost legiranja navara odvisna od masnega deleža in sestave elektrodne obloge. Močno legirane in obrabno zelo odporne navare dobimo pri navarjanju z debelo oplaščenimi elektrodami ABRADUR 64.

Najbolj legirane in obrabno odporne ledeburitne navare pa dobimo pri navarjanju pod praškom. Učinkovitost legiranja navara je pri navarjanju pod praškom močno odvisna od njegove sestave, to je količine kovinskih komponent v varilnem prašku, ter od izbire varilnih parametrov. Zelo močno legirane navare dobimo, če navarjamo z nizko jakostjo varilnega toka in visoko varilno napetostjo. Preko varilnega praška lahko legiramo v navar zelo visoke vsebnosti ogljika, kar zagotavlja nastanek navarov z ledeburitno strukturo in velikimi primarnimi karbidi ter z zelo dobro abrazijsko obstojnostjo.

Ključne besede: navarjanje, obrabno odporni navari, legirni varilni praški, debelo oplaščene elektrode, mikrostruktura, abrazijska obstojnost

Surfacing processes make it possible to use special wear-resistant steels and alloys only for the surfaces and edges submitted to various chemical, mechanical and thermal stresses during their operation. Since the portion of the surfacing weld in the entire tool or machine element is mostly very small, very often below 10 %, and is cost-effective to surface only high-quality wear-resistant alloys.

Thick-coated electrodes and alloyed welding fluxes are particularly suitable for surfacing. Single-layer surfacing welds on structural steel can be very efficiently additionally alloyed to obtain a selected composition with a cover electrode and an alloyed welding flux. With covered electrodes, the efficiency of alloying the surfacing weld depends on the weight portion and composition of the electrode covering. Very strongly alloyed and wear-resistant surfacing welds can be obtained by surfacing with thick-coated electrodes, such as ABRADUR 64.

The most strongly alloyed and highly wear-resistant ledeburite surfacing welds are obtained with submerged-arc surfacing with alloyed fluxes. In this case the efficiency of the alloying strongly depends on the composition of the welding flux used, i.e., the quantity of metal components in the welding flux, and on the welding parameters. Strongly alloyed surfacing welds are obtained when surfacing with a low welding current and a high welding voltage. The welding flux can strongly increase the contents of carbon and produce a surfacing welds with a ledeburite microstructure, large primary carbides, and very high abrasion resistance.

Key words: surfacing, wear-resistant deposits, alloyed welding fluxes, thick-coated electrodes, microstructure, abrasion resistance

1 UVOD

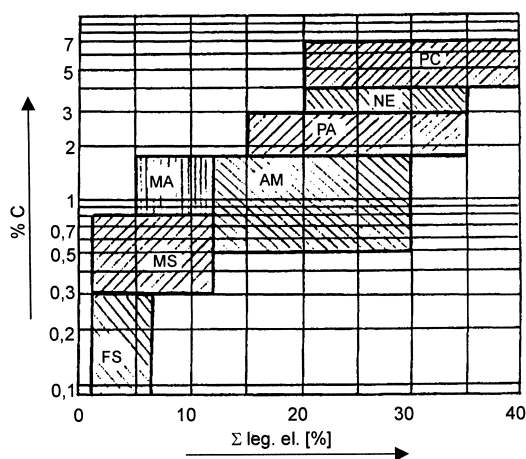
S postopki navarjanja lahko izdelamo iz posebnih korozijsko in obrabno odpornih jekel in zlitin le tiste obremenjene ploskve in robove, ki se med obratovanjem obrabljajo zaradi kemičnih, mehanskih in toplotnih obremenitev. Ker je delež navara v primerjavi s celotnim orodjem ali strojnim elementom večinoma majhen (pogosto pod 10 %), je ekonomično, da navarjamo le najkvalitetnejše obrabno odporne zlitine^{1,2}.

V diagramu na **sliki 1** je prikazan pregled obrabno odpornih zlitin glede na kemično sestavo - vsebnost legirnih elementov in delež ogljika v zlitini³.

Dobro obrabno obstojnost zagotavlja visoka vsebnost ogljika v obrabno odporni zlitini (**slika 2**).

Obrabno obstojnost, ki je najpomembnejša lastnost navarjenih obrabno odpornih prevlek, smo določali po standardizirani metodi Pin-disc (**slika 3**) in metodi z brusom (**slika 4**), ki smo jo razvili za hitro in enostavno ugotavljanje kvalitete obrabno obstojnih navarov - pripravo vzorcev za preizkušanje obrabne obstojnosti smo prilagodili navarjanju^{4,5}.

Obe metodi sta primerjalni. Na osnovi obrabe primerjalnih vzorcev, ki so izdelani iz konstrukcijskega jekla (E St E 355, d pločevine = 25 mm), določamo koeficient relativne obrabe navarov po naslednji enačbi:



Slika 1: Pregled obrabno odpornih zlitin ³

Figure 1: Survey of wear-resistant alloys

Legenda oznak v diagramu (slika 1):

- FS - feritna jekla
- M1 - zlitine z malo martenzita
- M2 - martenzitna orodna jekla
- M3 - martenzitna nerjavna jekla
- MA - martenzitne avstenitne zlitine
- AM - avstenitne visoko manganske zlitine
- PA - primarni avstenit s karbidnim evtektikom
- NE - obevtektične zlitine
- PC - primarni karbidi in evtektik

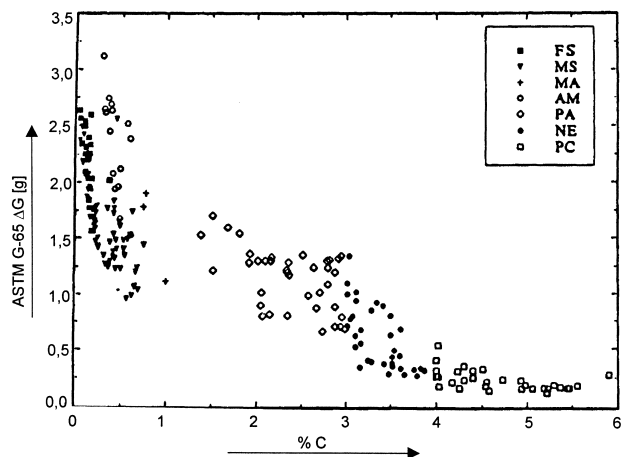
Koeficient relativne obrabe

$$\varepsilon = \frac{\text{Obraba navara (g)}}{\text{Obraba primerjalnega vzorca (g)}} \cdot 100$$

2 OBRABNO OBSTOJNI NAVARI

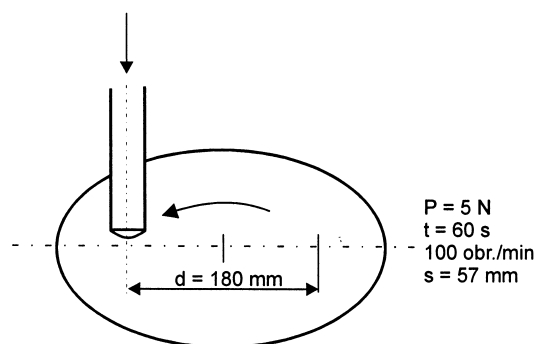
Pri navarjanju je zelo pomembno, da je uvarjanje v osnovni material čim manjše. Intenzivno taljenje osnove pomeni razredčenje čistega vara, kar je pogosto vzrok za večslojno navarjanje (slika 5) ter slabšo kvaliteto navarjenih prevlek, če navarjamo s tamponskimi varki.

Za navarjanje so posebno zanimive oplasčene elektrode, strženske žice in legirni varilni praški. Ti dodajni



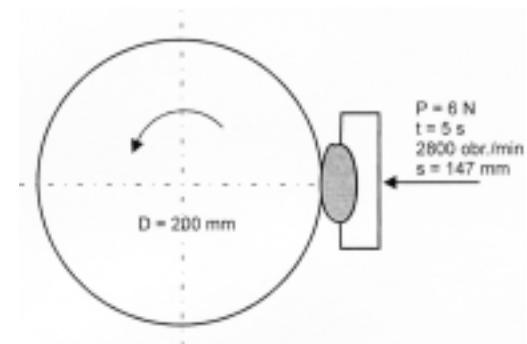
Slika 2: Diagram obrabe v odvisnosti od vsebnosti ogljika ³

Figure 2: Diagram of wear as a function of carbon content ³



Slika 3: Skica določanja obrabe po metodi pin-disc ⁵

Figure 3: Scheme of the wear determination with the Pin-disc method ⁵



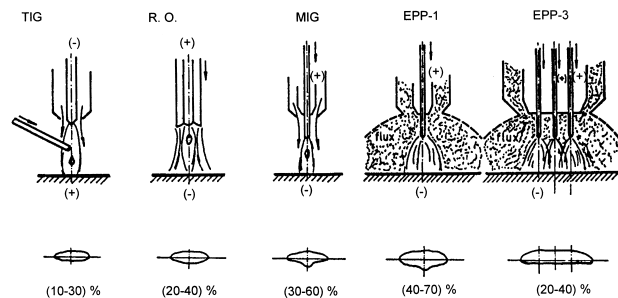
Slika 4: Skica določanja obrabe po metodi z brusom ⁵

Figure 4: Scheme of the wear determination with the grinder method ⁵

materiali omogočajo enoslojno navarjanje močno legiranih nanosov tudi na nelegirano konstrukcijsko jeklo. Z elektrodno oblogo, polnitvijo strženske žice in legirnega varilnega praška lahko dolegiramo navar do izbrane sestave ⁶.

2.1 Oplasčene elektrode za navarjanje obrabno odpornih nanosov

Za navarjanje obrabno odpornih nanosov se v praksi največ uporabljamo elektrode E DUR 600, pri zaščiti ekstremno abrazijsko obremenjenih površin in robov pa tudi elektrodi CrWC 600 in ABRADUR 64. Navari z elektrodama CrWC 600 in ABRADUR 64 so močno legirani in imajo visoko vsebnost ogljika ter so



Slika 5: Taljenje osnovnega materiala pri izbranih obločnih postopkih navarjanja ¹

Figure 5: Melting of the parent metal at some arc-surfacing processes ¹

Tabela 1: Kemične sestave in koeficienti relativne obrabe enoslojnih in trislojnih navarov za opllašene elektrode (I = 150A, U = 24V):

E DUR 600, ϕ 4 mm (35 % uvara, masni delež η = 125 %)

CrWC 600, ϕ 4 mm (25 % uvara, masni delež η = 172 %) in

ABRADUR 64, ϕ 4 mm (20 % uvara, masni delež η = 203 %).

Table 1: Chemical compositions and coefficients of relative wear for single-layer and three-layer surfacing welds obtained with coated electrodes (I = 150A, U = 24V):

E DUR 600, ϕ 4 mm (35 % penetration, η = 125 wt. %)

CrWC 600, ϕ 4 mm (25 % penetration, η = 172 wt. %) and

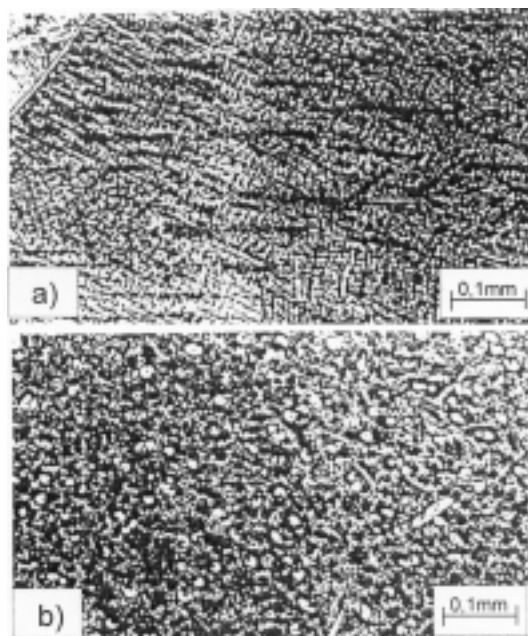
ABRADUR 64, ϕ 4 mm (20 % penetration, η = 203 wt. %).

Izkoristek varjenja $\eta = \frac{G_n \text{ (masa vara)} \cdot 100}{G_z \text{ (masa porabljene elektrodne žice)}} \cdot 100$

Elektroda	Št. navarov	Kemična sestava					Koeficient relativne obrabe ϵ /%	
		% C	% Cr	% W	% Nb	% Mo	Pin-disc	Brus
E DUR 600	1	0,3	4,8	-	-	0,3		55
	3	0,4	7,1	-	-	0,4		35
CrWC 600	1	3,0	19,5	3,0	-	-	40,2	29
	3	3,9	25,6	3,9	-	-	12,1	22
ABRADUR 64	1	3,9	16,1	-	4,8	-	7,5	15
	3	4,9	20,1	-	6,2	-	5,3	9

zato abrazijsko znatno obstojnejši od navarov z elektrodo E DUR 600 (**tabela 1**).

Navari z elektrodo E DUR 600 so po strukturi martenzitni. Zelo dobra obrabna obstojnost troslojnega navara z elektrodo CrWC 600 (**slika 6**) ter enoslojnih in trislojnih navarov z elektrodo ABRADUR 64 (**slika 7**) pa je posledica ledeburitne strukture s primarnimi paličastimi karbidi ^{5,8}.

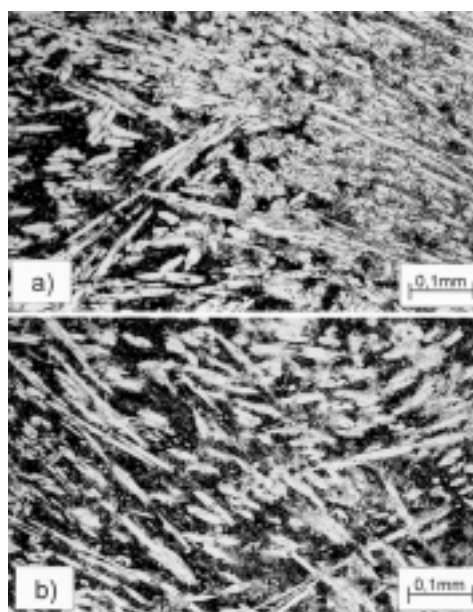


Slika 6: Mikrostruktura navarov z elektrodo CrWC 600: a) enoslojni navar - martenzit z malo ledeburita, b) trislojni navar - ledeburit ter paličasti in poligonalni karbidi

Figure 6: Microstructure of surfacing welds with the electrode CrWC 600: a) single-layer surfacing weld - martensite with little ledeburite, b) three-layer surfacing weld - ledeburite with acicular and polygonal carbide particles

2.2 Legirni praški za navarjanje obrabno odpornih nanosov

Strženske žice so najperspektivnejši dodajni material za navarjanje. Z njimi lahko navarjamo ročno po postopku TIG, polavtomatsko po postopkih MIG in MAG v zaščiti plinov (Ar, CO₂) in avtomatsko pod varilnimi praški. Za vzdrževalce so posebno zanimive strženske žice, izdelane iz cevi. So povsem enakih dimenzij kot masivne žice, pa tudi njihova uporabnost na varilnih napravah (MIG/MAG in EPP) je povsem enakovredna masivnim žicam. Omejitve nastopijo le pri



Slika 7: Mikrostruktura navarov z elektrodo ABRADUR 64; ledeburit in primarni karbidi: a) enoslojni navar, b) trislojni navar

Figure 7: Microstructure of surfacing welds with the electrode ABRADUR 64; ledeburite and primary carbide particles: a) single-layer surfacing weld, b) three-layer surfacing weld

Tabela 2: Izračun legiranja in odgorevanja legirnih elementov pri navarjanju s stržensko žico S-Mo 6, Φ 3 mm (masni delež polnitve 28,7 %) pod legirnim varilnim praškom AV - CrWC (masni delež kovin 47 %) na konstrukcijsko jeklo (I = 400 A, U = 33 V; 10 % uvar in η = 145 %)

Table 2: Calculations of the alloying and of the burn-off of alloying elements for submerged-arc surfacing with the cored wire S-Mo 6, Φ 3 mm (a filling ratio of 28.7 %) and with the high-alloyed welding flux AV - CrWC (47 wt. % of metals) on structural steel (I = 400 A, U = 33 V; 10 % penetration, and η = 145 %)

Legirni elementi	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	W	Fe	Σ
Strženska žica (g)	2,06	1,39	0,21	10,0	2,5	1,1	0,9	79,2	97,4
Varilni prašek (g)	11,06	0,18	-	35,9	-	-	7,3	1,5	55,9
Σ (g)	13,12	1,57	0,21	45,9	2,5	1,1	8,2	80,7	153,3
Odgor/prigor (g)	-3,94	-	-0,08	-2,9	-0,1	-0,1	-0,5	-0,7	-8,3
Čisti var (g)	9,18	1,57	0,13	43,0	2,4	1,0	7,7	80,0	145,0
Sest. čistega vara (masni delež v %)	6,33	1,08	0,09	29,6	1,7	0,7	5,3	55,2	

Opomba: Osnova za izračun je 100 g strženske žice

Tabela 3: Izračun legiranja in odgorevanja legirnih elementov pri navarjanju s stržensko žico S-Mo 6, Φ 3 mm (masni delež polnitve 28,7 %) pod legirnim varilnim praškom AV-CrWC (masni delež kovin 47 %) na konstrukcijsko jeklo (I = 550 A, U = 33 V; 50 % uvar in η = 130 %)

Table 3: Calculations of the alloying and of the burn-off of alloying elements for submerged-arc surfacing with the cored wire S-Mo 6, Φ 3 mm (a filling ratio of 28.7 %) and with high-alloyed welding flux AV - CrWC (47 wt. % of metals) on structural steel (I = 550 A, U = 33 V; 50 % penetration, and η = 130 %)

Legirni elementi	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	W	Fe	Σ
Strženska žica (g)	2,06	1,39	0,21	10,0	2,5	1,1	0,9	79,2	97,4
Varilni prašek (g)	7,98	0,13	-	25,9	-	-	5,2	1,1	40,3
Σ (g)	10,4	1,52	0,21	35,9	2,5	1,1	6,1	80,3	137,7
Odgor/prigor (g)	-3,71	-0,07	-0,09	-2,9	-0,1	-0,1	-0,4	-0,8	-8,2
Čisti var (g)	6,33	1,45	0,12	33,0	2,4	1,0	5,7	79,5	129,5
Sest. čistega vara (masni delež v %)	4,89	1,12	0,09	25,5	1,8	0,8	4,4	62,1	

Opomba: Osnova za izračun je 100 g strženske žice.

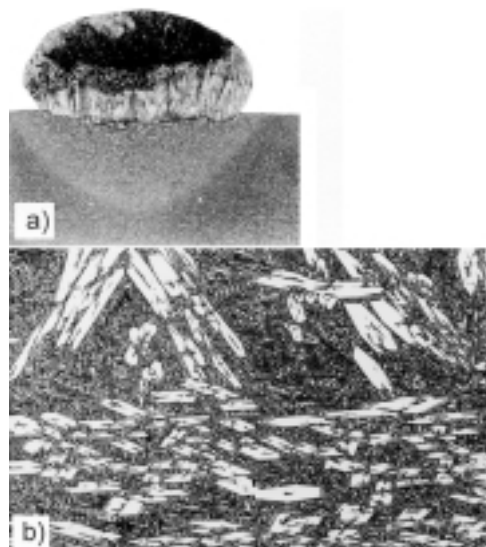
legiranju navara preko polnitve strženske žice. Zelo težko dosežemo visok masni delež polnitve (preko 30 %). Pri navarjanju v zaščiti plinov je zato masni delež legirnih elementov v čistem varu pod 25 %, v enoslojnem navaru, odvisno od uvarjanja, pa med 10 in 20 %.

Znatno močnejše legirane navare pa dobimo pri navarjanju pod legirnimi varilnimi praški. Učinkovitost legiranja navara pa še povečamo, če pri navarjanju pod legirnimi praški uporabljamo močno legirane masivne žice ali pa strženske žice (9).

Legiranje navara pri varjenju z opláščeno elektrodo, masivno legirano žico in stržensko žico je določeno že s sestavo teh dodatnih materialov. S spreminjanjem varilnih parametrov se legiranje navara bistveno ne spreminja.

Popolnoma drugače je pri navarjanju pod legirnimi varilnimi praški. S spreminjanjem varilnih parametrov se znatno spremeni tudi taljenje legirnega varilnega praška. Pri višji varilni napetosti tali varilni oblok večjo količino legirnega varilnega praška, kar ima za posledico legiranje navara z večjo količino legirnih elementov iz praška.

V tabelah 2, 3 in 4 je prikazano legiranje navara preko strženske žice S-Mo6, Φ 3 mm (masni delež polnitve 28,7 %) pod legirnim varilnim praškom AV - CrWC (masni delež kovin 47 %) na konstrukcijsko jeklo



Slika 8: Videz in mikrostruktura enoslojnega navara s stržensko žico S-Mo6, Φ 3 mm pod legirnim varilnim praškom AV-CrWC (I = 400 A, U = 33V; 10% uvara, η = 145 %); a) presek navara, b) mikrostruktura: martenzit (zelo malo), ledeburit ter primarni paličasti in poligonalni karbidi

Figure 8: Appearance and microstructure of a single-layer submerged-arc surfacing weld obtained with the cored wire S-Mo 6, Φ 3 mm and alloyed welding flux AV - CrWC (I = 400 A, U = 33 V; 10 % penetration and η = 145 %) a) cross section of the weld, b) microstructure: martensite (very little), ledeburite and primary acicular and polygonal carbide particles

Tabela 4: Izračun legiranja in odgorevanja legirnih elementov pri navarjanju s stržensko žico S-Mo6, Φ 3 mm (masni delež polnitve 28,7 %), pod legirnim varilnim praškom AV-CrWC (masni delež kovin 47 %) na konstrukcijsko jeklo (I = 550 A, U = 45 V; 20 % uvar, η = 166 %)

Table 4: Calculations of the alloying and of the burn-off of alloying elements for submerged-arc surfacing with the cored wire S-Mo 6, Φ 3 mm (a filling ratio of 28.7 %) and with high-alloyed welding flux AV - CrWC (47 wt. % of metals) on structural steel (I = 550 A, U = 45 V; 20 % penetration, and η = 166 %)

Legirni elementi	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	W	Fe	Σ
Strženska žica (g)	2,06	1,39	0,21	10,0	2,5	1,1	0,9	79,2	97,4
Varilni prašek (g)	15,21	0,25	-	49,3	-	-	10,0	2,2	76,9
Σ (g)	17,27	1,64	0,21	59,3	2,5	1,1	10,9	81,4	174,3
Odgor/prigor (g)	-4,32	+0,42	-0,06	-3,3	-0,1	-0,1	-0,5	-0,6	-8,6
Čisti var (g)	12,95	2,06	0,15	56,0	2,4	1,0	10,4	80,8	165,7
Sest. čistega vara (masni delež v %)	7,82	1,24	0,09	33,8	1,4	0,6	6,3	48,8	

Opomba: Osnova za izračun je 100 g strženske žice.

Tabela 5: Kemične sestave in koeficienti relativne obrabe enoslojnih navarov s stržensko žico S-Mo6, Φ 3 mm (masni delež polnitve 28,7 %) pod legirnim varilnim praškom AV-CrWC (masni delež kovin 47 %) pri izbranih varilnih parametrih (I in U) in hitrosti varjenja (v = 25 m/h)

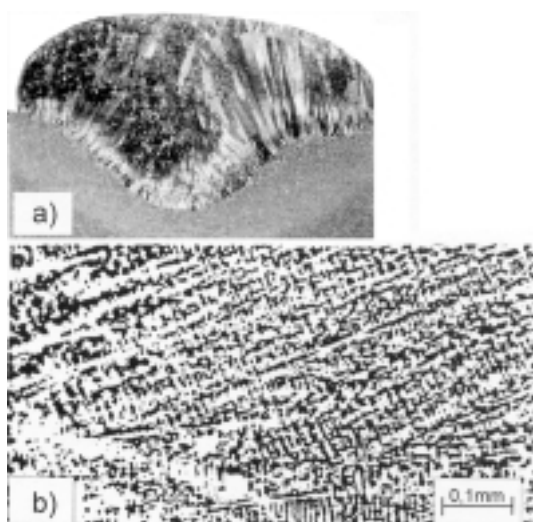
Table 5: Chemical compositions and coefficients of relative wear "ε" for single-layer surfacing welds obtained with the cored wire S-Mo 6, Φ 3 mm (a filling ratio of 28.7 %), the alloyed welding flux AV - CrWC (47 wt. % of metals) and the selected welding parameters I and U and the welding speed of v = 25 m/h

Varilni parametri		Karakteristiki navarjanja		Kemična analiza (masni delež v %)					Koeficient relativne obrabe ε/%	
I /A	U/V	Uvar/%	η /%	C	Cr	W	V	Mo	Pin-disc	Brus
400	33	10	145	5,7	26,7	4,8	0,6	1,5	7	13
550	33	50	130	2,5	12,7	2,2	0,4	0,9	38	35

(0,11 % C; 0,23 % Si in 0,6 % Mn) pri različnih varilnih parametrih: I = 400 A in U = 33 V (**tabela 2**), I = 550 A in U = 33 V (**tabela 3**) ter I = 550 A in U = 45 V (**tabela 4**).

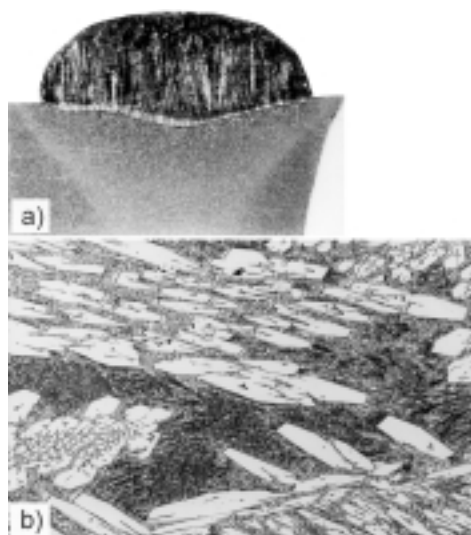
Izbrani varilni parametri (I = 400 A in U = 33 V) niso primerni za navarjanje. Uvarjanje v osnovo je premajhno

- le 10 % uvar (**slika 8 a**). Legiranje navara pa je zelo učinkovito. Preko varilnega praška legiramo v navar kar 54,4 g legirnih elementov na 100 g strženske žice (**tabela 2**; $55,9 - 1,5 = 54,4$), preko strženske žice pa le 18,2 g (**tabela 2**; $97,4 - 79,2 = 18,2$). Odgor in prigor



Slika 9: Videz in mikrostruktura enoslojnega navara s stržensko žico S-Mo 6, Φ 3 mm pod legirnim varilnim praškom AV-CrWC (I = 550 A, U = 33 V; 50 % uvara, η = 130 %); a) presek navara, b) mikrostruktura; martenziti in ledeburiti

Figure 9: Appearance and microstructure of a single-layer submerged-arc surfacing weld obtained with the cored wire S-Mo 6, Φ 3 mm and the alloyed welding flux AV - CrWC (I = 550 A, U = 33 V; 50 % penetration, and η = 130 %); a) cross section of the weld, b) microstructure: martensite and ledeburite



Slika 10: Videz in mikrostruktura enoslojnega navara s stržensko žico S-Mo6, Φ 3 mm pod legirnim varilnim praškom AV-CrWC (550 A, 45 V; 20 % uvara, η = 165 %); a) presek navara, b) mikrostruktura: ledeburiti ter primarni paličasti in polgonalni karbidi

Figure 10: Appearance and microstructure of a single-layer submerged-arc surfacing weld obtained with the cored wire S-Mo 6, Φ 3 mm and the alloyed welding flux AV - CrWC (I = 550 A, U = 45 V; 20 % penetration, and η = 165 %); a) cross section of the weld, b) microstructure: ledeburite and primary acicular and polygonal carbide particles

legirnih elementov smo izračunali iz izkustvenih diagramov, izdelanih na osnovi enačbe vzpostavljanja navidezne ravnotežja med talino čistega vara, varilno žilindro in plinsko fazo (10-12).

Zaradi intenzivnega legiranja navara preko strženske žice in legirnega varilnega praška ter zelo majhnega uvara (razredčenje navara z osnovnim konstrukcijskim jeklom je bilo le 10-odstotno), je enoslojni navar močno legirana zlitina z visokim masnim deležem ogljika (5,7 %) ledeburitne mikrostrukture z velikimi primarnimi paličastimi in poligonalnimi karbidi (slika 8b).

S povečanjem jakosti varilnega toka (od 400 A na 550 A) se uvarjanje v osnovo močno poveča - na okoli 50 % uvara (slika 9a). Legiranje z varilnim praškom pa je manj učinkovito, le 39,2 g legirnih elementov na 100 g strženske žice (tabela 3; $40,3 - 1,1 = 39,2$) legira navar. Posledica manj učinkovitega legiranja navara in intenzivnega taljenja osnove, ki je iz nelegiranega konstrukcijskega jekla, je nastanek manj legiranega enoslojnega navara z razmeroma nizko vsebnostjo ogljika (masni delež 2,5 %) martenzitno ledeburitne mikrostrukture (slika 9b).

S povečanjem varilne napetosti (od 33 V na 45 V) se močno poveča taljenje varilnega praška. Legiranje navara preko varilnega praška se skoraj podvoji. S praškom legiramo v navar kar 73,8 g legirnih elementov na 100 g strženske žice (tabela 4; $76,9 - 2,2 = 73,8$). Taljenje močno povečane količine varilnega praška vpliva tudi na zmanjševanje intenzivnosti uvarjanja v osnovni material. Razredčenje enoslojnega navara z legiranim konstrukcijskim jeklom (20-odstotno uvarjanje) je zato manjše. Enoslojni navari so pravilno oblikovani (slika 10a) ter zaradi intenzivnega legiranja navara z varilnim praškom in razmeroma majhnega razredčenja (20-odstotni uvar) s konstrukcijskim jeklom po sestavi močno legirana zlitina z visoko vsebnostjo ogljika (masni delež 6,3 %) ledeburitne mikrostrukture z velikimi primarnimi paličastimi in poligonalnimi karbidi (slika 10b).

Močno legirani enoslojni ledeburitni navari z visoko vsebnostjo ogljika, ki jih dobimo pri navarjanju s strženskimi žicami (S-Mo6) pod legirnimi praški (AV-CrWC) in pri pravilno izbranih varilnih parametrih so tudi zelo obrabno obstojni (tabela 5).

3 SKLEP

Postopki navarjanja omogočajo, da izdelamo iz posebnih korozijsko in obrabno odpornih jekel in zlitin le tiste obremenjene ploskve in robove, ki se med obratovanjem obrabljajo zaradi kemičnih, mehanskih in toplotnih obremenitev. Delež navara je v primerjavi s celotnim orodjem ali strojnim elementom večinoma majhen (pogosto pod 10 %), zato je ekonomično, da navarjamo najkvalitetnejše obrabno odporne zlitine.

Za navarjanje so posebno zanimive oplaščene elektrode, strženske žice in legirni aglomerirani varilni praški. Ti dodatni materiali omogočajo enoslojno

navarjanje močno legiranih nanosov tudi na nelegirano konstrukcijsko jeklo. Z elektrodno oblogo, polnitvijo strženske žice in legirnim varilnim praškom lahko dolegiramo navar do izbrane sestave.

Močno legirane in obrabno zelo odporne navare dobimo pri navarjanju z debelo oplaščenimi elektrodami (ABRADUR 64), najbolj legirane navare pa pri navarjanju s strženskimi žicami pod legirnimi aglomeriranimi praški. Preko varilnega praška lahko legiramo v navar zelo visoke vsebnosti ogljika, kar zagotavlja nastanek navarov z ledeburitno strukturo in velikimi primarnimi karbidi ter zato z zelo dobro abrazijsko obrabno odpornost navarov.

Pri navarjanju pod legirnimi praški varilni parametri zelo vplivajo na legiranje navara iz praška. Zelo močno legirane navare dobimo, če navarjamo z nizko jakostjo varilnega toka in visoko varilno napetostjo. Nizka jakost toka zagotavlja manjše uvarjanje v osnovo in s tem manjše razredčenje navara z nelegiranim konstrukcijskim jeklom. Visoka varilna napetost poveča taljenje varilnega praška, s tem je višji izkoristek varjenja η in intenzivnejše legiranje navara s praškom.

Navarjanje pod legirnimi aglomeriranimi praški pa je zahtevno. S spremembo varilnih parametrov se spremeni tudi legiranje navara z legirnim varilnim praškom. Ko navarjamo na obrabno obremenjene površine močno legirane ledeburitne navare pod legirnimi varilnimi praški, moramo brezpogojno upoštevati predpisane pogoje navarjanja (temperaturo predgrevanja ter jakost in napetost varilnega toka).

4 LITERATURA

- ¹ R. Kejžar, Navarjanje močno legiranih nanosov na konstrukcijsko jeklo, Varilna tehnika, 41 (1992) 4, 96-101
- ² R. Kejžar, Platiranje konstrukcijskih jekel z navarjanjem, Kovine zlitine tehnologije, 28 (1994) 1-2, 95-100
- ³ IIW/IIS Doc. II-1326-97, A Classification System for Hardfacing Alloys, 1997
- ⁴ H. Uetz, Abrasion und Erosion, Carl Hanser Verlag, München, Wien, 1986
- ⁵ R. Kejžar, L. Kosec, M. Šolar, I. Lakota, Navarjanje abrazijsko odpornih nanosov, Zbornik posvetovanja ob dnevu varilne tehnike v Ljubljani, (2000) 47-52
- ⁶ R. Kejžar, Razširjene perspektive navarjanja močno legiranih nanosov, Kovine-zlitine-tehnologije, 29 (1995) 1-2, 113-116
- ⁷ Katalog dodatnih materialov Elektrode Jesenice, d. o. o., Welding Consumables, 1999
- ⁸ R. Kejžar, L. Kosec, A. Lagoja, S. Rožmanc, Kvaliteta navarjenih obrabno odpornih nanosov, Zbornik konference Proizvodne tehnologije in sistemi, Ljubljana, 1998, 33-36
- ⁹ R. Kejžar, Alloyed agglomerated welding fluxes for one-layer surfacing in structural steels, Proc. of Int. Conf. on the Joining of Materials, JOM-8, Helsingor, 1997, 68-71
- ¹⁰ R. Kejžar: Vzpostavljanje navidezne ravnotežja med žilindro in kovino pri dezoksidaciji jekla in varjenju, Železarski zbornik 8 (1974) 4, 193-201
- ¹¹ R. Kejžar: Prednosti navarjanja s strženskimi žicami, Kovine zlitine tehnologije, 31 (1997) 5, 413-417
- ¹² R. Kejžar: High - alloyed wear - resistant surfacings welds. IIW/IIS Doc. XII - 1685 - 01, 2001