

Varjenje pod praškom 18/8Cr - Ni jekel

Članek obravnava osnove varjenja avstenitnega Cr-Ni jekla ter problematiko varjenja tega jekla pod praškom. Opisani so poizkusi izdelani z dodajnim materialom domače proizvodnje.

1. UVOD

Zaradi zahtev po čim večji produktivnosti in čim hitrejših varilnih postopkih se je tudi pri varjenju nerjavečega avstenitnega Cr-Ni jekla začel uveljavljati postopek mehaniziranega varjenja. Vzporedno s povečanjem storilnosti in skrajšanjem časa varjenja ta postopek tudi poceni samo varilsko delo. Tako so do danes v nekaterih deželah razvili tudi za varjenje Cr-Ni jekla že vse tri oblike mehaniziranega varjenja: avtomatsko oziroma polavtomatsko varjenje pod praškom, varjenje v zaščitni atmosferi ter varjenje pod žlindro. Za tanko pločevino od 0,2—5 mm pride v poštev predvsem varjenje po WIG in MIG postopku s kratkostičnim oblokom. Oba postopka sta lahko polavtomatska, možno pa ju je tudi popolnoma avtomatizirati. Za pločevino od 5—50 mm pa tudi navzgor pride v poštev MIG (SIGMA) postopek ter varjenje pod praškom. Pri še debelejši pločevini se je obneslo varjenje pod žlindro. Po katerem postopku naj varimo pločevino nad 5 mm: ali v zaščitni atmosferi ali pod praškom? To je odvisno od več faktorjev. Varjenje traja pri pločevini pod 10 mm po MIG postopku nekoliko manj kot pri varjenju pod praškom. Hitrost varjenja je namreč pri varjenju pod praškom manjša kot pri varjenju v zaščitni atmosferi, in je pri 60 cm/mm že na zgornji meji. Pri varjenju pločevine nad 10 mm pa je varjenje pod praškom hitrejše, ker dopušča uporabo večje jakosti toka in s tem večjo hitrost odtaljevanja. Prednost varjenja pod praškom je tudi v tem, da je varilni oblok med varjenjem pokrit s praškom in ni škodljivega žarčenja po delovnem prostoru.

2. SPLOŠNO O VARJENJU POD PRAŠKOM

Postopek je bil patentiran leta 1934 v Nemčiji. Polno se je uveljavil šele po letu 1943. Med drugo svetovno vojno so ga izpopolnili in dokončno razvili v Ameriki ter ga imenovali talilno varjenje z golo elektrodo. Pri nas se je zanj uveljavila kratica EPP (Elektro pod praškom). V Nemčiji je poznan pod imenom Ellira (Elektro — linde — Rapid), ali

pa ga označujejo s kratico UP (Unter — Pulver — Verfahren). Postopek se je kaj kmalu uveljavil predvsem za varjenje dolgih in debelih zvarov v ladjedelnstvu, transportu, kotlovski pločevini ter gradbenih jeklenih konstrukcijah in to zaradi mnogo večje storilnosti, manjše porabe toka ter večje hitrosti varjenja kot pri ročnem načinu.

Mehanske lastnosti, oblika zvara, globina uvara ter kemični sestav so pri varjenju pod praškom odvisni predvsem od naslednjih faktorjev:

1. sestav žice
2. vrsta varilnega praška
3. količina raztaljene žlindre
4. napetost varilnega toka
5. jakost varilnega toka
6. varilna hitrost
7. vrsta varilnega toka (istosmerni - izmenični)
8. nasipna višina praška

Vpliv varilnih parametrov na proces varjenja je naslednji:

a) napetost varilnega toka

Čim višja je napetost varilnega loka tem daljša je obločna proga med elektrodama. Posledica tega je, da raztaljene kapljice pršijo bolj v širino in zato je uvar manjši ter širši. Količina žlindre narašča in zato pride do večjega metalurškega vpliva praška. Tako je pri mangansko-silikatnih praških prigor silicija in mangana tem večji čim višja je napetost. Prav tako je višji učinek legiranja pri uporabi aglomeriranih praškov, ki imajo dodane ferolegure. Obratno pa je pri višji napetosti večji odgor legirnih elementov iz žice ob uporabi silikatnih brez manganskih praškov. Od varilne napetosti je odvisno tudi pravilno razmerje silicija in mangana, zato je ne moremo poljubno višati.

b) **jakost varilnega toka.** Z naraščajočo jakostjo toka se poveča globina uvara. Poveča se tudi storilnost (kg vara/h). Nima pa tolikšnega vpliva na količino raztaljene žlindre ter na učinek legiranja.

c) od hitrosti varjenja je odvisna oblika zvara, količina raztaljene žlindre ter s tem v zvezi metalurški vpliv praška. Čim večja je hitrost tem ožji je zvar. Količina raztaljene žlindre je manjša in s tem je tudi metalurški vpliv praška manjši.

3. SPLOŠNO O VARJENJU Cr-Ni JEKLA

Nosilec obstojnosti proti rji in kislinam je krom, ki tvori na površini s kisikom tanko plast kromovega oksida. Ta potem ščiti jeklo pred nadaljnjo korozijo. Minimalna količina kroma, ki je

potrebna, da je jeklo že korozijsko obstojno je 13 %. Z naraščajočo vsebnostjo kroma se obstojnost še poveča. Z dodatki Ni in Mn dobimo nadaljnje vrste jekla, ki ima poleg dobre korozijske obstojnosti še višjo trdnost in žilavost. Enako kot jeklo samo mora biti tudi zvar obstojen proti zunanji ter interkristalni koroziji. Obstojnost pa ni odvisna samo od vsebnosti kroma temveč v veliki meri tudi od ogljika. Krom je izreden karbidotvorac, posebno še, če jeklo oziroma zvar segrejemo do določene temperature (500—600°). Ti karbidi pa so še posebno nevarni na mejah kristalnih zrn. Zaradi tvorbe karbida pride na mejah zrn do osiromašenja kroma, ki pade lahko tudi pod 13 %. Posledica tega je, da postane jeklo ter zvar neobstoječe proti interkristalni koroziji. Torej vsebnost kroma pade na mejah zrn avstenita pod mejo korozijske obstojnosti. Zlasti zasledimo ta pojav na mejni zoni zvara, ki leži v temperaturnem območju 500—600° C. To preprečimo lahko na dva načina:

1. z znižanjem ogljika na maksimalno 0,03 %. Tako nizek ogljik je prenizek za tvorbo kromkarbida in zato ne more priti do osiromašitve kroma na mejah zrn;

2. z dodajanjem stabilizatorjev (Ti, Ta, Nb), ki so močni karbidotvorci — imajo večjo afiniteto do ogljika in se zaradi tega kromov karbid ne more tvoriti.

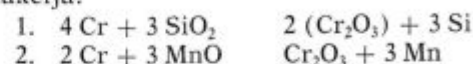
Avstenitno Cr-Ni jeklo je tudi slab prevodnik toplote ter ima za okoli 50 % večji toplotni raztezek kot ogljikovo konstrukcijsko jeklo. Posledica slabe toplotne prevodnosti je, da množina toplote v zvaru in mejnih zonah ostane dalj časa kot pa je to primer pri ogljičnem jeklu. Zaradi tega se lahko zvar prekomerno pregreje, to je do kritične temperature in se začne izločati Cr karbid ter zmanjša obstojnost proti interkristalni koroziji. Kot je bilo že omenjeno te nevarnosti ni pri jeklu z zelo nizkim ogljikom ter pri stabiliziranem jeklu. Kljub temu mora biti dovod toplote čim manjši. Zato je treba variti z minimalnim tokom in čim večjo možno varilno hitrostjo. Vsak zvar pa je treba sproti ohladiti preden nanesemo novega. Da čim bolj povečamo obstojnost proti interkristalni koroziji, morajo biti površine čim bolj čiste, ker nečistoče kot maščobe, olja, barve itd., lahko povečajo količino ogljika. Pri več varkovnem varjenju moramo tudi paziti, da je stran, ki je izpostavljena koroziji, vedno zadnja zavarjena. Pred zadnjim varkom je treba zvar popolnoma ohladiti in šele nato ga nanesemo. S tem preprečimo, da bi bil zadnji var pregret do kritične temperature. Ta var ima potem zaradi nagle ohladitve izredno dobro korozijsko obstojnost. Torej ima var, ki ni ponovno pregret največjo korozijsko obstojnost. Zato pri varjenju posod varimo najprej zunanjo stran, šele nato notranjo. Če je potrebno zvar postružiti in polirati, je treba paziti, da ima zadnji var dovolj velik uvar, tako da ga po struženju še vedno dovolj ostane.

4. VARJENJE Cr-Ni JEKLA POD PRASKOM

Prvi poizkusi varjenja avstenitnega Cr-Ni jekla so bili opravljeni s praški, ki se uporabljajo za varjenje ogljikovega jekla. Pri uporabi teh praškov so bile ugotovljene predvsem naslednje pomanjkljivosti:

1. Zelo slabo odstranjevanje žlindre od zvara

2. Velik prigor silicija iz praška v zvar ter visok odgor Cr. Ta odgor je tem večji čim več vsebuje prašek silicija in mangana. Pri varjenju poteka med Cr iz žice ter SiO₂ in MnO iz praška naslednja reakcija:



Odgor kroma znaša lahko v mnogih primerih tudi po več procentov in se zato zniža predvsem vsebnost ferita. Posledica tega je pojav velikih razpok v zvaru.

3. Zmanjšana obstojnost proti interkristalni koroziji zaradi zmanjšanja vsebnosti kroma, odgora Nb/Ta oziroma Ti pri stabiliziranem jeklu ter povečane vsebnosti C pri nestabiliziranem jeklu z nizkim C.

V zadnjem času so bili razviti novi praški in žice s katerimi so navedene težave odpravljene.

Prvo kar zahtevamo od praška je, da mora biti prašek metalurško nevtralen. Sestava čistega zvara naj bo po možnosti čim bolj enaka varjenemu jeklu. To dosežemo z medsebojno uskladjeno praška in žice. Pri tem mora imeti čisti zvar naslednje lastnosti:

- a) kroma mora vsebovati nekoliko več kot ga je v jeklu, ki ga varimo,

- b) ferita mora vsebovati od 5—9 % (minimalno 5 %),

- c) Si naj bo maks. 1 %,

- d) Mn naj bo nekoliko višji in sicer od 1,5 do 2 %,

- e) količina P in S naj bo čim nižja.

Zahteve b, c, d, e so pogoj za zmanjšanje razpokljivosti v vročem.

Za preprečitev interkristalne korozije naj bo količina stabilizatorjev v naslednjem razmerju: Nb : C = 10 : 1, Ti : C = 5 : 1. Tudi količina N ne sme prekoračiti predpisane meje. Kroma mora biti v zvaru več kot pa ga je v jeklu zaradi tega, da je zvar bolj plemenit kot samo jeklo ter tako ni podvržen močnejšemu najedanju. Nasprotno pa lahko prevelik odstotek kroma povzroči razpadanje na prehodni zoni zaradi tvorbe mikrogalvanske korozije. Ferita mora biti v avstenitu od 5—9 % zaradi tega, da ta izravna notranje napetosti in prepreči pokanje zvara. Pri ročnem varjenju pa je lahko ferita nekoliko manj in sicer najmanj 3,5 %.

Nevaren pa je tudi previsok odstotek ferita, saj povzroča trdi lom in to že pri količini 7—8 % ferita, če znaša Cr ekvivalent (% Cr + % Mo + 1,5 % Si + 0,5 % Nb) več kot 23 %. Trdi lom nastopa še bolj pri jeklu, ki vsebuje Mo in Nb. To se kaže v tem, da pri upogibnih raziskavah ne do-

sežemo zahtevanega kota. Torej je treba paziti tudi na previsok odstotek ferita. Zato mora biti sestava žic taka, da zadovolji tem zahtevam za posamezno vrsto jekla.

Varilni prašek mora imeti še naslednje lastnosti: V zvar sme preiti čim manj P, S, Si in C. Mn, Cr, Mo, Ni, Nb in Ti pa naj ostanejo čim bolj konstantni. Običajno se pri varjenju pod praškom vsebnost C in S malenkostno zviša ali pa zniža. Si se delno zviša, Ni in Mo pa ostaneta nespremenjena. Mn, Cr, Nb, Ti močno odgorevajo. Ti odgoreva tako močno, da tudi s Ti stabilizirano jeklo varimo z Nb — stabiliziranimi žicami. Da je odgor teh elementov čim nižji je treba zato vzeti pri taljenih praških nevtralni prašek, ki vsebuje čim manj oksidov, ki se lahko reducirajo. Torej prašek, ki bo vseboval čim manj SiO₂ ter čim več Al₂O₃, CaO, MgO, oziroma CaF₂. Na ta način se zelo zmanjša odgor kroma.

Pri aglomeriranih praških je možno odgor teh elementov nadoknaditi z dodajanjem ferolegur ali metalnega prahu v sam prašek. Pravilen dodatek je zelo važen. Ta mora biti samo tolikšen, da z njim nadomestimo odgor določenih elementov.

Pri tem ima važno vlogo tudi napetost in jakost varilnega toka. Čim višja je napetost in tem nižja jakost varilnega toka, tem višji bo odgor elementov pri taljenih praških ter obratno večji bo prehod teh elementov iz praška v zvar pri aglomeriranih. To je razumljivo, ker je količina raztaljene žilindre odvisna od napetosti varilnega toka. Čim višja je le-ta, tem več je namreč raztaljene žilindre. Zato metalne kapljice dalj časa plavajo skozi raztaljeno žilindro, torej je medsebojni reakcijski čas večji.

Vse to pa ni tako odločujočega pomena, če varimo pločevino take dimenzije, da jo lahko zavariamo z enim ali dvema varkoma. To je od 8 — 15 milimetrov. V tem primeru pride do zmešanja

z osnovnim materialom in s tem, do analizne izravnavne. Pri varjenju debelejšje pločevine, kjer je treba variti večvarkovno, ko ne pride več do zmešanja z osnovnim materialom in imamo od vara do vara vedno bolj čist var, pa morata biti žica in prašek medsebojno usklajena, da dobimo pravilno sestavo zvara. Prav tako je treba v tem primeru variti s čim nižjo napetostjo (27 — 30 V) in relativno višjo jakostjo (500 — 600 A).

V nasprotju z ogljikovim jeklom so pri varjenju pod praškom avstenitnega jekla določene razlike. Maksimalna jakost varilnega toka ne sme presegati 500 — 600 A, varilna hitrost pa ne 60 cm/min, da ne nastopijo globoke brazde po sredini zvara. Za varjenje se je najbolje obnesla žica Ø 3 mm. Hitrost odtaljevanja žice je pod enakimi pogoji varjenja mnogo večja kot pri navadnih žicah. Zato imajo vari precej višje teme. Zaradi tega se uporablja oblika I zvara samo do 10 mm debeline, za debelejšjo pločevino pa uporabimo V zvar. Razmak plošč ne sme biti več kot 2 mm dočim je pri običajnih jeklih lahko 3 mm. To zato, ker je pri avstenitnem jeklu težje premostiti špranjo. Zelo važna je tudi pravilna namestitev varilnih parametrov. Tako je potrebna za enako debelo pločevino iz avstenitnega jekla mnogo nižja jakost toka kot za pločevino iz normalnega jekla.

Varilna hitrost ima velik vpliv na globino uvara. Že z majhno spremembo te, ki pri normalnem jeklu še nima nobenega vpliva, se globina uvara pri avstenitnem jeklu še spremeni.

Iz tega sledi, da je od pravilne namestitve varilnih parametrov odvisno kakšna bo: globina uvara, količina ferita, legiranje, interkristalna korozija ter trdi lom.

Varjenje pod praškom avstenitnega jekla lahko uporabimo od 5 — 50 mm debeline.

Tabela št. 1 — Metalurški vpliv praška pri varjenju

1. Analiza žice: Ø 4 mm																			
C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Nb		Varilni parametri				Odgor in prigor							
								A	V	v cm/min	vrsta toka	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Nb	
0,08	0,54	0,77	17,40	11,30	2,30	0,46													
a)	0,09	0,87	0,51	15,63	11,0	2,20	0,15	600	50	50	izmenični	+	+	—	—	—	—	—	—
												0,01	0,33	0,26	1,77	0,30	0,10	0,31	
b)	0,10	0,88	0,50	16,—	10,5	2,15	0,25	600	40	50	izmenični	+	+	—	—	—	—	—	—
												0,02	0,34	0,27	1,40	0,80	0,15	0,21	
c)	0,09	0,64	0,64	16,40	10,30	2,27	0,20	600	30	50	izmenični	+	+	—	—	—	—	—	—
												0,01	0,10	0,13	1,0	1,0	0,03	0,24	
d)	0,06	0,72	0,66	13,45	10,20	2,10	0,16	600	30	50	istosm.	—	+	—	—	—	—	—	—
												0,02	0,18	0,11	3,95	0,30	0,20	0,30	
e)	0,06	0,83	0,53	13,—	10,22	2,12	0,10	600	30	50	istosm.	—	+	—	—	—	—	—	—
												0,02	0,29	0,24	4,40	1,10	0,18	0,36	
f)	0,07	0,65	0,60	13,50	10,90	2,25	0,22	600	30	50	istosm.	—	+	—	—	—	—	—	—
												0,01	0,11	0,17	3,90	1,08	0,05	0,24	
g)	0,07	0,96	0,43	16,10	11,30	2,30	0,13	600	40	50	izmenični	—	+	—	—	—	—	—	—
												0,01	0,42	0,34	1,27	—	—	0,33	

5. RAZISKAVE Z DOMAČIM DODAJNIM MATERIALOM

Varjenje pod praškom prokron jekla v naši industriji do sedaj še nismo dosti uporabljali. Vse vrste takega jekla smo varili v glavnem ročno. V kolikor smo varili pod praškom smo uporabljali uvozni dodajni material. Da bi lahko v bodoče zadostili tem potrebam po domačem varilnem dodajnem materialu smo začeli z raziskavami na tem področju in sicer s praškom EP 45, ki po sestavi odgovarja za ta namen.

Pri tem smo raziskali vpliv praška na proces varjenja ter preiskali zvarne spoje z različno sestavo žic in dimenzij.

5.1 Vpliv varilnega praška na sestavo vara

Za določitev metalurške karakteristike praška smo z žico \varnothing 4 mm določene sestave (tabela št. 1) napravili večstopne navare in poslednjega, kjer ni bilo več vpliva osnovnega materiala, kemično analizirali. Iz primerjave med analizo žice in analizo navara smo ugotovili količino odgora in prigora posameznih elementov. Rezultat teh raziskav je prikazan na tabeli št. 1. Iz njih se vidi, da ogljik ostane ali konstanten ali pa odgori oziroma prigori max. 0,02 %. Maksimalni prigor silicija je 0,46 %. Maksimalni odgor Mn je 0,35 % ter Cr maks. 4,5 %. Ni in Mo ne odgorevata. Minimalne razlike pri Ni in Mo, ki nastanejo so verjetno posledica neenakomerne sestave žice ali pa vpliva osnovnega materiala.

5.2 Mehanske vrednosti čistega vara

Za določitev mehanskih vrednosti čistega vara smo uporabili žico enake sestave kot pri raziskavah metalurške karakteristike praška. Za to določitev smo navarili čisti var med 2 plošči dimenzije $20 \times 350 \times 100$. Spodnja širina je bila 16 mm. Varilni tok je znašal 600 A, varilna napetost 30 V in varilna hitrost 50 cm/uro. Dobili smo naslednji rezultat:

Meja raztezka kp/mm ²	Trdnost kp/mm ²	raztezek %	kontrakcija %	žilavost DVM 20° kpm/cm ²
37	44	8	18,8	6, 7, 10

Analiza čistega vara:

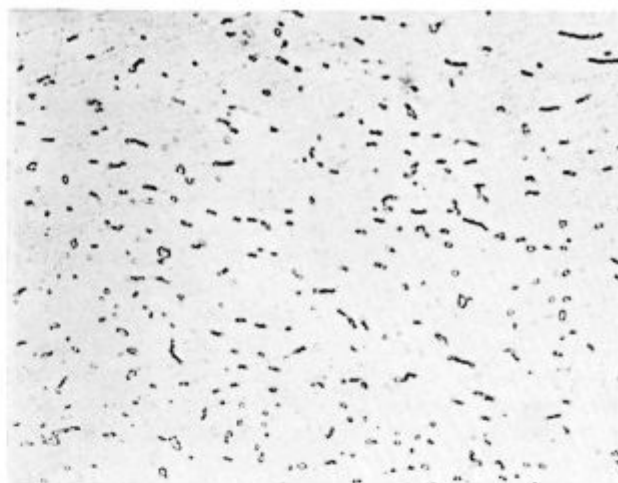
C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Nb
0,07	1,06	0,43	16,10	11,78	2,30	0,25 %

Čisti var je imel precejšnje število razpok. Prav tako so se razpoke pojavljale že med samim varjenjem. Mikrostrukturo čistega vara tega poizkusa prikazuje slika št. 1. Torej žica omenjene sestave ne pride v poštev za večvarkovno varjenje.

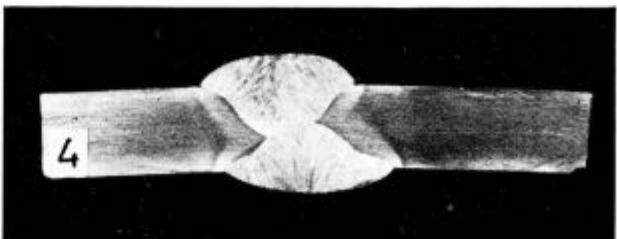
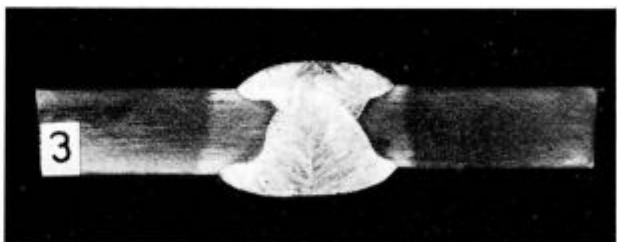
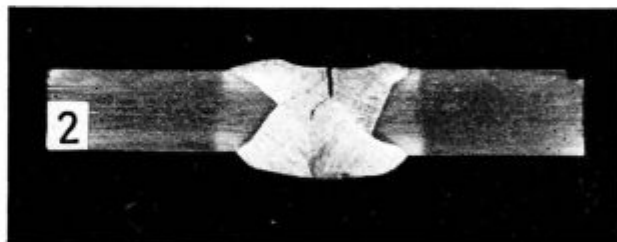
5.3 Preiskava zvarnega spoja in interkristalne korozije

Za te preiskave smo uporabili pločevino naslednje sestave:

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Nb
0,04	0,74	1,70	18,18	11,40	0,10	0,62



Slika 1
Mikrostruktura čistega zvara



Slika 2
Makrostruktura zvara — žica \varnothing 4 mm

Dimenzija plošč je bila $400 \times 150 \times 10$. Narejen je bil I zvar. Prva stran je bila zavarjena s 450 A, 38 V in hitrostjo 5 cm/min. Druga stran pa s 550 A, 40 V in 40 cm/min. Rezultat preiskav je bil negativen. Po dolžini zvara so nastale močne razpoke, ki so bile na začetku in koncu še izrazitejše. Na slikah št. 2 je prikazana makrostruktura preseka zvara na različnih mestih. Pri tem so vidne razpoke, ki so nastale vzdolž zvara.

Iz delov zvara, kjer razpok ni bilo, je bil napravljen še preizkus interkristalne korozije. Določena je bila po predpisih Vereius — Deutscher Eisenhüttenleute — Stahl und Eisen, Prüfblatt 1875 — 61. Preiskava je pokazala popoln razpad kristalnih zrn. Slika št. 3.

Na osnovi opravljenih preiskav smo prišli do naslednjega zaključka:

1. Žica, kakršno smo uporabili in ki se obenem uporablja za izdelavo prokron elektrod za varjenje s praškom EP 45 ni uporabljiva. Zaradi sorazmerno visokega odgora Cr in Nb ter delnega odgora Mn vsebuje zvar teh elementov premalo. Posledica tega je prenizka vsebnost ferita, pokanje varov in izredno močna interkristalna korozija. Žica premera 4 mm ne odgovarja, ker je treba variti s previsoko jakostjo toka in pride do močnega pregretja zvara in prehodnih con (preko kritične temperature).

Na osnovi teh ugotovitev smo pri ponovnih preiskavah uporabili žico $\varnothing 3$ mm ter z višjo vsebnostjo Mn, Cr in Nb. Preiskave smo opravili samo na I zvaru, ker bi zaenkrat prašek in žica te sestave prišla v poštev samo za to vrsto varjenja. Opravili smo tri preizkuse z naslednjim rezultatom:

Preizkus št. 1

Parametri varjenja:

1. var:	2. var:
350 A	420 A
35 V	38 V
40 cm/min.	34 cm/min.

b) Kemična analiza pločevine, žice in zvara:

	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Ti	Nb %
pločevina	0,07	0,39	1,30	17,90	10,70	0,16	0,50	0,02
žica	0,08	0,47	1,40	19,39	10	0,11	0	1,23
zvar	0,08	0,60	1,20	17,70	10,31	0,10	0,35	0,22

c) Mehanske lastnosti zvara:

meja raztezka	natezna trdnost	raztezek	kon-	žilavost
kp/mm ²	kp/mm ²	L = 5 d %	trakcija %	DVM + 20 ^o C kpm/cm ²
60,2	75,3	17	40	4,38
				4,13
				5,25
				3,25
				4,15

d) Upogibni kot — trn $2a = 2 \times 110^{\circ}$

e) Količina ferita v zvaru: 8 — 10 %

f) Interkristalna korozija: zelo dobra



Slika 3
Neobstojnost proti interkristalni koroziji

Preizkus št. 2

a) Parametri varjenja:

1. var:	2. var:
360 A	480 A
36 V	38 V
34 cm/min.	34 cm/min.

b) Kemična analiza:

	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Ti	Nb	%
pločevina:	0,13	0,36	1,35	17,80	10,50	0,11	0,53	0,02	
žica:	0,08	0,47	1,40	19,39	10,0	0,11	—	1,23	
zvar:	0,08	0,60	1,20	17,80	10,21	0,10	0,33	0,28	

c) Mehanske lastnosti zvara:

meja raztezka	natezna trdnost	raztezek L = 5 d	kontrakcija	žilavost DVM 20 ⁰
kp/mm ²	kp/mm ²	%	%	kp/cm ²
58,4	73,4	20	42	10,5
				10,0
				8,75
				8,13
				8,13
				9,4

d) Upogibni kot: $\text{trn } 2 a = 2 \times 110^{\circ}$

e) Količina ferita v zvaru: 7 %

f) Interkristalna korozija: zelo dobra

Preizkus št. 3

a) Parametri varjenja:

1. var:	2. var:
380 A	450 A
35 V	38 V
35 cm/min.	35 cm/min.

b) Kemična analiza:

	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Ti	Nb	%
pločevina:	0,10	0,64	1,11	17,66	9,68	0,23	0,69	—	
žica:	0,08	0,44	1,48	19,32	9,81	0,11	—	1,30	
zvar:	0,08	0,75	1,30	18,16	9,70	0,18	0,25	0,46	

c) Mehanske lastnosti zvara:

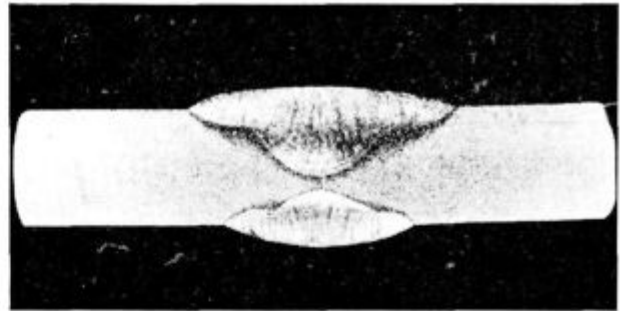
meja raztezka	natezna trdnost	raztezek l = 5 d	kontrakcija	žilavost DVM + 20 ⁰
kp/mm ²	kp/mm ²	%	%	kpm/cm ²
44,13	64	25,6	45	10,4
				10,6
				10,9
				10,5

d) Upogibni kot: $= 2 \times 180^{\circ}$

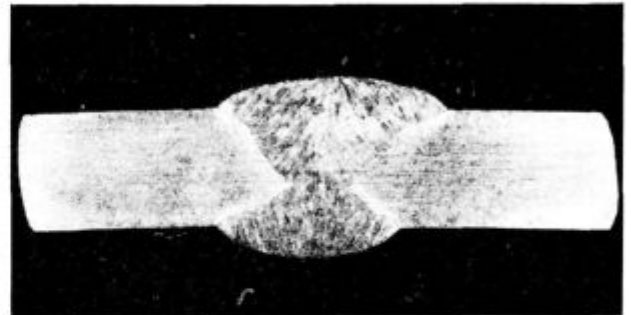
e) Količina ferita v zvaru: 9 %

f) Interkristalna korozija: zelo dobra

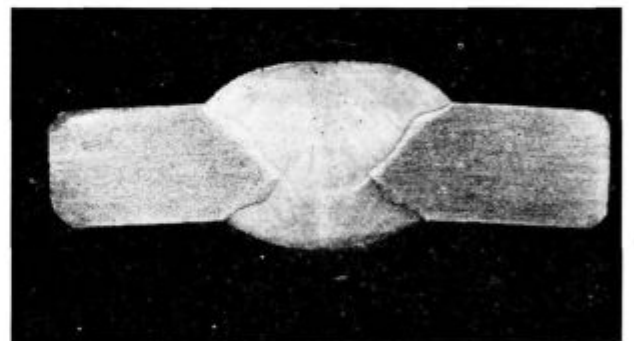
Od vseh treh preizkusov je dal najboljše rezultate preizkus št. 3. Pri prvem poizkusu varilni parametri niso bili pravilno izbrani. Iz makroobrusa



Slika 4
Makroobrus — preizkus št. 1

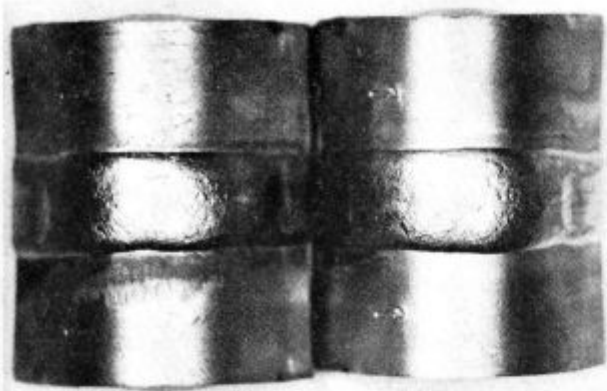


Slika 5
Makrostruktura — preizkus št. 2



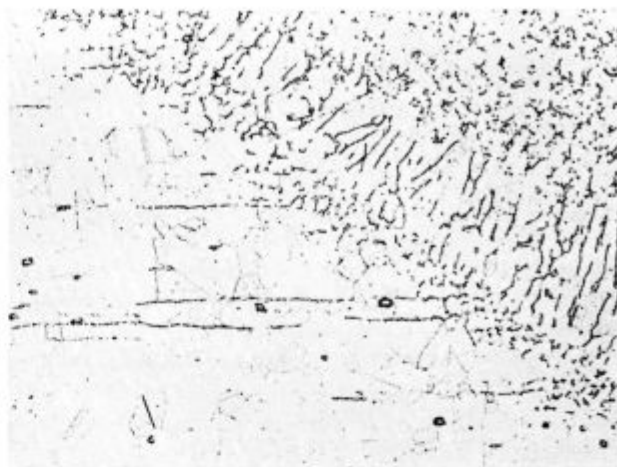
Slika 6
Makrostruktura — preizkus št. 3

(slika št. 4) se vidi da je bila varilna hitrost pri prvem šivu, ki je znašala 40 cm/min, prevelika za jakost toka 350 A in da je zgornja meja za to jakost toka 35 cm/min. Makroobrus preizkusov št. 2 in št. 3, ki sta bila dobro prevarjena prikazujeta sliki št. 5 in št. 6. Obstočnost proti interkristalni koroziji je bila v vseh treh primerih izredno dobra. Slika št. 7 prikazuje upogibni preizkus z ene in druge strani po kuhanju v korozijski raztopini. Vsi zvari so pri upogibu ostali celi. Na slikah št. 8, 9 in 10 pa je prikazana mikrostruktura pločevine, prehodne cone ter zvara preizkusa št. 3. Izmerili smo tudi trdoto po preseku zvara in je njen potek pravilen (sl. št. 11).



Slika 7

Preizkušavec na interkristalno korozijo
(upogib prve in druge strani)



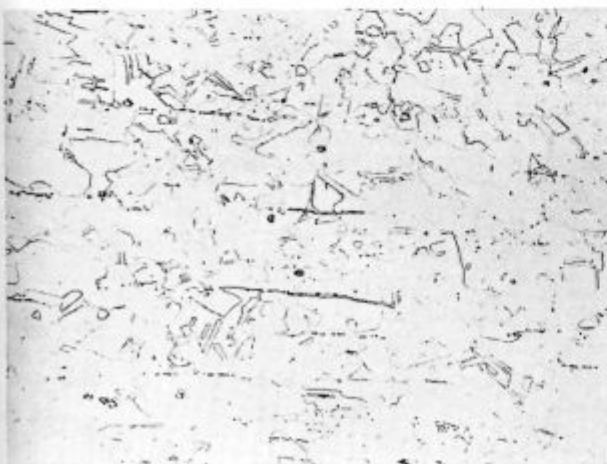
Slika 9

Mikrostruktura prehodne zone



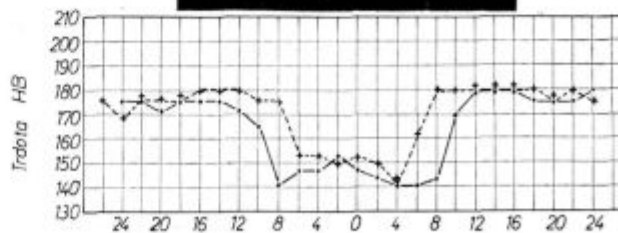
Slika 10

Mikrostruktura zvara



Slika 8

Mikrostruktura pločevine



Oddaljenost od sr. zvara v mm

Slika 11

Trdota po preseku zvara

ZAKLJUČEK

Poizkusi so pokazali, da prašek EP 45 lahko uporabimo za varjenje Cr-Ni jekla v kombinaciji z ustrežno legirano žico, in to za pločevino, ki jo zvarimo v obliki I — zvara. Pri tej obliki zvara odgor posameznih elementov ne pride do izraza zaradi velike udeležbe osnovnega materiala. Prašek pa ni uporaben za varjenje večjih dimenzij, kjer moramo uporabiti večvarkovno varjenje. V tem primeru pride do prevelikega odgora posameznih elementov. Za varjenje pločevine debeline 10 mm je najprimernejša žica \varnothing 3 mm ter po oceni globine uvarov na makroobrusih zvarnih spojev najprimernejša uporaba naslednjih varilnih parametrov:

	1. var	2. var
Jakost var. toka	350 A	420 A
Napetost var. toka	30 — 33 V	30 — 33 V
Varilna hitrost	35 cm/min.	35 cm/min.

Da bi zadostili tudi potrebam za varjenje pod praškom pločevin večjih debelin je v razvojnem delu varilni prašek, s katerim bi preprečili odgor posameznih legiranih elementov, tako da bi bil uporaben tudi za večvarkovno varjenje.

Literatura

1. Schatz W.: Die Unterpulver — Schweissung
2. Paton E. O.: Automatische Lichtbogenschweissung
3. Secherou: Fachblatt für den Schweisser — Januar — Februar 1962

ZUSAMMENFASSUNG

Im Artikel sind die Grundlagen der Schweissung austenitischer Cr-Ni Stähle so wie einige Probleme der Unterpulverschweissung dieser Stähle gegeben. Die ersten Versuche der Unterpulverschweissung austenitischer Cr-Ni Stähle wurden mit dem üblichen Schweisspulver, welches für das Schweißen der kohlenstoffhaltigen Baustähle gebraucht wird, durchgeführt. Doch haben sich diese Pulver für das Schweißen der austenitischen Cr-Ni Stähle nicht bewährt. Deshalb mussten neue Sorten der Schweisspulver entwickelt werden, welche diesen Schweissarten entsprechen würden. In der letzten Zeit wurde auch dieser

Problem erfolgreich gelöst, vor allem durch die Entwicklung entsprechend legierter Schweissdrähte und der agglomerierten Pulver. Es sind die Versuchsergebnisse mit dem Pulver EP 45 und entsprechenden Drähten wiedergegeben. Die Versuche der Verbindungsschweissungen wurden an Blechen bis zu 15 mm durchgeführt, an welchen noch die I-Naht angewendet werden kann.

Die Versuchsergebnisse zeigten auch dass für diese Schweissart das Schweisspulver EP 45 gebraucht werden kann.

SUMMARY

The paper gives the principles of welding of austenitic Cr-Ni steels and the problems arising at welding of these steels using welding powders. The first welding experiments with Cr-Ni steels were made using the powders for welding of carbon structural steels. But these powders failed at welding of Cr-Ni steels. The paper presents deficiencies which occurred at the use of these powders. Therefore new powder types had to be developed which would

be adequate for these welding series. In the recent time also this problem was successfully solved mainly by using adequate alloyed wires and by use of agglomerated powders. The paper gives the experimental results which were made with powder EP 45 and adequate wires. The experiments refer only to welding of plates, not thicker than 15 mm, where I-weld can still be used. The results showed that powder EP 45 can be used for this type of welding.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Излагаются основы сварки аустенитных сталей и проблем сварки этих сталей под порошком. Первые опыты сварки аустенитных Cr-Ni сталей были выполнены с порошками которые употребляются для сварки углеродистой конструкционной стали. Оказалось что эти порошки непригодны для сварки этого сорта стали. В статье указано на недостатки которые обнаружались при употреблении этих сталей. Поэтому надо было разработать новые

сорта порошков которые бы удовлетворяли полностью сварке этого вида. Недавно этот проблем успешно закончен применением соответственно легированной проволоки и употреблении агломерированных порошков. В статье описаны результаты опытов с порошком EP 45 и с соответствующими проволоками. Опыты относятся на сварку листов до 15 мм толщины при которых ещё возможна I-сварка. Результаты опытов показали, что способ сварки под порошком EP 45 для Cr-Ni сталей применим.