

KVALITETA NAVARJENIH KOROZIJSKO OBSTOJNIH PREVLEK NA KONSTRUKCIJSKEM JEKLU

QUALITY OF SURFACED CORROSION-RESISTANT DEPOSITS ON STRUCTURAL STEEL

Rajko Kejžar¹, Aleš Lagoja²

¹Fakulteta za strojništvo, Univerza v Ljubljani, Aškerčeva 6, 1000 Ljubljana, Slovenija

²ACRONI, Jesenice, d.o.o., Cesta železarjev 8, 4270 Jesenice, Slovenija

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

Močno legirana jekla z visoko vsebnostjo kroma in niklja ter zelo malo ogljika so korozijsko obstojna. Legiranje visokih vsebnosti kroma in niklja v navar je pri navarjanju z oplasčenimi elektrodami, strženskimi žicami in pod legirnimi praški enostavno. Zaradi uvarjanja pa je pri enoslojnih navarih na konstrukcijskem jeklu nemogoče zagotoviti nizko vsebnost ogljika. Korozijsko obstojnost takih navarov zagotovimo z legiranjem niobija v navar. Niobij veže ogljik ter tako prepreči interkristalno korozijo, ki jo povzroči izločanje kromovih karbidov po mejah kristalnih zrn.

Navarjanje po TIG- in ročno obločnem postopku je neproduktivno. Pri navarjanjih po MIG- in EPP-postopku pa je uvarjanje v osnovno konstrukcijsko jeklo intenzivno, zato moramo pogosto navarjati večslojno, da so zgornji navari dovolj legirani s kromom, nikljem in niobijem, da so korozijsko obstojni.

Z intenzivnim legiranjem navara preko elektrodne obloge, polnitve strženske žice in legirnega varilnega praška pa lahko dobimo korozijsko obstojne navare na konstrukcijskem jeklu že z enoslojnim navarjanjem. Pri navarjanju po MIG-postopku in pod praškom je priporočljivo navarjanje z večžično elektrodo, da zmanjšamo uvarjanje v konstrukcijsko jeklo.

Najbolj legirane avstenitne korozijsko obstojne enoslojne nanose na konstrukcijskem jeklu dobimo pri navarjanju z večžično elektrodo, ki je legirana ali strženska žica, pod legirnim varilnim praškom.

Ključne besede: navarjanje, korozijsko obstojni nanosi, navarjanje po MIG-postopku in pod legirnim praškom

High-alloyed steels with high contents of chromium and nickel and a low content of carbon are corrosion-resistant. Alloying of the surfacing weld with high contents of chromium and nickel are made possible by covered electrodes, cored wires, and alloyed welding fluxes. Because of penetration, however, it is impossible to ensure a low content of carbon in one-layer surfacing welds on structural steel. The corrosion resistance of such surfacing welds can be ensured by alloying them with niobium. Niobium will bond with carbon and thus prevent intergranular corrosion produced by the precipitation of chrome carbides at grain boundaries.

Surfacing by TIG welding and manual metal arc-welding processes is unproductive. In surfacing with MIG and submerged-arc welding processes, however, the penetration in common structural steel is very intense; therefore, very frequently surfacing has to be carried out in several layers so that the upper welding beads may be sufficiently alloyed with chromium, nickel, and niobium to be wear-resistant.

Intense alloying of the surfacing weld by an electrode covering, a cored-wire filling and an alloyed welding flux, however, makes it possible to obtain corrosion-resistant surfacing welds on structural steel in a single layer. In surfacing with MIG and submerged-arc processes, it is recommended to surface with a multiple-wire electrode in order to reduce penetration into the structural steel.

The most strongly alloyed corrosion-resistant single-layer austenitic deposits on structural steel are obtained when surfacing with an alloyed multiple-wire electrode or with an alloyed welding flux.

Key words: surfacing, corrosion-resistant deposits, surfacing with MIG and submerged-arc processes

1 UVOD

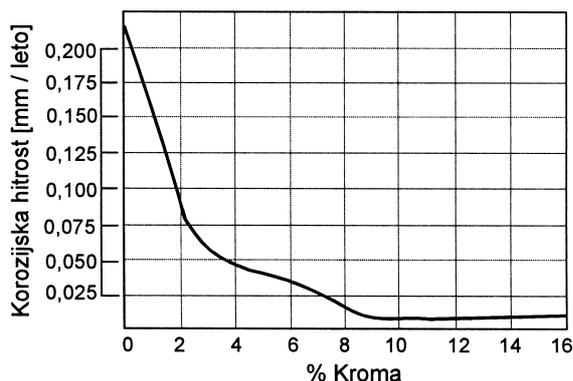
V skupino nerjavečih in korozijsko obstojnih jekel spadajo tista, ki so kemično obstojna pri delovanju vlažne atmosfere, vodne pare ter vodnih raztopin nekaterih kislin, baz in soli.

Omenjena nerjaveča in korozijsko obstojna jekla delimo v tri skupine glede na njihovo kemično sestavo (mas. %) in metalografsko strukturo:

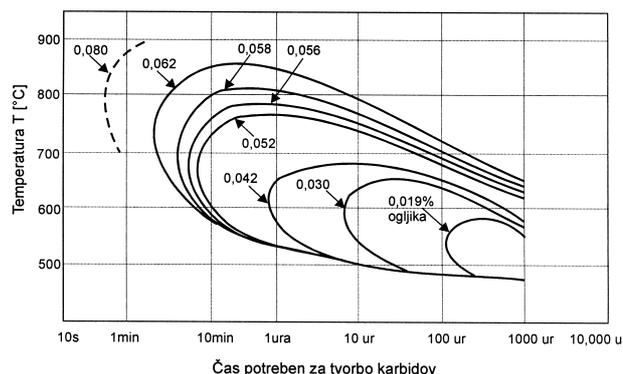
- feritna Cr-jekla, (maks. 0,12 % C, 13 do 20 % Cr oz. maks. 29 % Cr in maks. 2 % Mo).
- martenzitna Cr-jekla, (0,10 do 0,35 % C, 13 do 19 % Cr ter maks. 2 % Mo in maks. 2 % Ni)
- avstenitna CrNi-jekla, (maks. 0,2 % C, 10 do 26 % Cr, 8 do 14 % Ni oz. maks. 20 % Ni in maks. 2 % Mo)

Feritna in martenzitna Cr-jekla so v primerjavi z avstenitnimi CrNi-jekli korozijsko manj odporna. Korozijska odpornost opisanih močno legiranih jekel je posledica pasiviranja površine zaradi nastajanja Cr-oksidskih prevlek. Z naraščanjem deleža kroma v jeklu pada hitrost korozije zaradi tvorbe stabilnejše pasivne plasti Cr-oksidske prevleke na površini jekla (**slika 1**).

Izločanje karbidov po kristalnih mejah pri počasnem ohlajanju v temperaturnem območju od 870 °C do okoli 425 °C (pri varjenju) pa v močno legiranih Cr- in CrNi-jeklih povzroči znižanje vsebnosti kroma ob kristalni meji. V tako osiromašenih predelih se zmanjša delež kroma pod kritično mejo 12 %, ki še omogoča pasivacijo. Razlike v koncentraciji kroma ob meji in v kristalnem zrnju privedejo do nastanka mikrogalvanskega



Slika 1: Korozijska hitrost v odvisnosti od vsebnosti kroma v močno legiranih jeklih ¹
Figure 1: Corrosion speed as a function of chromium content in high-alloyed steels ¹



Slika 2: Vpliv temperature, časa in deleža ogljika na izločanje karbidov ¹
Figure 2: Temperature, time and carbon content influence on precipitation of carbides ¹

člena, kar povzroči anodno raztapljanje osiromašenih predelov na kristalnih mejah - interkristalno korozijo ¹.

Na izločanje karbidov v avstenitnem CrNi-nerjavečem in korozijsko obstojnem jeklu pa ne vpliva samo količina ogljika in temperatura. Zelo pomemben je tudi čas. Z naraščanjem vsebnosti ogljika se hitrost izločanja karbidov hitro povečuje (slika 2).

Pojav interkristalne korozije preprečujemo z dodatkom stabilizatorjev (titana, niobija in tantalata). Ti elementi imajo večjo afiniteto do ogljika, zato krom ne tvori karbidov.

Pri varjenju in navarjanju avstenitnih CrNi-korozijsko obstojnih nanosov pa z izbiro tehnologije lahko vplivamo tudi na čas za izločanje karbidov, ki naj bo čim krajši. CrNi-nerjaveča in korozijsko obstojna jekla zato varimo brez predgrevanja in z majhnim vnosom toplote, da tako zagotovimo čim večjo hitrost ohlajanja vara in toplotno vplivanega področja.

2 NAVARJANJE KOROZIJSKO OBSTOJNIH NANOSOV NA KONSTRUKCIJSKA JEKLA

Korozijsko obstojna jekla največ varimo po TIG- in MIG-postopku z močno legiranimi žicami ter ročno obločno z oplaščenimi elektrodami. Sestave čistih varov so v vseh navedenih primerih nerjaveča in korozijsko obstojna jekla. Pri varjenju konstrukcijskega jekla pa je korozijska obstojnost varov zelo odvisna od uvarjanja in sestave jekla (tabela 1).

Korozijska obstojnost enoslojnih navarov je zaradi zvišane vsebnosti ogljika problematična, pri navarjanju po MIG- postopku pa lahko pričakujemo, zaradi intenzivnejšega uvarjanja v osnovno konstrukcijsko jeklo, slabo korozijsko obstojnost tudi dvoslojnih navarov.

Pri produktivnejših postopkih navarjanja, to je navarjanju po MIG-postopku in pod praškom (EPP), ki ju spremlja intenzivnejše uvarjanje, lahko izboljšamo

Tabela 1: Navarjanje po TIG- in MIG-postopku z dodatnimi materiali TIG 19/9 NbSi in MIG 19/9NbSi na konstrukcijsko jeklo sestave: 0,16 % C; 0,21 % Si in 0,42 % Mn

Table 1: TIG- and MIG-surfacing with filler material TIG 19/9 NbSi and MIG 19/9NbSi on structural steel: 0,16 % C; 0,21 % Si and 0,42 % Mn

Postopek	% uvara	% C	% Si	% Mn	% Cr	% Ni	% Nb
TIG 1 sloj	20	0,08	0,60	1,68	15,2	7,2	0,56
2 sloj	20	0,06	0,68	1,94	18,2	8,6	0,67
MIG 1 sloj	50	0,11	0,46	1,21	9,5	4,5	0,35
2 sloj	50	0,09	0,58	1,61	14,3	6,8	0,53

Tabela 2: Sestavi izbranih strženskih žic, čistih varov in enoslojnih navarov z dvojno elektrodo ϕ 2,75 mm po MIG-postopku (33 V, 500 A) na konstrukcijsko jeklo sestave: 0,16 % C, 0,21 % Si in 0,42 % Mn

Table 2: Compositions of selected cored wires, deposited metals and single-layer MIG-surfacing weld obtained with two cored wires ϕ 2,75 mm (33 V, 500 A) on structural steel: 0,16 % C, 0,21 % Si and 0,42 % Mn

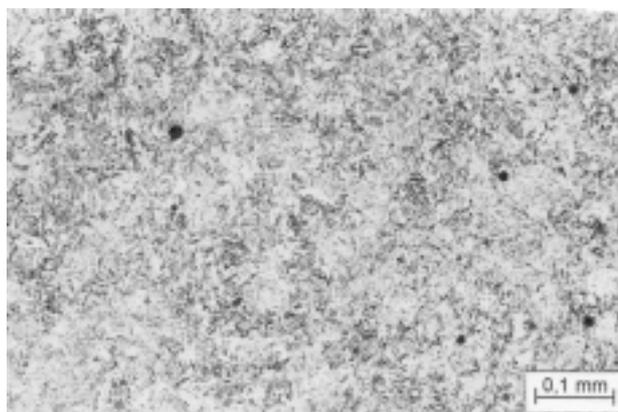
Strženska žica	% C	% Si	% Mn	% Cr	% Ni	% Nb
S-18/8 LC; sestava žice	0,04	0,02	0,22	20,0	9,2	-
čisti var	0,04	0,15	0,22	20,2	9,3	-
enoslojni navar	0,07	0,16	0,28	15,2	7,0	-
S-18/8 Nb; sestava žice	0,04	0,02	0,22	17,5	7,2	1,3
čisti var	0,04	0,15	0,22	17,6	7,3	1,3
enoslojni navar	0,07	0,16	0,28	13,2	5,5	1,0

korozijsko obstojnost enoslojnih in dvoslojnih navarov na konstrukcijskem jeklu le z intenzivnejšim legiranjem navara s kromom, nikljem in niobom preko polnitve strženske žice in preko legiranega varilnega praška.

Za enoslojno navarjanje korozijsko obstojnih nanosov na konstrukcijsko jeklo smo pripravili strženski žici S-18/8 LC in S-18/8 Nb. Masni delež polnitve, ki vsebuje le okoli 8 % mineralov (drugo so kovine), je pri omenjenih dveh strženskih žicah 30,7 % in 28,1 %. Sestave strženskih žic, čistih varov in enoslojnih navarov na konstrukcijsko jeklo (navarjali smo z dvojno elektrodo po MIG-postopku; delež uvarjanja v osnovo je bil 25-odstoten), so podane v **tabeli 2**.

Zaradi prenizke vsebnosti kroma in niklja so enoslojni navari s stržensko žico "S-18/8 Nb" na konstrukcijskem jeklu korozijsko neodporni. Nekoliko bolj korozijsko odporni pa so nanosi s stržensko žico "S-18/8 LC". V **tabeli 3** je podana korozijska odpornost, trdota in struktura (**sliki 3 in 4**) enoslojnih navarov s strženskima žicama S-18/8 LC in S-18/8 Nb ².

Slaba korozijska obstojnost prikazanih enoslojnih navarov je posledica martenzitno bainitne strukture in notranjih napetosti (visoke trdote) v navarih. Korozijsko obstojnost smo določali v skladu z ISO - standardi ^{3,4} z raztapljanjem izrezanih vzorcev navarov v 18-odstotni H₂SO₄ pri 60 °C (1^b) ter obrabo podali v g/m² ploščine vzorca.



Slika 3: Mikrostruktura enoslojnega navara z dvojno stržensko žico S-18/8 LC po MIG- postopku na izbranem konst. jeklu (martenzit ter delno bainit in avstenit; precej karbidov)

Figure 3: Microstructure of single-layer MIG-surfacing weld obtained with two cored wires S-18/8 LC on structural steel (martensite and partly bainite and austenite; many carbides)

Boljšo obrabno obstojnost in bolj legirane avstenitne enoslojne navare pa dobimo pri navarjanju z dvojno nelegirano žico EPP 2 ali dvojno stržensko žico S-18/8 Nb pod legirnim varilnim praškom AB-CrNiNb (masni delež kovin 48 %) ⁵. Sestave kovin dodatnih materialov (masivna in strženska žica) in pomožnega materiala (legirni varilni prašek), ki se pri varjenju porabljajo približno v razmerju 1:2, ter čistih varov in enoslojnih

Tabela 3: Korozijska obstojnost, trdota in struktura enoslojnih navarov z dvojno elektrodo po MIG-postopku na izbranem konstrukcijskem jeklu
Table 3: Corrosion resistance, hardness and structure of single-layer MIG-surfacing weld obtained with two cored wires on selected structural steel

Vzorec	Korozijska obstojnost		Trdota (HV)		Struktura
	(g/m ²)	Koeficient relativne obrabe	Teme	Koren	
Konstrukcijsko jeklo	192	1,00			Feritno-perlitna
Nerjaveče jeklo	18,2	0,095			Avstenitna
Enoslojni navar S-18/8 Nb	223	1,16	419	450	Martenzitno-bainitna
Enoslojni navar S-18/8 LC	89,3	0,47	395	402	Martenzitno-bainitna

$$\text{Koeficient relativne obrabe} = \frac{\text{Korozijska obraba vzorca (g)}}{\text{Korozijska obraba izbranega konst. jekla (g)}}$$

Tabela 4: Sestave kovin dodatnih in pomožnih materialov ter čistih varov in enoslojnih navarov z dvojno masivno in stržensko žico (φ2 in 2,75 mm) pod legirnim varilnim praškom (32 V, 533 A) na konstrukcijsko jeklo sestave: 0,16 % C; 0,21 % Si in 0,42 % Mn (ca. 20-odstotno uvarjanje)

Table 4: Compositions of filler and auxiliary materials (metals), deposited metals and single-layer submerged-arc surfacing weld obtained with two massive and cored wires (φ2 and 2,75 mm) and alloyed flux (32 V, 533 A) on structural steel: 0,16 % C; 0,21 % Si and 0,42 % Mn (about 20 % penetration)

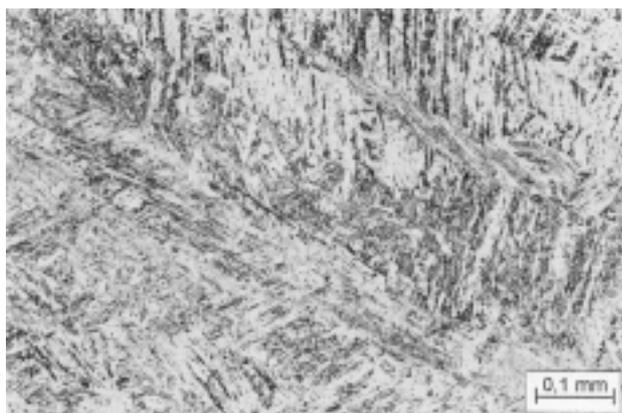
Dodatni in pomožni material	% C	% Si	% Mn	% Cr	% Ni	% Nb
EPP2, φ2 mm in AB-CrNiNb						
sestava kovin (žica + prašek)	0,02	0,07	0,36	21,1	8,4	1,5
čisti var	0,06	0,77	0,49	30,8	12,6	2,2
enoslojni navar	0,08	0,66	0,48	24,6	10,1	1,8
S-18/8 Nb, φ 2,75 mm in AB-CrNiNb						
sestava kovin (žica + prašek)	0,02	0,01	0,08	27,1	10,9	1,9
čisti var	0,05	0,82	0,11	40,2	16,4	2,8
enoslojni navar	0,07	0,69	0,17	32,2	13,1	2,2

Tabela 5: Korozijska obstojnost, trdota in struktura enoslojnih navarov z dvojno elektrodo pod praškom AB-Cr-NiNb na izbranem konstrukcijskem jeklu

Table 5: Corrosion resistance, hardness and structure of single-layer submerged-arc surfacing weld obtained with two electrodes and flux AB-Cr-NiNb on selected structural steel

Vzorec	Korozijska obstojnost		Trdota (HV)		Struktura
	(g/m ²)	Koeficient relativne obrabe	Teme	Koren	
Enoslojni navar EPP2/AB-CrNiNb	31,2	0,163	350	310	Avstenitna
Enoslojni navar S-18/8Nb/AB-CrNiNb	12,0	0,063	275	280	Avstenitna

Opomba: Korozijska obstojnost izbranega konstrukcijskega jekla je 192 g/m²



Slika 4: Mikrostruktura enoslojnega navara z dvojno stržensko žico S-18/8 Nb po MIG- postopku na izbranem konst. jeklu (martenzit in bainit)

Figure 4: Microstructure of single-layer MIG-surfacing weld obtained with two cored wires S-18/8 Nb on structural steel (martensite and bainite)

navarov na izbranem konstrukcijskem jeklu (0,16 % C; 0,21 % Si in 0,42 % Mn) so podane v **tabeli 4**.

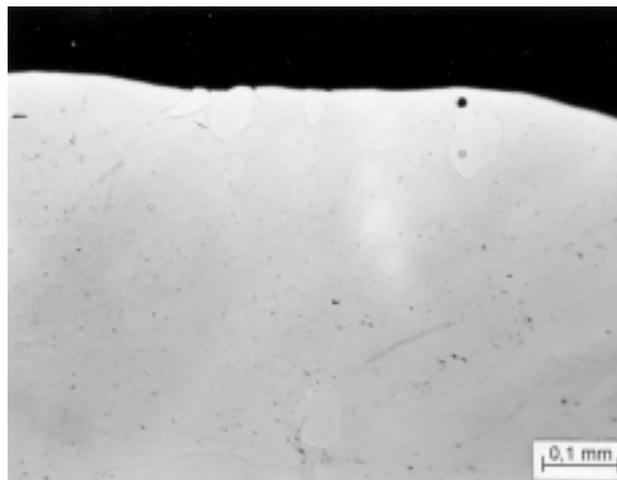
Korozijska odpornost, trdota in struktura (**slika 5**) enoslojnih navarov pod legirnim praškom AB - CrNiNb je podana v **tabeli 5**.

Dobro korozijsko obstojnost navarov zagotavlja avstenitna struktura z visoko vsebnostjo kroma, niklja in nioba že v enoslojnih navarih na konstrukcijskem jeklu, če navarjamo z večžično elektrodo pod legirnimi varilnimi praški.

3 SKLEP

Močno legirana korozijsko obstojna avstenitna jekla lahko navarjamo na konstrukcijsko jeklo po ročno obločnem postopku z oplaščenimi elektrodami ter po TIG- in MIG-postopku z legiranimi in strženskimi žicami ter pod legirnimi varilnimi praški. Navarjanje po TIG- in ročno obločnem postopku je neproduktivno. Pri navarjanjih po MIG- in EPP-postopku pa je uvarjanje v osnovno konstrukcijsko jeklo intenzivno, zato moramo navarjati pogosto večslojno, da so zgornji navari dovolj legirani s kromom, nikljem in niobom, da so korozijsko obstojni.

Z intenzivnim legiranjem navara preko elektrodne obloge, polnitve strženske žice in legirnega varilnega



Slika 5: Mikrostruktura enoslojnega navara z dvojno žico EPP2 pod praškom AB-CrNiNb na izbranem konstrukcijskem jeklu (avstenitna osnova z večjimi karbidi na površini)

Figure 5: Microstructure of single-layer submerged-arc surfacing weld obtained with two wires EPP2 and alloyed flux AB-CrNiNb on structural steel (austenitic base with larger carbides on surface)

praška pa lahko dobimo korozijsko obstojne navare na konstrukcijskem jeklu že z enoslojnim navarjanjem. Pri navarjanju po MIG-postopku in pod praškom je priporočljivo navarjanje z večžično elektrodo, da zmanjšamo uvarjanje v konstrukcijsko jeklo.

Najbolj legirane avstenitne korozijsko obstojne enoslojne nanose na konstrukcijskem jeklu dobimo pri navarjanju z večžično elektrodo, ki je legirana ali strženska žica, pod legirnim varilnim praškom.

4 LITERATURA

- ¹ Vehovar L.: Korozija kovin in korozijsko preskušanje, Ljubljana, 1991
- ² Kuhar M.: Navarjanje po TIG- in MIG-postopku s strženskimi žicami, Diplomaska naloga, Ljubljana, 1999
- ³ International standard ISO 3651-1. Determination of resistance to intergranular corrosion of stainless steels; Part 1, Second edition 1998
- ⁴ International standard ISO 3651-2. Determination of resistance to intergranular corrosion of stainless steels; Part 2, Second edition, 1998
- ⁵ Kraljič V.: Navarjanje korozijsko obstojnih navarov na konstrukcijsko jeklo pod varilnim praškom, Diplomaska naloga, 5048, Ljubljana, 2000