

Elektroda PK 13/6 Novi dodajni material za varjenje feritno martenzitnih jekel

13 % Cr jekla so visokotrдна korozijsko obstojna jekla, ki se zaradi svojih dobrih lastnosti, kot so visoka trdnost, visoka trdota, velika odpornost proti obrabi, koroziji, eroziji in kavitaciji, uporabljajo predvsem za gradnjo vodnoenergetskih naprav ter ostalih naprav, ki pridejo v dotik z rečno, jezersko in morsko vodo, n. pr. vodne turbine, črpalke, ladijski vijaki itd.

Pri varjenju teh jekel pa so nastopale določene težave. Z ozirom na to, da ta jekla zakalijo že na zraku, je bilo potrebno sorazmerno visoko predgrevanje (300—400° C), da bi preprečili nastanek kalilnih razpok. To pa je bilo v mnogih primerih zelo težko izvedljivo. Dobljeni zvari so imeli zelo slabo žilavost. Za korozijsko obstojne materiale pa je za dobro obstojnost proti eroziji in kavitaciji poleg visoke trdnosti in trdote zaželjena tudi dobra žilavost. Torej, če hočemo pri 13 % Cr jeklih doseči poleg dobrih korozijskih lastnosti še veliko odpornost proti eroziji in kavitaciji, morajo ta jekla imeti čim višjo trdoto ob istočasni dobri žilavosti. Pri dosedanjih 13 % Cr dodatnih materialih, je bilo višjo trdoto mogoče doseči z večjo vsebnostjo ogljika. Žilavost v varjenem stanju pa je bila pri tem zelo nizka. Boljšo žilavost smo dosegli z nadaljnjo toplotno obdelavo, vendar pa se je trdota zelo znižala. Vzrok nizke žilavosti in slabe varivosti je v tem, da struktura zvara sestoji iz krhkega grobozrnatega martenzita ter velike vsebnosti (ca. 40 %) prav tako krhkega ferita. Zato je bil pri nadaljnjih raziskavah naš cilj doseči pri 13 % Cr jeklih, namenjenih za gradnjo vodno energetskih naprav, čim boljšo žilavost ob čim višji trdoti. Potrebno je bilo čim bolj znižati vsebnost ferita ter dobiti čim čistejšo martenzitno strukturo. To je bilo doseženo z znižanjem ogljika na ca. 0.04—0.05 % ter z dodatkom niklja 4—6 %. S tem se je zelo znižala vsebnost ferita, krhek martenzit pa se je pretvoril v nizko ogljični žilavi drobnozrnati nikelj martenzit, ki ima tudi boljšo varivost. Rezultat so dodajni materiali, s katerimi dobimo pri zelo visoki trdnosti (120 kp/mm²) in trdoti (350—400 HB) sorazmerno zelo dobro žilavost (6—7 kpm) in s katerimi lahko tudi večje preseke jekel varimo z minimalnim predgrevanjem ali brez njega. V pričujočem članku so prikazani rezultati preiskav čistih varov elektrod PK 13 z vsebnostjo 13 % Cr ter PK 13/6 z vsebnostjo 13 % Cr in 4—6 % Ni.

UVOD

Uporaba materialov za gradnjo vodnoenergetskih naprav, je imela različno razvojno pot. Če pogledamo samo razvoj Peltonovih in Francisovih turbin v zadnjih 20 letih, potem vidimo, da so se te izdelovale od nelegiranih ogljikovih jekel preko nizko mangan nikelj legiranih jekel do visoko legiranih jekel. Pregled uporabe posameznih kvalitiet jekel pri gradnji Peltonovih turbin v letu 1940—60, je podan v tabeli št. 1. Podoben razvoj je bil tudi pri gradnji Francisovih turbin.

Iz tabele je razvidno, da je za te namene vedno bolj naraščala uporaba 13 % Cr jekel. Poleg omejenih jekel so se za gradnjo turbin delno uporabljala tudi 18/8 % Cr Ni jekla in Al bronza. Kemijsko sestavo in mehanske lastnosti uporab-

Tabela št. 1 — Pregled uporabe posameznih kvalitiet jekel pri gradnji Peltonovih turbin v letih 1940—1960

Leto	C jeklo	Nizko legirana 1.5 % Mn — 2 % Ni jekla	Visoko legirana 13 % Cr jekla
1940—45	62 %	34 %	4 %
1946—50	46 %	17 %	37 %
1951—55	16 %	30 %	54 %
1956—60	14 %	25 %	61 %

Tabela št. 2 — Primerjava kem. sestave jekel in litine, ki so se uporabljala pri gradnji vodnih turbin

	C	Si	Mn	Cr	Ni
C jekla	0,21	0,30	0,70	0,20	0,40 %
1.5 % Mn-jekla	0,24	0,30	1,60	0,20	0,40
2 % Ni-jekla	0,24	0,30	0,70	0,20	2,0
18/8 CrNi-jekla	0,07	1,0	0,50	18,0	9,0
13 % Cr-jekla	0,10	0,40	0,50	12,5	0,9
Al bronza	Al=10, Fe=8, Mn=5, Ni=2, Cu=ostalo				

Tabela št. 3 — Primerjava mehanskih lastnosti jekel in litin, ki so se uporabljale pri gradnji vodnih turbin

	σ_v kp/cm ²	σ_m kp/mm ²	L = 5d %	Žilavost DVM 20 ^o kp/mm ²	HB kp/mm ²
C jekla	23	45—55	22	6	125—165
1.5 % Mn-jekla	34	53—60	22	6	140—180
2 % Ni-jekla	35	55—65	18	6	155—195
18/8 % CrNi-jeklo	15	40—50	30	18	130—170
13 % Cr-jeklo	45	65—75	15	4	190—230
Al bronza	30	60—70	7	2	190—220

ljenih jekel prikazujeta tabeli št. 2 in št. 3. 13 % Cr jekla so se hitro uveljavila zaradi visoke trdote, ki jo imajo ta jekla proti ostalim jeklom, ter dobre korozijske obstojnosti. Današnji hitri industrijski razvoj pa postavlja glede kvalitete materialov vedno večje in nove zahteve. Predvsem zahteva vedno višjo trdnost, višjo mejo raztezanja ter boljše žilavost pri nizkih in visokih temperaturah. Pri gradbenih materialih, ki se še posebno uporabljajo v kemijski industriji, gradnji turbin ter gradnji ostalih vodnoenergetskih in termoenergetskih naprav pa se zahteva tudi vedno večja odpornost proti obrabi, koroziji, eroziji in kavitaciji. Realizacija teh zahtev je v mnogih primerih povezana z razvojem novih materialov. Vzporedno s tem je aktualno tudi vprašanje novih vrst dodajnih materialov za varjenje, s katerimi dobimo tem materialom enakovredne lastnosti. Članek ima namen prikazati lastnosti in uporabo novih dodajnih materialov na področju varjenja 13 % feritno martenzitnih Cr jekel ter prednosti, ki so bile z njimi dosežene.

2. Lastnosti 13 % Cr jekel

13 % Cr jekla so visokotrdna korozijsko obstojna jekla, ki pri segrevanju preko 950^o C zakalijo že na zraku. To pomeni, da se tudi pri počasnem ohlajanju na zraku tvori martenzit. Potrebne dobre mehanske lastnosti nastanejo šele s poplavljanjem, to je z napuščanjem na temp. 650^o C. Razlikujemo martenzitna jekla z minimalno 0.15 % C, ki so popolnoma kaljiva, in feritno martenzitna jekla z manj kot 0.15 % C, ki so delno kaljiva. Zaradi dobrih mehanskih lastnosti: visoka trdnost, velika odpornost proti eroziji, koroziji in kavitaciji je bilo v zadnjih 10—15 letih osnovno področje uporabe 13 % Cr jekel predvsem pri gradnji vodnih turbin in naprav, ki so prišla v dotik z jezersko, rečno in morskovo vodo. Visoka meja raztezanja, visoka trdnost in trdota teh jekel omogočajo, da ta jekla zadoste zahtevam glede visokih pritiskov, ki nastopajo pri teh napravah. Poleg samih tekalnih koles in lopatic

Peltonovih in Francisovih turbin, se iz tega jekla izdelujejo tudi vodilne lopatice, tesnila, šobe in ohišja tekalnih koles. Pomanjkljivosti so se pokazale pri varjenju, kjer je bilo potrebno posebej ukrepati, tako glede osnovnega materiala kot elektrod. Pri varjenju teh jekel z istovrstnimi elektrodami zakalita prehodna cona kakor tudi zvar ter obstaja nevarnost nastanka kalilnih razpok. Martenzitna struktura, visoka vsebnost krhkega ferita, visoka trdnost ter močna utrditev, so vzrok nastanka teh razpok. Za preprečitev teh razpok je bilo mogoče uspešno variti samo z zelo visokim predgrevanjem (300—400^o C). Dobljeni zvar ima zaradi krhkega grobozrnatega martenzita in velike vsebnosti krhkega ferita (ca. 40 %) zelo krhek lom in slabo žilavost. Za dosego boljše žilavosti je bilo potrebno zvar naknadno toplotno obdelati. Pri tem pa se je občutno znižala trdota. Zato smo v primerih, ko se ni zahtevalo, da mora imeti zvar enako sestavo kot jeklo, načeloma varili ta jekla z avstenitnimi in avstenitnoferitnimi elektrodami: PK 18/8 CrNi, PK 18/8/6 CrNiMn, PK 25/20 CrNi, PK 29/9 CrNi. Zaradi večje žilavosti čistega vara pri teh elektrodah je nevarnost razpok v prehodni coni zelo zmanjšana. Avstenitni čisti var ima to lastnost, da zaradi velike preoblikovalne sposobnosti zelo zniža napetosti, ki nastanejo pri varjenju. Sam zvar pa ima v tem primeru sorazmerno nižjo trdoto. Zato se te elektrode uporabljajo samo za manjša popravila. Povsod tam pa, kjer se zahteva, da ima zvar enako sestavo kot jeklo, to je n. pr. ko pri obratovanju nastopi veliko nihanje v temperaturi, ko mora imeti tudi zvar visoko trdoto, ali če se morajo zavarjeni deli tudi poboljšati, pa je potrebno variti z dodajnim materialom iste sestave.

Tabela št. 4 — Vpliv ogljika na lastnosti čistega vara

PK 13				
V varjenem stanju			Odžarjeno 730 ^o / 5 ur	
vsebnost %C %	kp/mm ² HB	žil. DVM (20 ^o) kpm/cm ²	kp/mm ² HB	žil. DVM (20 ^o) kpm/cm ²
0,05	275	3,0	175	7,0
0,10	350	1,8	200	5
0,15	400	1,5	210	4
0,20	450	1	220	3,5
0,25	480	1	230	3
0,30	500	0,75	240	2,20
0,35	520	0,75	250	2
0,40	540	0,75	260	1,8
0,45	550	0,75	270	1,75
0,50	560	0,75	280	1,70
0,55	565	0,75	285	1,70
0,60	570	0,75	290	1,70

V tem primeru pa je pri ohlajanju nevarnost razpok v zvaru enaka kot v prehodni coni. Zato je potrebno izvesti predpisano predgrevanje in napetostno odžarjenje.

2. Razvoj novih dodatnih materialov za varjenje 13 % Cr jekel

Za korozijsko odporne dodatne materiale za varjenje 13 % Cr jekel, ki se uporabljajo za vodnoenergetske namene pa je visoka trdota ob istočasni dobri žilavosti zelo zaželena, če hočemo dobiti čim boljše lastnosti glede erozije in kavitacije. Pri klasičnih 13 % Cr jeklih je bilo to mogoče doseči z večjo vsebnostjo ogljika in odgovarjajočo toplotno obdelavo. Tabela št. 4 prikazuje vpliv C na lastnosti čistega vara z vsebnostjo 13 % Cr. Trdoto navara 350—400 HB dobimo pri vsebnosti ogljika 0.10—0.15 %, trdoto 400—450 HB pa pri

vsebnosti ogljika 0.14—0.20 %. Žilavost je pri tem zelo nizka in znaša 1—1.8 kpm/cm². S toplotno obdelavo sicer žilavost povečamo, vendar pa se pri tem trdota občutno zniža. Zanesljivo varjenje s temi dodatnimi materiali pa lahko izvršimo, kot je bilo že omenjeno, samo z zahtevnim predgrevanjem. To pa je v mnogih primerih zelo težko izvesti, posebno še pri varjenju že vgrajenih delov. Vzrok slabe varivosti in žilavosti čistega vara je v tem, ker struktura zvara sestoji iz grobega martenzita ter velike vsebnosti ferita. Zato smo želeli pri nadaljnjih raziskavah doseči pri varjenju 13 % Cr jeklih, namenjenih za gradnjo vodnoenergetskih naprav, čim boljše žilavost ob istočasni čim višji trdoti. V ta namen je bilo potrebno čim bolj znižati vsebnost ferita ter dobiti čim bolj čisto martenzitno strukturo. To je bilo doseženo z znižanjem ogljika na 0.04—0.05 % ter dodatkom

Tabela št. 5 — Lastnosti čistega vara PK 13

Kem. sestava čist. vara				Lastnosti čistega vara v varjenem stanju				Lastnosti čistega vara odžarjeno 620°/2 uri		
C	Si	Mn	Cr	σ_v kp/mm ²	σ_m kp/mm ²	L = 5d %	ψ %	HB kp/mm ²	žil. DVM (20°) kpm/cm ²	HB kpm/cm ²
0,06	0,40	0,50	13,10	62,0	86,0	4,0	6,0	260	2,5	221
0,06	0,20	0,48	12,12	60,0	82,0	3,0	7,0	239	2,5	180
0,07	0,43	0,64	15,06	58,0	75,0	5,0	8,0	213	2,0	160
0,09	0,30	0,66	13,64	65,0	95,0	2,0	4,0	283	2,0	200
0,09	0,30	0,51	12,30	72,0	100	3	6	300	1,8	250
0,09	0,33	0,58	12,62	78,0	105,0	4,0	7,0	291	1,75	205
0,12	0,28	0,58	12,70	78,0	115	2,0	2,0	350	1,75	270
0,12	0,36	0,48	13,20	75,0	110	2,0	2,0	332	1,75	235
0,16	0,34	0,49	14,88	80	120	2	2	398	1,75	280

Tabela št. 6 — Lastnosti čistega vara PK 13/6

Kemijska sestava č. vara						Lastnosti čistega vara v varjenem stanju				Lastnosti čistega vara odžarjeno 620°/2 uri							
C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	σ_v kp/mm ²	σ_m kp/mm ²	L = 5d %	ψ %	HB kp/mm ²	žil. DVM 20° kpm/mm ²	σ_v kp/mm ²	σ_m kp/mm ²	L = 5d %	ψ %	HB kp/mm ²	žil. DVM 20° kpm/mm ²
0,04	0,49	0,58	12,55	4,10	0,50	110	118	12	40	400	6,5	88	97	17	55,0	285	7,6
0,04	0,50	0,52	13,10	6,0	0,48	112	122	9	25	420	6,5	77	88	21	59	270	6,7
0,05	0,57	0,60	12,80	4,55	0,52	112	119	12	42	370	6,5	83,3	92,3	14	53	270	7
0,06	0,51	0,60	12,60	5,22	0,27	115	124,9	8	14,5	350	7	84,5	96,4	14	52	278	7,2
0,05	0,23	0,50	12,85	5,30	0,33	110	122	8	18	380	5,5	79,5	90,3	16	55	285	6,8
0,06	0,29	0,54	13,10	5,62	0,38	112,5	125,0	8	15	397	6,2	82,5	95,8	14,5	52,5	320	7
0,06	0,42	0,45	13,15	5,25	0,45	111	122,5	10	15	380	6,2	78,5	94,7	16,8	56,5	283	6,8

niklja 4—6 %. S tem se je zelo znižala vsebnost ferita ter izvršila pretvorba krhkega martenzita v nizko ogljični žilavi drobnozrnati nikelj martenzit, ki ima tudi boljšo varivost. Rezultat so dodajni materiali, s katerimi dobimo čisti var z izredno visoko trdoto ter sorazmerno dobro žilavostjo in s katerimi lahko tudi večje preseke jekel varimo z minimalnim predgrevanjem ali celo brez njega.

Enako so se tudi na področju uporabe 13 % Cr jekel za vodno energetske namene in naprave, ki delujejo pod visokimi obremenitvami, pričele vse bolj uporabljati jekla in jeklo litine, legirane s 4 % niklja, katera imajo proti klasičnim 13 % Cr jeklom mnogo boljše varilne in mehanske lastnosti. Iz tega jekla je že leta 1968 vlila tvrdka J. M. voith GmbH Heidenhemu prvo tekalno kolo Peltonove turbine. Iz enakega jekla so izdelali tudi tekalna kolesa nekaterih zelo visoko obremenjenih črpalk. Jeklena litina je imela naslednje mehanske lastnosti: mejo raztezanja 60 kp/mm², trdnost 80 do 94 kp/mm² in žilavost (DVM 20⁰ C) in minimalno 4 kp/cm².

3. Preiskave in primerjava rezultatov čistih varov elektrod PK 13 in PK 13/6

Z ozirom na to, da se bodo v bodoče pri gradnji vodnoenergetskih naprav vedno bolj uporabljala 13 % Cr jekla in jeklene litine, legirane z niklom, je bila v naš program uvedena nova elektroda

PK 13/6. Preiskave in medsebojne primerjave lastnosti čistega vara obeh elektrod so podane na tabelah št. 5 — št. 9. Strukturno sestavo v varjenem in odžarjenem stanju pa na slikah št. 1—11. Tabeli št. 5 in št. 6 prikazujeta lastnosti čistega vara PK 13 in PK 13/6. Iz tabel je razvidno, da dobimo pri PK 13/6 s sorazmerno nizko vsebnostjo ogljika v varjenem stanju izredno visoko trdnost (120 kp/mm²) in mejo raztezanja (112 kp/mm²) ter temu primerno zelo visoko trdoto, ki znaša 350—400 HB. Kljub tako visoki trdnosti in trdoti pa dobimo še vedno dobro žilavost 5—7 kpm/cm². Za enako visoko trdnost in trdoto mora čisti var PK 13 vsebovati 0.12—0.16 % C. Pri tem pa dobimo zelo nizko žilavost ter tudi nekoliko nižjo mejo raztezanja. Boljša žilavost PK 13/6 je opazna tudi pri pregledu trgalnih preizkusov čistega vara. Medtem ko je prelom pri PK 13/6 žametastega žilavega videza s sorazmerno veliko kontrakcijo, je ta pri PK 13 zelo krhek, grobozrnat, brez vidne kontrakcije. Za ocenitev vpliva dodatka Ni na poboljšanje mehanskih lastnosti PK 13, smo izdelali čiste vare, podobne sestave z ozirom na C, Si, Mn in Cr brez Ni in z dodatkom Ni. Rezultati preiskav so podani na tabelah št. 7 in št. 8, strukturna sestava pa na slikah št. 1 in št. 2. Iz rezultatov je razvidno, da dobimo pri PK 13/6 podobne sestave trdoto v varjenem stanju in pri različnih časovnih toplotnih obdelavah za ca. 100 HB višjo kot pri PK 13.

Tabela št. 7 — Lastnosti čistega vara PK 13 in PK 13/6 z isto vsebnostjo Cr

PK 13				PK 13/6					
Kem. sestava:				Kem. sestava:					
C	Si	Mn	Cr	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo
0,06	0,40	0,50	13,10	0,06	0,42	0,55	13,10	5,62	0,38
v varjenem stanju	odžarjeno 600 ⁰ /2 uri	odžarjeno 600 ⁰ /6 ur		v varjenem stanju	odžarjeno 600 ⁰ /2 uri	odžarjeno 600 ⁰ /6 ur			
304	205	205		365	296	288			
274	217	209		407	323	296			
213	205	209		425	332	304			
255	217	213		378	313	313			
281	227	209		392	313	296			
249	238	232		365	304	304			
232	213	227		425	332	313			
249	227	213		425	332	304			
288	238	227		392	332	304			
260	221	216		397	320	302			
Slike struktur				Slike struktur					
št. 3	št. 4	št. 5		št. 6, 7	št. 8, 9	št. 10, 11			

Tabela št. 8 — Sestava strukture in trdota posameznih faz

PK 13 (slika št. 1)	vsebnost ferita 40 %—50 % trdota feritne faze: 168—175 HB trdota martenzitne faze: 303—310 HB
PK 13/6: (slika št. 2)	vsebnost ferita: ∅ trdota martenzita: 370—430 HB

Način meritve trdote, ki je podoben na tabeli št. 7, prikazuje slika št. 12. Tabela št. 9 prikazuje rezultate mehanskih lastnosti PK 13/6, dobljene od prvih industrijsko izdelanih elektrod.

Za primerjavo so bili s PK 13 in PK 13/6 izdelani tudi zvari na ustreznih kvalitetah jekel. Pregled rezultatov je podan v tabeli št. 10, iz katere je razvidno, da dobimo pri PK 13/6 bolj ugodne rezultate in to z minimalnim pregrevanjem.

Tabela št. 9: Žilavost in trdota čistega vara PK 13/6 (∅ 4 in ∅ 5 mm)

Kemijska sestava čistega vara PK 13/6

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	
0,06	0,39	0,59	13,90	5,62	0,38	elektroda ∅ 4 mm
0,06	0,33	0,49	12,85	5,30	0,35	elektroda ∅ 5 mm

elektroda ∅ 4 mm elektroda ∅ 4 mm

elektroda ∅ 5 mm

odžarjeno 650°/2 uri

odžarjeno 600°/6 ur

odžarjeno 600° C/6 ur

žilavost (kpm/cm²)žilavost (kpm/cm²)žilavost (kpm/cm²)

DVM		DVM		V-Notch		trdota HB	DVM		V-Notch		trdota HB
20° C	0°	20°	0°	20°	0°		20°	0°	20°	0°	
8,0	6	5,8	5,6	5,4	5,0	274	5,8	6	5,0	4,6	261
7,8	5,5	5,8	5,8	5,4	5,1	281	6,2	6,2	5,1	4,9	296
6,8	6,2	6,2	6,0	6,0	5,4	304	6,4	6,2	5,4	5,1	296
7,2	6	6,2	6	6	5,5	296	6,4	6	5,9	5	304
7,6		6,2	5,5	6	5,5	281	6,4	5,5	6,5	4,5	304
6,8	6	6,4	5,0	6,5	5	296	6,4	6	6,9	5	296
						288					304
7	5,95	6,10	5,65	5,88	5,25	288,7	6,2	6,0	5,8	4,85	294,5

Povprečna trdota v varjenem stanju znaša pri PK 13 — 260 HB, pri PK 13/6 pa 397 HB. Če primerjamo žilavost sestav iz tabel št. 5 in št. 6, potem vidimo, da ima PK 13 s trdoto 260 HB žilavost 2 kpm/cm² a PK 13/6 s trdoto 397 HB 6,2 kpm/cm². Vzrok temu je razviden iz slik št. 1 in št. 2. Medtem ko vsebuje struktura PK 13 (brez Ni) ca. 40—50 % krhkega ferita (slika št. 1), sestoji struktura PK 13/6 iz nizkoogljicega drobnega nikel martenzita, brez ferita (slika št. 2). Meritev trdote posameznih strukturnih faz je dala naslednje rezultate (tabela št. 8). Pri PK 13 z vsebnostjo 40—50 % ferita ima feritna faza trdoto 168 do 175 HB, martenzitna pa 300—310 HB. Pri PK 13/6 brez ferita pa je bila trdota 370—430 HB. Na sliki št. 3—11 so prikazane strukture PK 13 in PK 13/6 pri posameznih toplotnih obdelavah po tabeli št. 7.

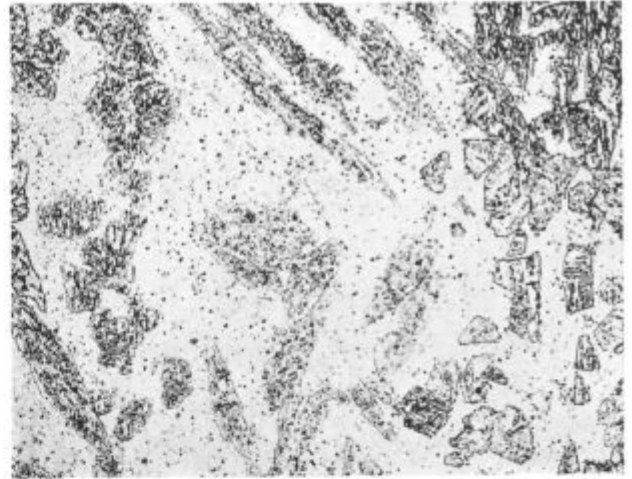
4. ZAKLJUČEK

Za dosego visoke trdnosti 120 kp/mm² in trdote 350—400 HB v varjenem stanju mora čisti var PK 13 vsebovati 0.10—0.15 % C. Pri teh pogojih pa dobimo zelo nizko žilavost 1—1.8 kpm/cm². Nasprotno pa ima čisti var PK 13/6 z vsebnostjo ogljika ca. 0.05 % ter 4—6 % niklja ob enaki trdnosti in trdoti žilavost 6—7 kpm/cm². Rezultat tega je mnogo večja odpornost proti eroziji in kavitaciji. Poleg tega dobimo tudi zware z minimalnim predgrevanjem ali brez njega brez razpok.

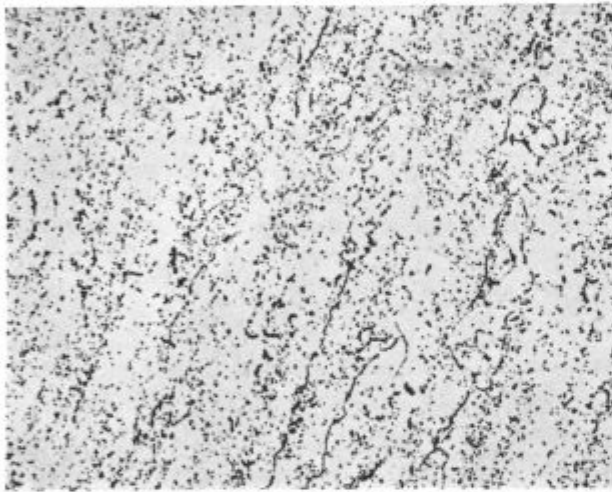
Če primerjamo varilne tehnološke lastnosti, potem pridemo do zaključka, ki je podan v tabeli št. 11. S poizkusi je bilo tudi ugotovljeno, da ima PK 13/6 neprimerno boljše odpornost proti morski



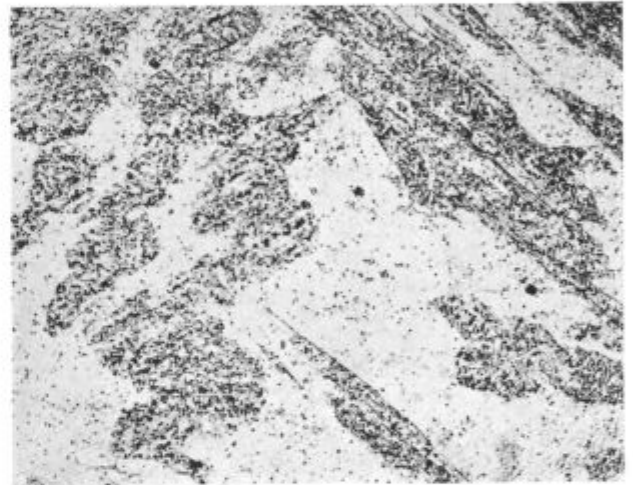
Slika 1
Struktura čistega vara PK 13 v varjenem stanju z vsebnostjo 13% Cr



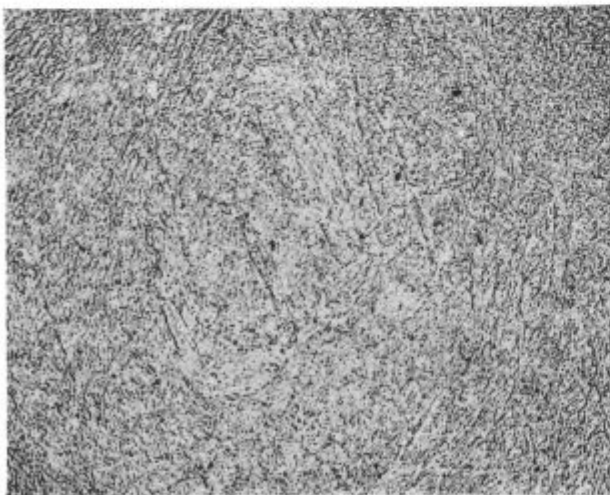
Slika 4
Struktura čistega vara PK 13 — sestave po tabeli št. 7 — odžarjeno 600°/2 uri — povečava 200 ×



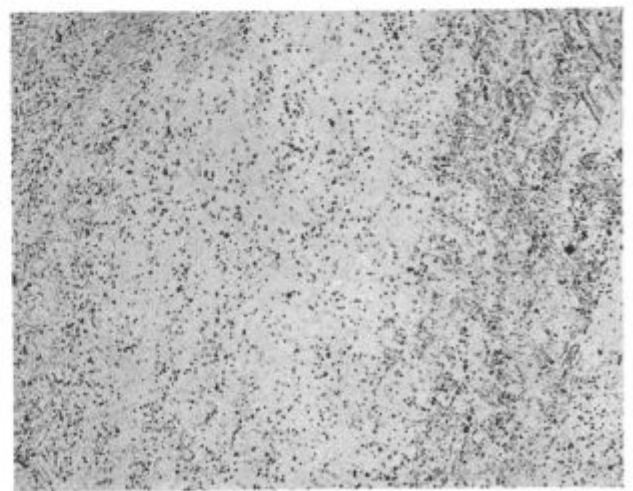
Slika 2
Struktura čistega vara PK 13/6 v varjenem stanju z vsebnostjo 13% Cr in 5,5% Ni



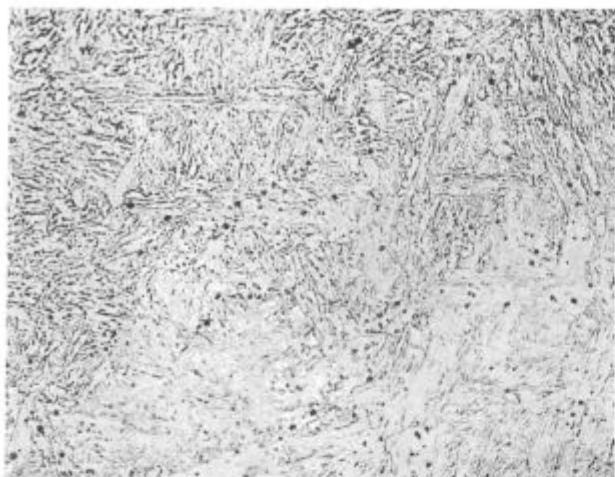
Slika 5
Struktura čistega vara PK 13 sestave po tabeli št. 7 — odžarjeno 600°/6 ur — povečava 200 ×



Slika 3
Struktura čistega vara PK 13 sestave po tabeli št. 7 — varjeno stanje — povečava 200 ×

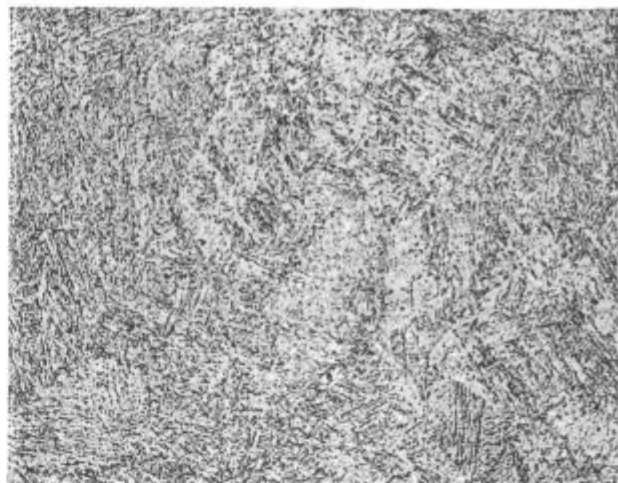


Slika 6
Struktura čistega vara PK 13/6 sestave po tabeli št. 7 varjeno stanje — povečava 200 ×



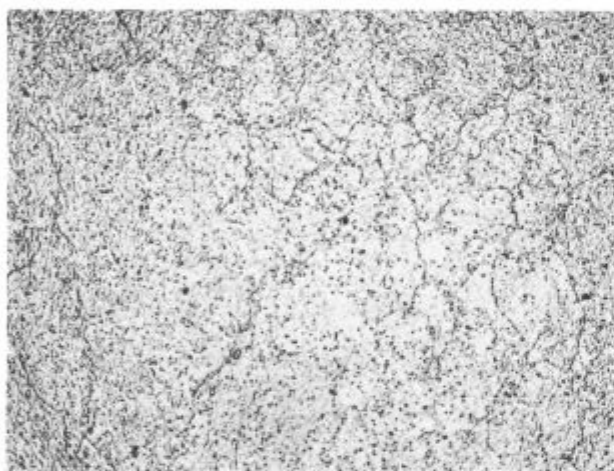
Slika 7

Struktura čistega vara PK 13/6 sestave po tabeli št. 7 —
varjeno stanje — povečava 500 ×



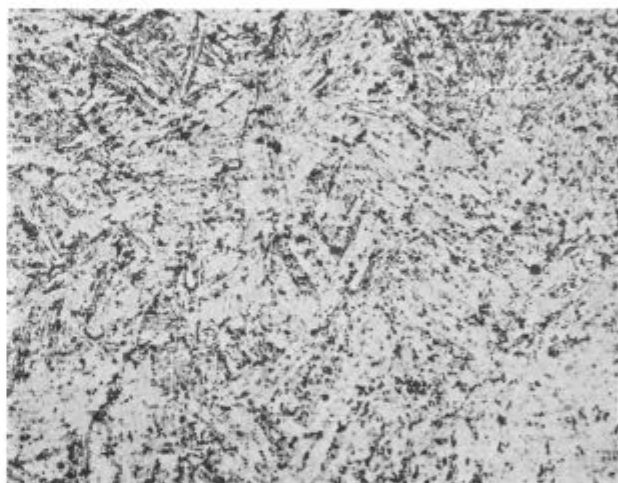
Slika 10

Struktura čistega vara PK 13/6 sestave po tabeli št. 7 —
odžarjeno 600° 6 ur — povečava 200 ×



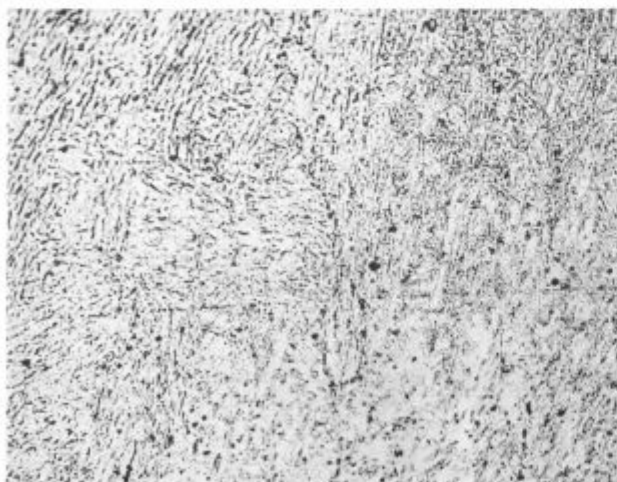
Slika 8

Struktura čistega vara PK 13/6 sestave po tabeli št. 7 —
odžarjeno 600° 2 uri — povečava 200 ×



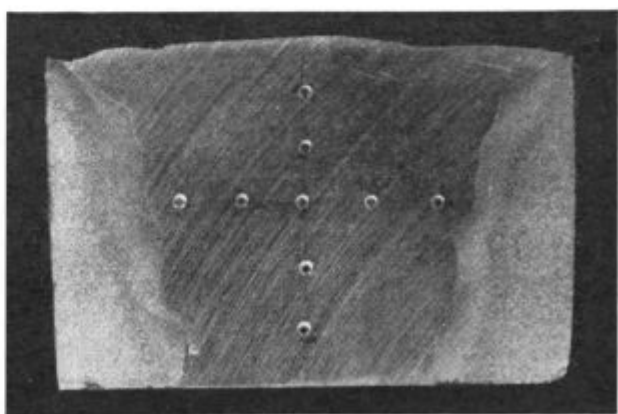
Slika 11

Struktura čistega vara PK 13/6 — sestave po tabeli št. 7 —
odžarjeno 600° 6 ur — povečava 500 ×



Slika 9

Struktura čistega vara PK 13/6 — sestave po tabeli št. 7
odžarjeno 600° 2 uri — povečava 500 ×



Slika 12

Način meritve trdote podanih v tabeli št. 7

Tabela št. 10 — Lastnosti zvarov s PK 13 in PK 13/6

Elektroda	PK 13					PK 13/6						
Jeklo	poboljšano: 1050 ⁰ /4 ure-zrak 680 ⁰ /12 ur-zrak					Odžarjeno: 620 ⁰ /2 uri						
	C	Si	Mn	Cr	Ni	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	
sestava jekla:	0,10	0,40	0,55	12,90	0,75	0,07	0,25	0,51	13,52	4,55	—	
sestava č. vara elektrode	0,06	0,45	0,60	13,10	—	0,06	0,40	0,52	13,15	5,20	0,38	
debelina zvara	20 mm					20 mm						
oblika zvara	X — zvar					X — zvar						
predgrevanje	400 ⁰ C					80 ⁰ C						
Rezultati spoj.	σ_v kp/mm ²	σ_m kp/mm ²	L = 5d %	ψ %	žil. DVM kp/mm ²	HB kp/mm ²	σ_v kp/mm ²	σ_m kp/mm ²	L = 5d %	ψ %	žil. DVM kp/mm ²	HB kp/mm ²
1. v varjenem stanju	75,0	105	4,0	7	2	330—380	110	121	8	15	4	370—390
2. odžarjeno	52	75	14	51	4	190—220	68,5	95,1	14	55	5,5	280—290
prelom	krhek					žilav						
Risco-test	opazne razpoke					brez sledov razpok						

Tabela št. 11: Predgrevanje, trdota in žilavost pri varjenju z PK 13 in PK 13/6

Tip elektrode	Potrebno predgrev.	Stanje	HB kp/mm ²	Žilavost DVM 20 ⁰ kpm/cm ²
PK 13	200—400 ⁰ C	v varj.	320—380	1—1,5
PK 13/6	20—150 ⁰ C	v varj.	350—400	6—7

vodi, ki je zelo blizu PK 18/8 in zelo dobro žilavost tudi pri nižji temperaturi.

Področje uporabe PK 13/6 so vodne turbine, ladijski vijaki, razne strojne in vodno energetske naprave, prehrabena, mlečna in sladkorna industrija, transportne naprave za kemijske proizvode.

Literatura

1. D. Seferijan: Metalurgija zavarivanja
2. Secheron: Fachblatt für den Schweißer st. 1/1961
3. Inco-Nickel: Eine technische Umschau št. 23/1968
4. Erick Folkard: Neuentwickelte Zusatzwerkstoffe für das Schweißen von legierten Stählen
Schweisstechnik (Wien) st. 9/1970

ZUSAMMENFASSUNG

Stähle mit einem Chromgehalt von 13 % sind hochfeste korrosionsbeständige Stähle, welche wegen der ausgezeichneten Eigenschaften, wie hohe Festigkeit, hohe Härte, hohe Abriebfestigkeit, Korrosions-, Erosions- und Kavitationsfestigkeit vor allem im Bau der Hydroenergetischen und Thermoenergetischen Anlagen und anderen Anlagen welche mit Flusswasser, Seewasser und Meerwasser in Berührung kommen, angewendet werden, zum Beispiel Wasserturbinen, Pumpen, Schiffsschrauben u. s. w. Das Schweißen solcher Stähle war aber mit grossen Schwierigkeiten verbunden. Da diese Stähle lufthärtbar sind, war es nötig um die Härterisse zu vermeiden eine ziemlich hohe Vorwärmung (300—400⁰ C) vorzunehmen, was aber in manchen Fällen sehr schwer auszuführen war.

Die erhaltenen Schweißverbindungen hatten eine sehr schlechte Kerbschlagzähigkeit. Bei den korrosionsbeständigen Stählen ist um eine gute Erosions- und Kavitationsbeständigkeit zu gewährleisten, neben einer hohen Festigkeit und Härte, auch eine hohe Kerbschlagzähigkeit erwünscht. Wenn wir demnächst beim 13 % Cr Stahl, neben einer guten Korrosionsbeständigkeit noch eine hohe Erosions- und Kavitationsbeständigkeit erreichen möchten, müssen diese eine möglichst hohe Härte bei zugleich hoher Kerbschlagzähigkeit aufweisen. Bei den zu der Zeit erzeugten 13 % Cr Zusatzwerkstoffen war es üblich eine hohe Härte durch einen höheren Kohlenstoffgehalt zu erreichen. Nachteilig dabei war eine schlechte Kerbschlagzähigkeit im Schweißgut. Eine bessere Kerbschlagzähigkeit war

mit einer weiteren Wärmebehandlung zu erreichen, jedoch bei einem stärkeren Härteabfall.

Die Ursache für eine niedrige Kerbschlagzähigkeit und schlechte Schweißbarkeit liegt an der Zusammensetzung des Schweißgefüges, das aus sprödem grobkörnigen Martensit und ebenso sprödem Ferrit (etwa 40 %) besteht.

Die neueren Untersuchungen hatten für das Ziel bei den 13 % Cr Stählen welche im Bau der Wasserkraftanlagen gebraucht werden eine möglichst gute Kerbschlagzähigkeit bei einer hohen Härte zu erreichen. Dazu war nötig den Ferritgehalt so viel wie möglich zu erniedrigen und ein möglichst reines martensitisches Gefüge zu erreichen. Das war mit einem niedrigeren Kohlenstoffgehalt von 0.04 bis 0.05 % und einem Zusatz von 4 bis 6 % Nickel erzielt

worden. Dadurch hat sich der Ferritgehalt sehr erniedrigt und der spröde Martensit in den niedriggekohlten, zähen, feinkörnigen Nickelmartensit, welches auch eine bessere Schweißbarkeit besitzt, umgewandelt.

Das Ergebniss dieser Untersuchungen sind Zusatzwerkstoffe, mit denen bei sehr hoher Festigkeit (120 kp/mm²) und Härte (350 bis 400 HB) verhältnismässig gute Zähigkeitswerte (6—7 kpm/cm²) erzielt werden und mit denen auch grössere Querschnitte ohne oder nur mit geringer Vorwärmung geschweisst werden können. Im Artikel sind Ergebnisse der Untersuchungen an reinem Schweißgut aus Schweißelektroden PK 13 mit 13 % Cr und PK 13/6 mit einem Gehalt von 13 % Cr und 4 bis 6 % Ni angegeben.

SUMMARY

13 % Cr steels are high-strength rustless steels which are used mainly for construction of hydroenergetic and thermoenergetic installations and other set-ups which are in contact with river, lake, and sea water, e.g. water impellers, pumps, screw-propellers, etc., because they have high strength, high hardness, high wear resistance, corrosion and erosion resistance, and scoring resistance.

Welding of these steels caused troubles. Because they are self hardening the weld decay can be avoided by relatively high preheating (300 to 400° C) which was often difficult. The obtained welds had low toughness. For corrosion resistant materials also high toughness is desired beside the good erosion and scoring resistance, and high strength and hardness. If high erosion and scoring resistance beside good corrosion behaviour is desired with 13 % Cr steels they must have high hardness at simultaneous high toughness. In present 13 % Cr adding materials higher hardness was obtained by higher carbon content. But toughness in welding state was very low. It was improved

by further heat treatment but the hardness was reduced during such treatment. Low toughness and bad weldability are caused by brittle coarse grained martensite and great amount (about 40 %) of just so brittle ferrite in the weld structure. New investigations were made to improve toughness at unreduced hardness in 13 % Cr steels for hydroenergetic installations. Amount of ferrite had to be reduced and martensitic structure must be the purer. This was obtained by carbon reduction to about 0.04 to 0.05 %, and by adding 4 to 6 % nickel. Ferrite content was highly reduced and brittle martensite was transformed into low-carbon tough fine grained nickel martensite which has also better weldability. Result of investigations are adding materials which give relatively good toughness (6 to 7 kpm) at very high strength (120 kp/mm²) and hardness (350 to 400 B. H. N.) and which can be used also for welding greater steel sections without or with minimal preheating. In the paper results of investigation of pure welds with electrode PK 13 (13 % Cr) and PK 13/6 (13 % Cr and 4 to 6 % Ni) are shown.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Антикоррозийная сталь с содержанием 13 % Cr благодаря хорошим свойствам и, пр.: высокой прочности, твёрдости, хорошей износостойкости, хорошей стойкости на влияние кавитационной эрозии, употребляется главным образом при постройке и оборудовании гидро- и термо-энергостанций. Также остальных установок, которые приходят в соприкосновение с водами озёр, моря и рек, и, пр. гидравлические турбины, насосы, гребные винты и пр. При сварки изделий из этой стали появились определенные затруднения. Так как закалка этой стали происходит уже на воздухе, то необходимо, чтобы избежать появления закалочных трещин, сравнительно высоко перегреть изделие предназначено для сварки (300—400° C), что во многих случаях было тяжело выполнить. Полученные сварочные соединения имели плохую вязкость. Для антикоррозийных материалов при хорошей стойкости на кавитационную эрозию, высокой прочности и твёрдости, желательно также хорошая вязкость. Следует, что этот сорт антикоррозийной стали с содержанием 13 % Cr должен иметь высокую твёрдость одновременно с хорошей вязкостью. До сих пор, необходимую высокую твёрдость получали с повышением содер-

жания C. При этом вязкость в сварочном состоянии не удовлетворяла. Повышение вязкости последовало после термической обработки но при этом уменьшалась твёрдость. Причина недостаточной вязкости и слабой способности к сварке состояла в том, что сварочное соединение состояло из хрупкого, грубого мартензита и прибл. из 40 % также хрупкого феррита.

Поэтому цель исследования была в уменьшении содержания феррита и улучшения чистоты мартензитной структуры. Удовлетворяющий результат получен уменьшением содержания углерода на уровень 0.04—0.05 % и добавкой 4—6 % Ni. Полученная сталь с уменьшенным содержанием хрупкого феррита и с мелкозернистым Ni-мартензитом имела гораздо лучшую свариваемость. Сварку материалов из такой стали весьма успешно вели с электродами PK 13, с содержанием 13 % Cr и с электродой PK 13/6, содержанием 13 % Cr и 4—6 % Ni. Сварку можно вести без или при незначительном подогреве материала. Рассмотрены результаты исследования чистых сварочных соединений сварки при помощи упомянутых электродов.