

Nove elektrode EVB-Mo, EVB-CrMo in EVB-2 CrMo za varjenje jekel z garantiranimi mehanskimi lastnostmi pri višjih temperaturah

V članku so podani rezultati preiskav elektrod EVB — Mo, EVB — Cr Mo, EVB — 2 Cr Mo proizvodnje Železarne Jesenice, namenjenih za varjenje jekel z garantiranimi mehanskimi lastnostmi pri povišani temperaturi. Istočasno je podan tudi pregled posameznih kvalitete teh jekel ter osnovni pojmi iz tehnologije varjenja.

I. UVOD

Splošna konstrukcijska jekla se pod obremenitvijo pri višji temperaturi deformirajo, kar končno privede do porušitve. Pri gradnji kotlov, posod, rezervoarjev, parovodov ter cevovodov, ki morajo obratovati pri višjih temperaturah, pa moramo uporabiti jekla, ki obdrže dobre mehanske lastnosti tudi pri teh temperaturah, to je, da pri določeni višji obratovalni temperaturi in pri določeni obremenitvi obdrže predpisano mehansko trdnost, oziroma mejo raztezanja. Istočasno pa se morajo ta jekla tudi dobro variti. S skupnim imenom nazivamo ta jekla — jekla z garantiranimi mehanskimi lastnostmi pri povišani temperaturi.

Po namenu uporabe jih delimo v:

1. jekla za kotlovsko pločevino
2. jekla za izdelavo cevovodov — parovodov
3. jekla, ki so obstojna proti atmosferi vodika

V spodnji razpredelnici so prikazane najvažnejše kvalitete teh jekel — od nelegiranih do visokolegiranih, ki se uporabljajo za namene, ki so zgoraj naštet, in so zajeta v naslednjih DIN normah.

1. Kesselbleche: DIN 17155
2. Röhren Stähle: DIN 17175
3. Warmfeste Stähle: Stahl — Eisen — Werkstoffblatt 610 — 63
4. Hochwarmfeste Stähle: St. Eise. W. St. blatt 670 — 69
5. Druchwasserstoffbeständige Stähle: St. E. W. blatt 590 — 61

Po sestavi in z ozirom na varilne lastnosti jih delimo v:

1. Nelegirana-feritno-perlitna jekla, uporabna do maks. 350° C. Sem spadajo npr. H I—H IV, St 35.8, St 45.8

Kotlovska pločevina	Jekla za cevi	Jekla, odporna proti H ₂
H I—H IV	St 35.8	25 CrMo 4
17 Mn 4	St 45.8	16 CrMo 7
19 Mn 5	15 Mo 3	24 CrMo 10
15 Mo 3	16 Mo 5	20 CrMo 9
16 Mo 5	14 Mo V 63	10 CrMo 11
13 CrMo 44	13 CrMo 44	17 CrMo V 10
10 CrMo 9.10	10 CrMo 9.10	20 CrMo V 13.5
10 CrSiMo V 7	10 CrSiMo V 7	12 CrMo 19.5
12 CrSiMo 9	X 12 CrMo 9.1	X 12 CrMo 9.1
	X 19 CrMo 12.1	X 20 CrMo V 12.1
	X 20 CrMo V 12.1	X 8 CrNiMoVNb 16.13
	X 22 CrMo V 12.1	
	X 8 CrNiNb 16.13	
	X 8 CrNiMoNb 16.16	
	X 8 CrNiMoVNb 16.13	

2. Nizkolegirana-feritno-perlitna Mn, Mo, MoV, CrMo in CrMoV legirana jekla, tipa:

1 % Mn npr. 17 Mn 4, 19 Mn 5 (Č 3133, Č 3105)
 0.5 % Mo npr. 15 Mo 3, 16 Mo 5 (Č 7100)
 1 % Cr, 0.5 % Mo npr. 13 CrMo 44 (Č 7400)
 2.5 % Cr, 1 % Mo npr. 10 CrMo 9.10 (Č 7401)

Uporabna so za temperaturno območje 350 do 550° C.

3 .Srednjelegirana-perlitno-martenzitna CrMo, CrMoV legirana jekla, tipa:

5 % Cr, 0.5 % Mo npr. 12 CrMo 19.5
 9 % Cr, 1 % Mo npr. X 12 CrMo 9.1
 12 % Cr, 1 % Mo npr. X 20 CrMo 12.1

Uporabna so za temperaturno območje 400 do 600° C.

4. Visokolegirana-avstenitna CrNi, CrNiMo in CrNiMoV legirana jekla, tipa:

16 % Cr, 13 % Ni — X 8 CrNiNb 16.13
 16 % Cr, 16 % Ni, 1.5 % Mo — X 8 CrNiMoNb 16.16
 16 % Cr, 13 % Ni — X 8 CrNiMoVNb 16.13
 1.5 % Mo, 0.7 % V

Uporabna so za temperaturno območje 600 do 800° C.

Pregled posameznih jekel z ozirom na legiranje prikazuje naslednja razdelitev:

Nelegirana feritno perlitna	Nizkolegirana feritno perlitna	Srednjelegirana perlitno martenzitna	Visokolegirana avstenitna
H I—H IV	17 Mn 4	12 CrMo 19.5	X CrNiNb 16.13
St 35.8	19 Mn 5	X 12 CrMo 9.1	X CrNiMoNb 16.16
St 45.8	15 Mo 3	X 20 CrMo 12.1	X CrNiMoVNb 16.13
	16 Mo 5	X 22 CrMo V 12.1	
	14 Mo V 63	X 22 CrMo V 12.1	
	13 CrMo 44	X 20 CrMoWV 12.1	
	10 CrMo 9.10		
	17 Mo V 84		
	24 CrMo 5		
	21 CrMo V 5.11		

Orientacijska sestava, območje uporabe in potrebna temperatura predgrevanja nekaterih najvažnejših jekel iz teh skupin je naslednja (Tabela št. 1):

Jekla kot 15 Mo 3, 14 Mo V 63, 13 Cr Mo 44, 10 Cr Mo 9.10 se rabijo predvsem v gradnji kotlov in cevovodov, jekla kot 21 Cr Mo V 5.11 ter 5, 9 in 12 % Cr jekla pa za cevovode, razna ohišja in

Tabela št. 1

W. n	DIN	C	Cr	Ni	Mo	V	Min. meja razt.	Maks. upor. temp.	Temp. predgr.
5415	15 Mo 3	0.15	—	—	0.3	—	28	530	100—200
7335	13 CrMo 44	0.15	0.9	—	0.45	—	29	560	200—250
7380	10 CrMo 9.10	0.13	2.3	—	1.0	—	27	590	200—300
5406	17 Mo V 84	0.17	0.3	—	0.8	0.35	60	590	200—300
7258	24 CrMo 5	0.24	1.1	—	0.2	—	45	590	200—300
8070	21 CrMo V 5.11	0.21	1.4	—	1.1	0.3	55	590	200—300
7362	12 CrMo 19.5	0.12	5	—	0.5	—	40	600	250—350
4921	X 20 CrMo 12.1	0.15	11.5	—	1.0	—	50	600	350—450
4922	X 22 CrMo V 12.1	0.20	11.5	0.4	1.0	0.3	60	600	350—450
4961	X 8 CrNiNb 16.13	0.06	16	13	+ Nb		22	800	100—200
4981	X 8 CrNiMoNb 16.16	0.06	16	16.5	1.8	+ Nb	23	800	100—200

turbine. Avstenitna jekla pa se predvsem uporabljajo za energetske naprave za proizvodnjo energije z delovno temperaturo nad 600°C. Mnogo se uporabljajo tudi v industriji nafte, kjer se postavljajo velike zahteve po obstojnosti pri višjih temperaturah in obstojnosti proti oksidaciji.

LASTNOSTI JEKEL

1. Feritno perlitna in perlitno martenzitna Cr-Mo jekla (nizko in srednje legirana jekla).

To so Mn legirana jekla z dodatkom Cr, Mo, V. So kaljiva že na zraku. Zato je pri varjenju teh jekel potrebna še posebna pozornost. V prehodni coni in v zvaru nastanejo pri ohlajanju zakaljane — krhke cone izredno visoke trdote. Ta zakalitev je tesno povezana s pojavom razpok v osnovnem materialu (coni termičnega vpliva) in materialu zvara. Vpliv tega se ugodno odstrani s predhodnim predgrevanjem. Po varjenju pa je potrebno izvesti naknadno toplotno obdelavo. Občutljivost za termično obdelavo je zelo velika, iz česar sledi, da bo imel zvar različne mehanske vrednosti že pri majhni izmeni režima termične obdelave, kot npr. višine temperature, časa trajanja na tej temperaturi, temperature in časa napuščanja ter pogojev hlajenja. Pri nizkolegiranih Cr Mo jeklih je predgrevanje 200—300°C; odvisno je od dimenzije in kvalitete jekla. Temperaturo predgrevanja je treba obdržati ves čas varjenja. Naknadna toplotna obdelava pa se izvrši pri 650—750°C in je ravno tako odvisna od dimenzije in kvalitete.

Pri srednje legiranih jeklih (sem spadajo 5—12 % Cr jekla kot 12 Cr Mo 19.5, X 12 Cr Mo 9.1, X 20 Cr Mo 12) je potrebno predgrevanje, odvisno od dimenzije in kvalitete, od 200—450°C. Tako je pri jeklih z 12 % Cr potrebno predgrevanje na 450°C. V vsakem primeru pa je potrebna naknad-

na toplotna obdelava (napuščno žarjenje ali ponovno poboljšanje). Zelo škodljiva je tudi prevelika koncentracija »Si« v zvaru. Pri električnem obločnem varjenju mora biti čim nižja (Si 0.50 %). Večji % Si posebno pri visokih kromovih jeklih povečuje krhkost.

3. Avstenitna-visokolegirana jekla so za zelo visoke temperature.

Varijo se v hladnem z ohlajanjem vmesnih slojev zaradi nevarnosti nastopa toplotnih razpok. Samo pri varjenju korena je priporočljivo predgrevanje na 100—150°C, pri zelo debelih pločevinah pa na maks. 200 za zmanjšanje notranjih napetosti, ni pa nujno potrebno. Med varjenjem te temperature ne smemo povečati. Naknadna toplotna obdelava ni nujno potrebna.

II. NIZKOLEGIRANA JEKLA Z GARANTIRANIMI MEHANSKIMI LASTNOSTMI PRI VIŠJI TEMPERATURI

Nizkolegirana, Mn, Mo in Cr Mo jekla se uporabljajo predvsem kot kotlovska pločevina in za izdelavo cevovodov z uporabnostjo do maksimalne temperature 590°C. V tabeli št. 2 so podani najbolj tipični začetni primeri iz števila teh jekel.

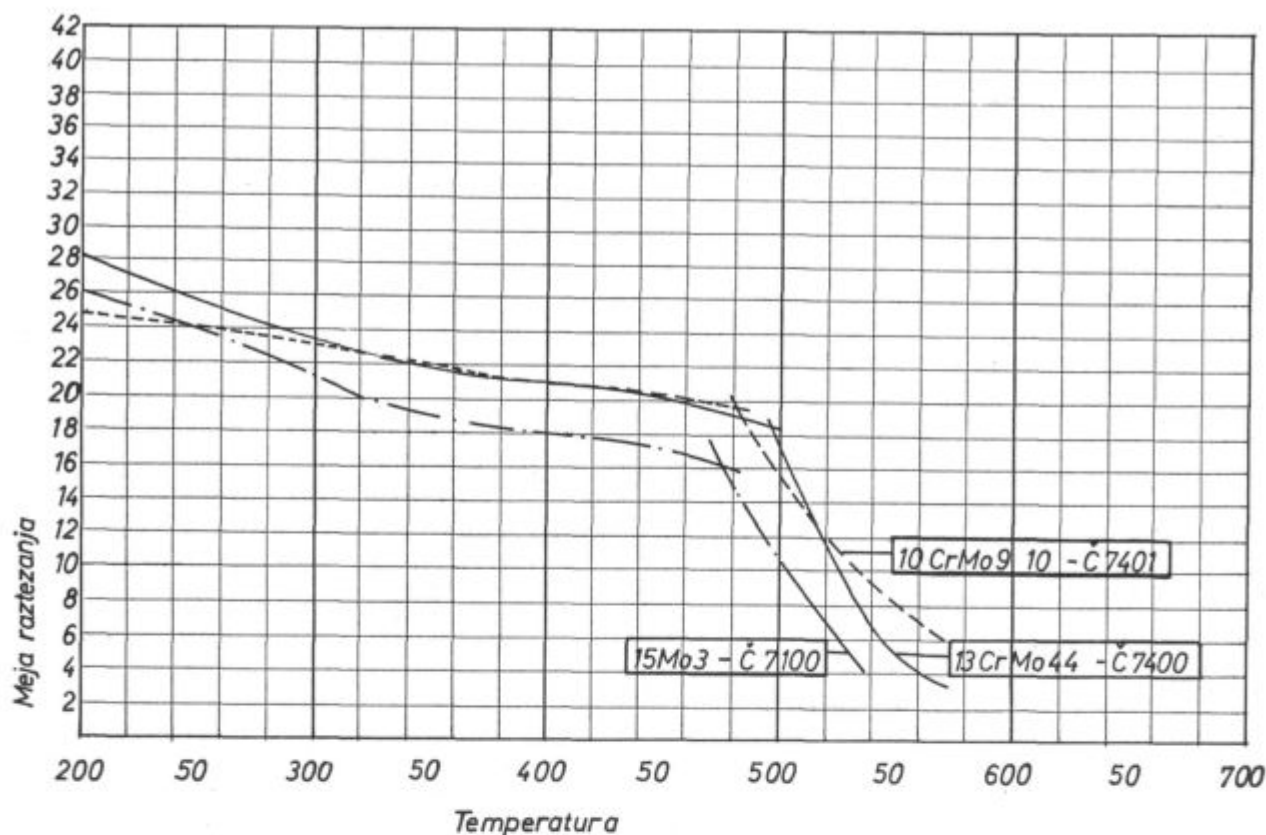
Iz tabele je razvidno, da gre pri teh jeklih za feritno-perlitna jekla z naraščajočo vsebnostjo kroma in molibdena. Mehanske lastnosti pri posameznih temperaturah pa prikazuje tabela št. 3

Vpliv temperature na mehanske lastnosti zadnjih treh prikazuje grafično tudi diagram — meja raztezanja/temper.

Jekla 17 Mn 4, 19 Mn 5, 15 Mo 3 so normalno žarjena, jekla 13 Cr Mo 44 in 10 Cr Mo 9.10 pa poboljšana na zraku. Način toplotne obdelave prikazuje tabela št. 4.

Tabela št. 2

JUS	DIN	W-n	C	Si	Mn	Cr	Mo
Č 3133	17 Mn 4	0844	0.14— 0.20	0.20 0.40	0.90 1.20	—	—
Č 3105	19 Mn 5	0845	0.17— 0.23	0.40 0.60	1.0 1.30	—	—
Č 7100	15 Mo 3	5415	0.12— 0.20	0.15— 0.35	0.50— 0.80	—	0.25— 0.35
Č 7400	13 Cr Mo 44	7335	0.10— 0.18	0.15— 0.35	0.40— 0.70	0.70— 1.0	0.40— 0.50
Č 7401	10 Cr Mo 9.10	7380	0.15—	0.15— 0.50	0.40— 0.60	2.0— 2.5	0.90— 1.10



Vpliv temperature na mehanske lastnosti

Tabela št. 3

Kvaliteta	Natezna trdnost kp/mm ² 20°	Meja raztezanja pri temper. kp/mm ²							
		20	200	250	300	350	400	450	500 °C
17 Mn 4	35—56	28	25	23	21	18	16	14	—
19 Mn 5	52—62	32	27	25	23	21	18	16	—
15 Mo 3	45—55	29	26	24	21	19	18	17	15
13 Cr Mo 44	45—56	30	28	26	24	22	21	20	18
10 Cr Mo 9.10	45—60	27	25	24	23	22	21	20	19

Tabela št. 4

	normaliz.	poboljšanje (zračno)		napetostno odžarenje
		kaljenje	napušč.	
17 Mn 4	} 880—910	—	—	} 550—620
19 Mn 5		—	—	
15 Mo 3	910—940	—	—	650—700
13 Cr Mo 44	—	910—940	650—720	650—720
10 Cr Mo 9.10	—	900—960	680—780	730—780

Podano temperaturo je treba doseči čez ves presek. Ko je to doseženo, nadaljno zadrževanje pri normalizaciji in kaljenju na tej temperaturi ni potrebno. Pri napuščnem žarjenju, žarjenju za odpravo napetosti ali žarjenju po varjenju je potreb-

no na navedeni temperaturi držati 1—2 minuti za vsak 1 mm debeline preseka, a minimalno 20 minut, računano od dosežene spodnje temperature dalje. Po varjenju pri kvalitetah 17 Mn 4, 19 Mn 5, 15 Mo 3 do dimenzije 10 mm ni potrebno žarjenje,

pri večjih pa se priporoča. Pri Cr legiranih (13 Cr Mo 44 in 10 Cr Mo 9.10) je potrebno žarjenje po varjenju v vsakem primeru. Pri teh dveh kvalitetah je potrebno pri varjenju predgrevanje 200 do 300° ves čas varjenja. Za ostale ni nujno potrebno.

Kot je bilo omenjeno že na začetku, so jekla, legirana s kromom na zraku, kaljiva. Kar pomeni, da se zaradi pregretja pri varjenju in nato pri počasnem ohlajanju tvorijo v prehodni coni in zvaru kaljene cone, ki dosežejo npr. pri 13 Cr Mo 44 in 10 Cr Mo 9.10 trdoto tudi do 400 Vickersa, to je ca. 130 kg/mm². Zato se zgodi, da že pri samem varjenju teh jekel nastopijo razpoke v prehodni coni in v zvaru. To preprečimo z izbiro pravilne elektrode in pravilno toplotno obdelavo. Za varjenje Mn legiranih jekel uporabljamo elektrode EVB 50 (17 Mn 4) in EVB 60 (19 Mn 5). Za Mo in Cr Mo jekla pa nove elektrode EVB Mo (15 Mo 3), EVB Cr Mo (13 Cr Mo 44) in EVB 2 Cr Mo (10 Cr Mo 9.10).

DODAJNI MATERIAL

Dodajni material za varjenje jekel z garantiranimi mehanskimi lastnostmi pri povišani temperaturi mora imeti enake lastnosti kot jekla. Na splošno so vrednosti čistega vara pri raznih temperaturah nekoliko višje kot vrednosti odgovarjajočih jekel. Za varjenje Mo in Cr Mo jekel z garantiranimi mehanskimi lastnostmi pri višji temperaturi pridejo v poštev rutilne in bazične elektrode. Oba tipa imata svoje prednosti in pomanjkljivosti. Pri medsebojni primerjavi imajo rutilne elektrode boljše varilno tehnične lastnosti, to je lepše varijo, a dajo slabše mehanske vrednosti, medtem ko dajo bazične elektrode bolj ugodne mehanske rezultate. Do sedaj smo rutilnim elektrodam dajali prednost, predvsem zaradi njenih boljših varilno tehničnih lastnosti. Vendar pa je čisti var pri rutilnih elektrodah predvsem v pogledu raztezka in žilavosti mnogo bolj neugoden. Iz tega sledi, da je potrebno predhodno toplotno obdelavo izvesti izredno natančno in pazljivo, če hočemo preprečiti razpoke. To je še posebno važno pri debelejših pločevinah, n. pr. pri kvalitetah z večjo vsebnostjo legirnih elementov. To pa je na montaži dostikrat zelo težko izvedljivo. V takem slučaju ni nastanek razpok nobena redkost, oziroma nastopa zelo rad in pogosto. Te bojzani pa pri uporabi bazičnih elektrod nimamo, in to celo takrat ne, če predhodna toplotna obdelava ni izvršena zelo natančno po predpisih.

Poleg tega je vsebnost vodika pri rutilnih elektrodah mnogo večja kot pri bazičnih, kajti iz srednje legiranih jekel zelo počasi difundira, ker legirani elementi zavirajo njegovo difuzijsko hitrost.

Združeno z ostalimi zunanji vplivi kot je n. pr. hitra ohladitev tvori tudi vodik pri varjenju z rutilnimi elektrodami resno nevarnost za nastanek razpok v zvarjenih spojih, zato se rutilne elek-

trode ne priporoča uporabljati za varjenje teh jekel. V kolikor jih že uporabljamo, potem naj se uporabijo samo do vsebnosti 5 % Cr in 12 mm debeline, sicer pa se priporoča varjenje z bazičnimi elektrodami. Poleg tega je tudi izkoristek pri bazičnih elektr. večji, saj znaša ca. 115 %, medtem ko pri rutilnih ca. 95 % računamo na bazo osnovne žice.

III. NOVE ELEKTRODE EVB — Mo, EVB — Cr Mo, EVB — 2 Cr Mo

Z razvojem novih elektrod EVB — Mo, EVB — Cr Mo, EVB — 2 Cr Mo je bil razširjen in izpopolnjen program elektrod železarne Jesenice. Elektrode so bazičnega tipa z naslednjo orientacijsko sestavo:

	C	Si	Mn	Cr	Mo
EVB — Mo	0,08	0,50	0,8	—	0,50
EVB — Cr Mo	0,08	0,45	0,8	1,20	0,50
EVB — 2 Cr Mo	0,08	0,45	0,7	2,30	1,0

Iz tabele je razvidno, da se ime samih elektrod nanaša na oba glavna elementa Cr in Mo. Pripadajoča številka pove, % Cr koliko vsebuje čisti var. Analiza čistega vara posameznih elektrod je tako prirejena, da odgovarja jeklom 15 Mo 3, 13 Cr Mo 44 in 10 Cr Mo 9.10. Mehanske lastnosti čistega vara pa so podane pri zaključku.

Rezultati preiskav EVB — Mo, EVB — Cr Mo, EVB — 2 Cr Mo

1. EVB — Mo

Pri elektrodi EVB — Mo pridejo v poštev naslednje preiskave:

1. mehanske lastnosti čistega vara pri normalni temp. (20° C) s predhodno toplotno obdelavo:

a. nežarjeno — to je v stanju varjenja

b. žarjenje za odpravo napetosti: 30 minut pri temp. 600—650° (ohlajanje na zraku)

c. normalizirano: žarjenje pri temperaturi 910—940° C

2. Mehanske lastnosti pri povišani temperaturi z isto predhodno toplotno obdelavo

Od števila teh preiskav smo na elektrodi EVB Mo izvršili naslednje:

1. analizo čistega vara

2. mehanske lastnosti čistega vara pri normalni temperaturi (20°)

3. mehanske lastnosti čistega vara pri povišani temperaturi

4. mehanske lastnosti zvarnega spoja na kvaliteti 15 Mo 3 — C 7100

Čisti vari so bili varjeni po JUS C. H3.011 v pločevino Č 0400, debeline 20 mm, širine 120 in dol-

žine 500 mm. Kot robov žleba je bil 75°, odprtina spodaj 16—18 mm, odprtina zgoraj 20 mm. Varjenje se je vršilo z ohlajanjem vmesnih slojev na 150° C. Rezultati, ki so bili doseženi, so naslednji:

1. Analiza čistega vara:

C	Si	Mn	Mo	P	S
0,06	0,49	0,99	0,58		
0,05	0,38	0,80	0,48		
0,07	0,42	0,88	0,45		

2. Mehanske lastnosti čistega vara pri normalni temperaturi (20° C) (nežarjeno stanje — v stanju varjenja)

meja raztezka kp/mm ²	trdnost kp/mm ²	raztezek L = 5 d %	kontrakcija %	trdota (BH)
43.7	53.8	26.0	63.6	
42.0	52.8	31.0	63.8	
51.0	60.5	24.0	63.0	
53.0	61.9	24.0	73.0	183
52.3	61.2	24	68.0	183
57.3	63.2	22.0	61.6	179
51.8	62.2	23.0	66.7	183
54.6	62.7	22.0	64.2	179
48.0	56.0	25.0	63.0	183
47.0	55.0	26.0	63.5	182
44—54	54—64	min. 22	65	182

Žilavost: V-notch pri temperaturah (kpm/cm²)

20° C: 15, 16, 15.5, 16.5, 12.5, 12.5, 14.8, 13.0, 15.5, 16.3, 17.5, 18.5, 16.0, 14.4, 15.2, 14.7 = 12 — 18

0° C: 11,6, 13,8, 13,3, 14,5, 14,3, 9,5 = 9 — 14

— 20° C: 8,75, 10,25, 11,0, 12,5, 13,5, 13,1, 11, 7,5, 8,7, 12,5, 9,7, 11 = 7 — 12

— 40° C: 6, 10,4, 8,2, 8,5, 6,75, 6,75, 6,9 = 5 — 10

3. Mehanske lastnosti čistega vara pri normalni temperaturi (20°), normalizirano stanje

Meja raztez. kp/mm ²	Trdnost kp/mm ²	Raztez. L = 5 d %	Kontrakcija %	Žilavost kpm/cm ²
39.5	49.0	33.0	75	22.2, 23, 25
37	49	34	75	24.6, 23

4. Mehanske lastnosti čistega vara pri povišani temperaturi (nežarjeno stanje)

Temp. °C	Meja (0.2) kp/mm ²	Meja raztezka kp/mm ²	Trdnost kp/mm ²
200	48.5	52.8	61.3
	55	57.6	66.2
300	50	53.5	65.9
	—	40.4	57.7
400	—	38.4	57.2
	45.7	46.8	55.5
450	45.6	47.4	58.8
	—	39.6	56.2
500	—	37.8	52.2
	—	46.7	58.5
550	—	46.3	57.1
	—	52.7	62.4
600	—	51.4	59.6
	36	40.2	52.1
650	—	33.2	47.7
	29.3	37.3	44.0
700	35.6	42.5	47.5
	—	29.3	40.7
750	—	28.8	40.2
	—	41.2	50.8
800	—	40.4	48.4
	—	40.5	47.6
850	—	41.2	48.3

5. Mehanske lastnosti zvarnih spojev

Zvarni spoji so bili izdelani na pločevini, dolžine 350 mm, debeline 20 mm. Pri V zvaru je bil kot 60—70°. Osnovni material je bil predgret na 250° C, kvaliteta Č 7100 (15 Mo 3)

Meja raztezka kp/mm ²	Trdnost kp/mm ²	Upogib (teme) α ₁ (stop)	Upogib (koren) α ₂ (stop)	Mesto loma
37	51.3	180°	180°	v osnov. mat.
35.7	48.3	180°	180°	v osnov. mat.

Žilavost zvarnih spojev — V notch (kpm/cm²)

a) zvar: 20°: 13,1, 15,6, 17,5, 15, 16,9, 13,7
— 20°: 12,2, 11,0, 11,2, 7,7, 6,5, 6,5

b) Toplotno vplivana cona:

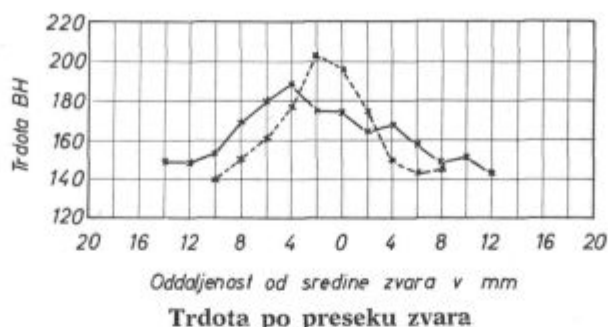
+ 20: 14,2, 22,2, 15,2, 17,5

— 20: 14,2, 16,0, 10,6, 22

Meritev trdot zvarnih spojev:

Rezultati meritev trdot zvarnih spojev so podani na diagramu št. 1 skupno z makroposnetki posameznih spojev in mikroposnetki struktur zvarov.

Diagram št. 1: zvarni spoj elektrode EVB — Mo



Struktura zvara (100:1)



Linija spajanja (100:1)

EVB — Cr Mo

Pri elektrodah, tipa Cr Mo, preiskujemo naslednje:

A) Čisti var:

1. Mehanske lastnosti pri normalni temperaturi (20°)

- a) napuščeno
- b) poboljšano

2. Mehanske lastnosti pri povišani temperaturi (200 — 550° C)

- a) napuščeno
- b) poboljšano

B) Zvarni spoj:

1. Mehanske lastnosti pri normalni temperaturi (20°)

- a) napuščeno
- b) poboljšano

Postopek toplotne obdelave

1. Napuščanje: ogrevanje na temp. 700 — 720° C zadrževanje na temp. 30 minut — ohlajanje na mirujočem zraku

2. Poboljšanje:

a) kaljenje: ogrevanje na temp. 900—920° zadrževanje na temp. 30 minut — ohlajanje na mirujočem zraku

b) napuščanje: ogrevanje na temp. 700—720° zadrževanje na temp. 30 minut — ohlajanje na mirujočem zraku

Preiskave, ki smo jih izvršili na elektrodi EVB Cr Mo, so dale naslednje rezultate:

1. Analiza čistega vara

C	Si	Mn	Cr	Mo
0.04	0.58	0.97	1.11	0.50
0.05	0.47	0.83	1.13	0.54
0.06	0.44	0.66	1.30	0.61
0.06	0.36	0.64	1.25	0.61
0.05	0.40	0.86	1.15	0.60
0.05	0.42	0.78	1.25	0.67
0.06	0.38	0.72	1.10	0.45
0.07	0.45	0.80	1.20	0.5

2. Mehanske lastnosti čistega vara pri temperaturi (20°)

Toplotna obdelava: napuščeno žarjenje: 720° C/30 minut — zrak

Meja raztezka kp/mm ²	Trdnost kp/mm ²	Raztezek L = 5 d %	Kontrak- cija %	Trdota (HB)	
57.8	66.9	22	66.9	217	229
56.5	67.5	22	67.1	217	229
48	58.1	20	68	223	229
65	72	20	64	223	223
51.7	61.0	21	65	217	217
51.1	61.2	22.0	53.7	217	223
58	66	22	66.4	217	— 227
56.8	64.2	22	72.2		
57.4	65.1	22.0	69.3		
54.6	62.3	22	66.0		
56.7	64.8	22	68.7		
55.7	63.6	22	67.3		

Zilavost V-notch pri temp. 20 C° (kpm/cm²)

20°: 8.86, 7.75, 6.5, 11.25, 14, 16, 17, 17, 11.75, 16, 16.4, 16.6, 17.2, 17.4, 6.2, 7.0, 7.8, 9.1, 14.8, 16, 17, 16, 17.5, 16.3, 15.6, 17.6, 16.0, 11.8, 11.0, 10.8, 10.5, 10, 10.8
(12—18)

a) Mehanske lastnosti čistega vara pri temp. (20°) (poboljšano)

Meja raztezka kp/mm ²	Trdnost kp/mm ²	Raztezek %	Kontrak- cija %	Zilavost V Notch 20° (kpm/cm ²)
51.5	59.5	26	69	21, 21.8, 21, 22
51.5	60.5	30	71	20, 21.9, 20.4 19.5, 22, 20

3. Mehanske lastnosti pri povišani temperaturi

a) napuščeno

Temp. °C	Meja 0.2 kp/mm ²	Meja raztez. kp/mm ²	Trdnost kp/mm ²	Raztezek L = 5 d %
200	52.0	52.8	59.6	—
	51.9	52.6	58.4	—
300	46.0	49.2	62.0	—
	47.0	50.2	62.3	—
400°	43.8	45.0	55.8	—
	43.7	44.8	57.1	—
	—	50.7	59.4	20.5
	—	49.7	59.3	21.0
	—	50.2	59.4	20.0
	—	49.5	57.8	20.5
	—	49.6	58.8	21.0
	—	49.6	58.3	21.0

500	38.4	39.1	41.1	—
	36.2	39.5	44.1	—
550	27.9	33.0	36.5	—
	28.1	35.5	38.0	—
	—	36.9	42.6	25.0
	—	36.9	42.6	22.0
	—	36.9	42.6	23.5
	—	36.0	43.0	23.0
	—	36.0	41.5	22.0
	—	36.0	42.6	22.5

b) poboljšano

Temper. °C	Meja 0.2 kp/mm ²	Meja raztez. kp/mm ²	Trdnost kp/mm ²
500	24.8	26.3	42.2
	25.1	27.3	42.0
550	19.7	21.5	29.8
	19.4	20.8	26.9

4. Mehanske lastnosti zvarnega spoja

Za izdelavo zvarnega spoja je bila uporabljena pločevina kvalitete Č 7400 (13 Cr Mo 44). Dolžina 350 mm, debelina 20 mm. Osnovni material je bil predgret na 250° C.

Varjenje se je vršilo pri temp. ca. 250° C ves čas varjenja. Oblika zvara »V«. Kot 60—70°.

4. Mehanske lastnosti zvarnega spoja

Meja raztezka kp/mm ²	Trdnost kp/mm ²	Upogib (teme) (stop)	Upogib (koren) (stop)	Mesto loma
35.2	50.4	140	140	v osnovi
37.8	51.3	140	140	v osnovi

Zilavost zvarnih spojev V notch — kpm/cm²

a) zvar: 20°: 15, 16.2, 13, 14.7, 11.5, 11, 11, 11.2

b) toplotno vplivana cona:

20°: 16.7, 17, 15, 16.8, 17, 16, 16.2, 16, 16.1

5. Meritev trdot zvarnih spojev s podani na diagramu št. 2

EVb — 2 Cr Mo

Pri elektrodah, tipa 2 Cr Mo preiskujemo naslednje:

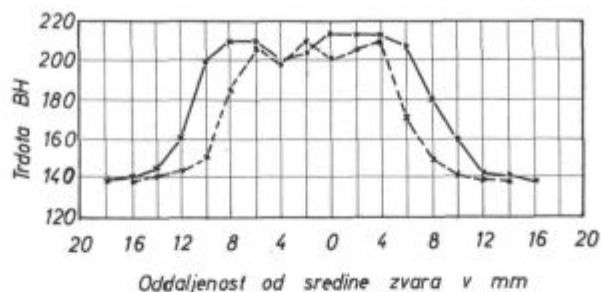
Čisti var

1. mehanske lastnosti pri normalni temperaturi (20°)

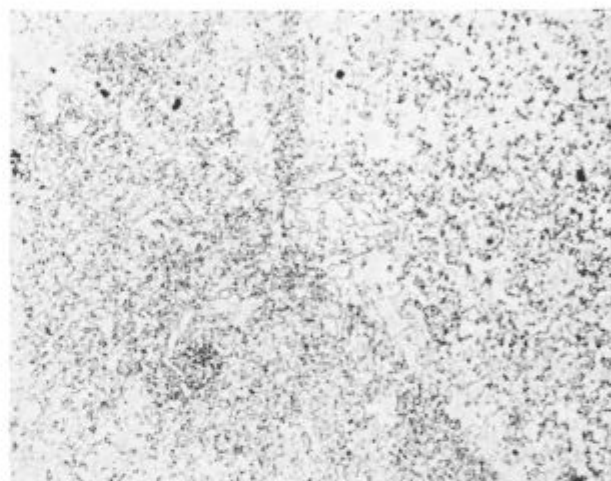
a) napuščeno

b) poboljšano

Diagram št. 2: zvarni spoj elektrode EVB — Cr Mo



Struktura zvara (100:1)



Linija spajanja (100:1)

2. Mehanske lastnosti pri povišani temperaturi (200—550°)

- a) napuščeno
- b) poboljšano

Zvarni spoj

1. Mehanske lastnosti pri normalni temperaturi (20°)

- a) napuščeno
- b) poboljšano

Postopek toplotne obdelave

1. Napuščanje: ogrevanje na temp. 700—760° C zadrževanje na temp. 30 minut, ohlajanje na 400—450 v peči, nato na mirujočem zraku

2. Poboljšanje:

a) Kaljenje: ogrevanje na temp. 940—960° C zadrževanje na temp. 30 minut — ohlajanje na mirujočem zraku

b) napuščanje: ogrevanje na temp. 740—760° C zadrževanje na temp. 30 minut — ohlajanje na 400—450° v peči in nato na mirujočem zraku.

Rezultati izvršenih preiskav na elektrodi EVB 2 Cr Mo

1. Čisti var

1. Analiza čistega vara

C	Si	Mn	Cr	Mo
0.04	0.57	0.86	2.30	0.94
0.09	0.40	0.70	2.25	1.0
0.06	0.23	0.67	2.85	1.02
0.07	0.43	0.86	2.65	1.08
0.07	0.40	0.78	2.53	1.15
0.08	0.38	0.87	2.55	0.94
0.07	0.49	0.88	2.80	1.24
0.08	0.40	0.81	2.33	0.89

2. Mehanske lastnosti čistega vara pri temperaturi 20°

Toplotna obdelava: napuščeno 30 min — 760° C

Meja raztezka kp/mm ²	Trdnost kp/mm ²	Raztezek %	Kontrakcija %	Trdota (HB)	
56.0	66.2	23.0	65.3	217	223
54.5	64.5	24.0	68.6	217	217
59.9	70.0	21.0	67.5	217	217
56.6	67.0	26.0	69.4	223	217
57.1	68.3	25.0	68.5	217	217
48.4	65.0	21.0	65.2	217	217
52.5	63.5	21.0	67.0		
50.4	64.3	21.0	66.1		

Žilavost V-notch pri temp. 20°

kpm/cm² 18.25, 18.25, 18.8, 15.0, 15.1
10.35, 16.0, 14.0, 12.0
17.9, 19, 18, 19.5
16.9, 18.5, 15.1, 10

2. Mehanske lastnosti čistega vara pri normalni temperaturi (20°)

Toplotna obdelava: poboljšana 30'/960 in 30'/760

Meja raztezka kp/mm ²	Trdnost kp/mm ²	Raztezek %	Kontrakcija %
45.0	57	22	68
47	59	23	60
53	65	24	62
44	56	22	63
55	67	23	65

Žilavost V-notch pri temp. 20°

kpm/cm²: 20.4, 20.4, 22
20.0, 19.9, 16.0
16.7, 17.7, 19.1

Mehanske lastnosti čistega vara pri povišani temperaturi (200—550° C)

a) toplotna obdelava: napuščeno

Tempe °C	Meja 0.2 kp/mm ²	Meja raztezka kp/mm ²	Trdnost kp/mm ²	Raztezek %	
200	45.1	45.7	53.2	18	
	47.0	48.0	56.0		
300	41.5	43.3	51.4		
	47.2	48.1	54.6		
400	41.4	43.2	50		
	42.0	43.5	52.0		
	—	43.5	51.4		18
	—	43	51.3		18

—	43.3	51.4	18
—	44.2	53.3	18.5
—	44.4	54.0	18.5
—	44.3	53.7	18.5
—	46.2	57.6	16.0
—	38.2	55.4	19.0
—	41.2	54.1	17.0
—	49.0	59.4	20.0
—	45.0	60.0	18.0

500	29.5	35.6	40.0	—
	28.5	34.0	39.0	—
	32.0	38.0	41.5	—
550	28.0	35.0	37.6	—
	27.0	36.0	38.1	—
	—	35.5	37.9	—
	—	34.7	37.6	—
	—	34.5	38.7	—
	—	34.6	38.2	—
600	11.2	15.9	23.5	—
	12.8	17.1	24.5	—
	10.0	19.1	26.5	—

b. Toplotna obdelava: poboljšano

Temp.	Meja 0.2 kp/mm ²	Meja raztez. kp/mm ²	Trdnost kp/mm ²
500	22.3	24.5	33.4
	23.0	27.2	34.8
	24.6	29.3	34.0
600	10.5	13.2	21.5
	10.7	14.2	20.9

Mehanske lastnosti zvarnega spoja

Pločevina: Č 7401, (10 Cr 9.10) dolžina 350 mm, debelina 20 mm

Oblika zvara: V_α zvar kot 60—70°

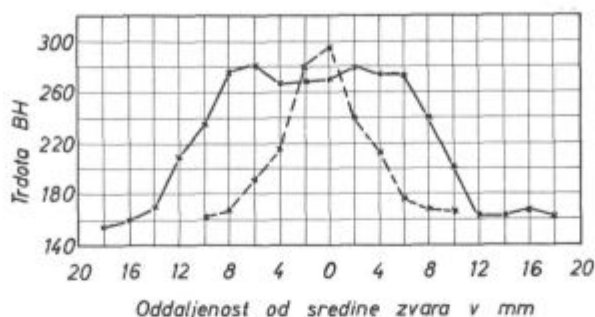
Osnovni material je bil predgret na 250° C. Varili smo pri temperaturi 250°.

Meja raztezka kp/mm ²	Trdnost kp/mm ²	Upogib (teme) stop	Upogib (koren) stop	Mesto loma
43.2	48.8	140°	140°	v osnovi
44.3	48.3	140°	140°	v osnovi
42.1	47.7	140°	140°	v osnovi
41.2	47.7	140°	140°	v osnovi

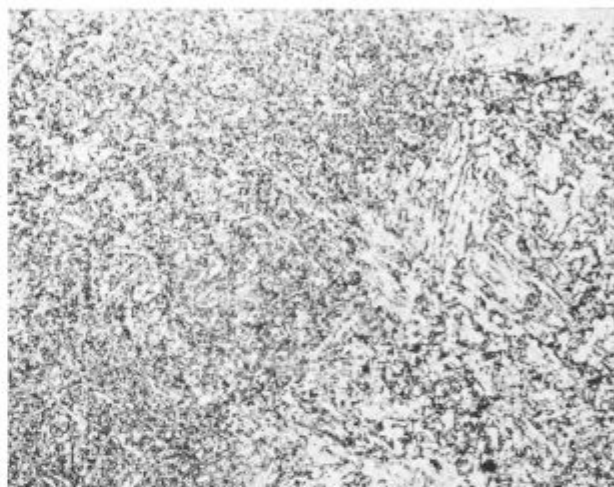
Žilavost zvarnih spojev V-notch pri temp. 20° (kpm/cm²)

a) zvar: 14.7, 11.7, 8.7, 11.7
7.5, 5.6, 5.6, 6.5

Diagram št. 3: zvarni spoj elektrode EVB — 2 Cr Mo



Struktura zvara (500:1)



Linija spajanja (200:1)

b) toplotna, vplivana cona:

16,5, 17,2, 20, 17,9
17,5, 18,7, 19,4, 18,2

Meritev trdot zvarnih spojev je podana na diagramu št. 3.

Na osnovi izvršenih preiskav so lastnosti čistega vara za omenjene elektrode sledeče:

EVB — Mo — lastnosti čistega vara

1. Orientacijska analiza

C	Si	Mn	Mo
0,08	0,50	0,08	0,50

2. Mehanske lastnosti pri temperaturi 20°

Toplotna obdelava	Meja raztez. kp/mm ²	Trdnost kp/mm ²	Raztezek %	Kontrakcija %
nežarjeno	44—54	54—64	min. 22	ca. 65
normaliz.	32—40	45—53	min. 30	ca. 70

3. Žilavost — V notch nežarjeno:

20°:	12—18 kpm/cm ²
0°:	9—14 kpm/cm ²
—20°:	7—12 kpm/cm ²
—40°:	5—10 kpm/cm ²

4. Mehanske lastnosti pri višji temperaturi (nežarjeno)

Temper. °C	Meja raztez. (0.2) kp/mm ²	Meja raztez. kp/mm ²	Trdnost kp/mm ²
200	min. 41	min. 43	min. 53
300	min. 39	min. 41	min. 51
350	min. 37	min. 39	min. 49
400	min. 34	min. 36	min. 46
450	min. 29	min. 31	min. 41
500	min. 24	min. 26	min. 36

Vrednosti se nanašajo na čisti var brez predhodne toplotne obdelave (nežarjeno) in predstavljajo minimalne vrednosti. Povprečne vrednosti so za 3—5 kp/mm² višje.

Namen uporabe:

1. Č 1206, Č 1207, Č 3133, Č 3105
(H III, H III A, 17 Mn 4, 19 Mn 5, H IV)
2. Č 7100, ČL 7130
(15 Mo 3), GS 22 Mo 4
3. Visokotrдна jekla trdnosti do 65 kp/mm²

EVB — Cr Mo — Lastnosti čistega vara

1. Orientacijska analiza

C	Si	Mn	Cr	Mo
0,08	0,45	0,80	1,20	0,5

2. Mehanske lastnosti pri temperaturi 20° C

Toplotna obdelava	Meja raztez. kp/mm ²	Trdnost kp/mm ²	Raztezek %	Zilavost V Notch kpm/cm ²
napuščeno	48—58	58—68	min. 20	12—18
poboljšano	38—48	48—58	min. 25	15—22

3. Mehanske lastnosti pri višji temperaturi napuščeno:

Temper. °C	Meja raztez. (0.2) kp/mm ²	Meja raztez. kp/mm ²	Trdnost kp/mm ²
200	min. 44	min. 46	min. 56
300	min. 42	min. 44	min. 54
400	min. 39	min. 41	min. 50
500	min. 34	min. 36	min. 44
550	min. 26	min. 30	min. 37
poboljšano:			
400	min. 25	min. 28	min. 40
500	min. 22	min. 24	min. 34
550	min. 18	min. 20	min. 27

Vrednosti so minimalne. Povprečne vrednosti so ca. 3—5 kp/mm² višje.

Napuščanje: ogrevanje na temp. 720° — z zadrževanjem na temp. 30 minut, ohlajati na mirujočem zraku

Poboljšanje: ogrevanje na temp. 930° — z zadrževanjem na temp. 30 minut, ohlajati na mirujočem zraku, ponovno ogrevati na temperaturi 720° — 30 minut in ohladiati na mirujočem zraku.

Namen uporabe:

1. Jekla z garantiranimi mehanskimi lastnostmi pri višji temperaturi za izdelavo kotlov in cevi kakor tudi enake in sorodne jeklo litine, katerih obratovalna temperatura znaša do 530° C. N. pr. Č 7400 (13 Cr Mo 44).

2. Za nizkolegirana jekla zaboljšanje in cementacijo.

EVB 2 Cr Mo — Lastnosti čistega vara

1. Orientacijska analiza

C	Si	Mn	Cr	Mo
0,08	0,45	0,70	2,3	1,0

2. Mehanske lastnosti pri temperaturi 20° C

Toplotna obdelava	Meja raztez. kp/mm ²	Trdnost kp/mm ²	Raztezek %	Zilavost V notch kpm/cm ²
napuščeno:	53—63	63—73	min. 18	min. 12
poboljšano:	43—53	54—64	min. 20	min. 15

3. Mehanske lastnosti pri višjih temperaturah (200—550°)

a. napuščeno

Temp.	Meja raztez. (0.2) kp/mm ²	Meja raztez. kp/mm ²	Trdnost kp/mm ²
200° C	min. 45	min. 47	min. 57
300	min. 42	min. 44	min. 54
400	min. 38	min. 40	min. 50
500	min. 32	min. 35	min. 43
550	min. 24	min. 28	min. 35
600	min. 12	min. 15	min. 25

b. poboljšano:

500	min. 20	min. 25	min. 33
600	min. 10	min. 13	min. 21

Vrednosti so minimalne. Povprečne vrednosti so za 3—5 kp/mm² višje.

Napuščanje: ogrevanje na temperaturi 760° C z zadrževanjem na temperaturi 30 minut, ohlajati do temp. 400° v peči in nato na mirujočem zraku.

Poboljšanje: ogrevanje na temp. 960° C in zadrževati na tej temperaturi 30 minut, ohladiti na zraku, ponovno žariti na temp. 760° z zadrževanjem na temp. 30 minut, ohlajati do temperature 400° v peči in nato na mirujočem zraku.

Namen:

Za jekla z garantiranimi mehanskimi lastnostmi pri višji temperaturi in jekla, odporna proti

atmosferi vodika, za delovne temperature do 550° C. N. pr. Č 7401 (10 Cr Mo 9.10). Čisti var je tudi odporen proti tvorbi škaže in slabo oksidirajoči atmosferi do 600° C.

2. Za parovode.
3. Za jeklolitine, enake in sorodne sestave.

PREDPIS TOPLLOTNE OBDELAVE PRI VARJENJU Z EVB — Cr Mo IN EVB 2 Cr Mo

1. Predgrevanje:

je odvisno od debeline pločevine in od vsebnosti kroma. Pri dimenziji do 12 mm predgrevamo do 200° C. Z naraščanjem dimenzije nad 12 mm ali z naraščanjem vsebnosti kroma je treba dvigniti temperaturo predgrevanja na 300—350° C. Izbrana temperatura predgrevanja mora ostati ista ves čas varjenja in se ne sme zmanjšati.

Toplotna obdelava po varjenju

Možno jo je izvesti takoj po varjenju. Na splošno se uporablja napuščno žarjenje, in to za Cr Mo jekla z 1.5 % Cr pri 720° C, za jekla z 2—5 % Cr pa pri 760° C. Čas napuščanja je odvisen od dimenzije in je ca. 1—1.5 h za vsakih 25 mm debeline. Širina napuščne cone, to je cone za toplotno obdelavo, mora znašati minimalno 6 × debelina pločevine na obe strani zvara. Vendar pa

Primerjava z drugimi proizvajalci

Jesenice	EVB Mo	EVB-CrMo	EVB-2CrMo
Oerlikon	Molykord Kb	Cromokord-Kb	Cromokord II
Böhler	FOX DMO-Kb	FOX-DCMS-Kb	FOX-CM 2 Kb
Arcos	Ductilend Mo	Chromend L-1	Chromend L 2
Kestra	Kb-Mo	Kb-Cromo	Kb-Cromo 2
Phönix	SH-Schwarz 3 K	SH-Kupfer 1	SH-Chromo 2KS
Philips-Peng	KV-2	KV-5	KV-3
Esab	OK-D2	OK-V1	OK-V2
Smit	SL-12	SL-19	SL-20
Messer Gr.	N-1K	N-2K	N-3K
Secheron	Molytherme	Cromotherme 1	Cromotherme 2

ZUSAMMENFASSUNG

Für das Schweißen warmfester Stähle werden solche Elektroden verwendet, bei denen die Zusammensetzung des Schweißgutes ähnlich der des Stahles ist. Es werden sowohl die rutilisauernden als auch die basischen Elektroden verwendet. Die Anwendung der rutilen Elektroden wird jedoch wegen der schlechteren mechanischen Eigenschaften und wegen dem höheren Wasserstoffgehalt im Schweißgut nicht empfohlen. Wenn aber diese schon angewendet werden, dann sind dem Gebrauch bestimmte Grenzen gesetzt. Es werden sonst nur basische Elektroden gebraucht. In der Elektrodenfabrik der Hüttenwerke Jesenice wurden für das Schweißen warmfester Stähle drei neue Elektroden EVB Mo, EVB Cr Mo und EVB 2 Cr Mo

ne sme biti cona, ki je podvržena toplotni obdelavi, ožja od 50 mm. Po napuščanju je potrebno material zelo počasi ohladiti na 450° C na mirujočem zraku, v peči ali pokriti z azbestom in nato na mirujočem zraku.

Zaključek:

Podani so bili rezultati preiskav čistega vara in zvarnih spojev elektrod EVB-Mo, EVB-CrMo in EVB 2 CrMo proizvodnje železarne Jesenice, namenjene za varjenje jekel, ki se uporabljajo za delovne temperature do 600° C. Iz rezultatov je razvidno, da elektrode popolnoma odgovarjajo svojemu namenu. Elektrode imajo tudi dobre varilnotehnične lastnosti in jih je mogoče uporabljati za vse položaje varjenja, razen od zgoraj navzdol. Preizkušene so bile tudi pri Zavodu za varjenje v Ljubljani in pri klasifikacijskem društvu LR—

Literatura

- Seferjanov: Metalurgija zavarivanja
 Secheron: Fachblatt für den Schweisser 1963/X
 DIN-norme: 4 Teil A — 1967
 DIN-norme: Schweisstechnische Normen 1969
 Thyssenrohr: Düsseldorf Stahl für die Chemie
 Stahl-Eisen: Werkstoffblatt 590—61

entwickelt und in den Produktionsprogramm eingeführt. Die Elektroden sind basisch mit einem Ausbringen von ca 115 %.

Im Artikel sind die Ergebnisse der Untersuchungen am Schweißgut und der Schweißnaht dieser Elektroden bei 20° C und bei den Temperaturen von 200 bis 550° C angegeben. Auch der Zweck der Anwendung ist angegeben. Zusätzlich ist zu den Untersuchungen der Elektroden auch die Technologie des Schweißens der warmfesten Stähle bei höheren Temperaturen beschrieben.

Auch eine Übersicht über die Stahlsorten der warmfester Stähle ist angegeben.

SUMMARY

Electrodes which gave similar composition of the weld as it is of the basic steel are used for welding steels with guaranteed mechanical properties at higher temperatures. Basic or rutile electrodes are used for these purposes. But rutile electrodes are not recommended due to poorer mechanical properties and higher hydrogen content in the weld. If they are used there are certain restrictions. Only basic electrodes are really recommended for welding such steels. Three new electrodes EVB Mo, EVB CrMo, and EVB 2 CrMo were introduced into the production program of Jesenice ironworks for welding

steels with guaranteed mechanical properties at higher temperatures. They are basic electrodes with about 115% yield.

In the paper investigation results of pure weld and junctions of these electrodes at 20°C and 200 to 550°C are given. Also their applicability is given. As a supplement to the electrode investigations the welding technology of steels with guaranteed mechanical properties at higher temperatures, and the review of single steel qualities are described.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для сварки стали с гарантированными механическими свойствами при высоких температурах употребляются электроды состава чистого шлага состава стали. Для этой цели можно употребить рутильные а также и основные электроды. Несмотря на это употребление рутильных электрод не рекомендуется вследствие низких механических свойств и большого содержания водорода в сварном шве, поэтому эти электроды надо употреблять с определенным ограничением.

Для сварки упомянутых марок стали рекомендуется употребление только основных электрод.

В металлургическом комбинате Есенице (Zelezarna Jesenice) взяты в программу для сварки стали с гарантированными механическими свойствами при высоких температурах три новые электрода EVB Mo, EVB Cr Mo и EVB 2 Cr Mo.

Эти электроды основного типа с выходом прибл. 115%. В статье рассмотрены результаты испытания чистой сварки и соединений этих электрод при температуре 20° и интервале 200—550° Ц.

Предложено также назначения употребления этих электрод; описан технологический способ сварки и дан обзор отдельных сортов стали.