

Dodajni material za varjenje konstrukcijskih jekel s povišano odpornostjo proti atmosferski koroziji, ki ga proizvaja železarna Jesenice

Ivan Mesec
Miha Stojan

I. UVOD

Navadna konstrukcijska jekla, ki so stalno izpostavljena delovanju atmosfere, so podvržena procesu oksidacije, kar vodi do počasnega propadanja, oziroma okvare, če jekla niso na neki način zaščitena. Najenostavnejši način zaščite takih jekel proti atmosferski koroziji je nanos raznih zaščitnih premazov na površino. Da bi pri posameznih konstrukcijah povečali ekonomičnost, obstojnost ter s tem daljšo življenjsko dobo ob istočasnem zmanjšanju stroškov vzdrževanja, so mnogi jeklarški laboratoriji poskušali ta problem rešiti z dodatki različnih legirnih elementov. Raziskave v tej smeri so pripeljale do cele vrste novih nizkolegiranih jekel, legiranih s Cu, Ni, Cr, V, P, katerih obstojnost proti atmosferski koroziji je 4–6-krat večja od navadnih konstrukcijskih jekel z istimi fizikalnimi lastnostmi. S skupnim imenom imenujemo to jeklo »jeklo s povišano odpornostjo proti atmosferski koroziji«. Vzrok povečane korozijske odpornosti je pojav, da se na površini tvori, v nasprotju z navadnimi jekli, gosta in trdno oprijeta prevleka (patina), ki nima por in ščiti jeklo pred nadaljnjo korozijo. Lahko rečemo, da jeklo ščiti samo sebe. Hitrost tvorbe zaščitne prevleke je odvisna od letnega časa, vremena in same atmosfere. Najhitrejša je v krajih z višjim SO₂ v ozračju (industrijsko področje). Proces tvorbe površinske prevleke je končan po približno dveh letih. Po tem času se proces oksidacije toliko zmanjša, da je konstrukcija lahko izpostavljena normalnim atmosferskim vplivom brez zaščitnega sloja barve ali kakega drugega zaščitnega sredstva.

Mehanizem tvorbe zaščitne prevleke do danes še ni popolnoma razjasnjen. Poznamo pa, da je zaščitni sloj bogatejši z dodanimi legirnimi elementi, kot sama osnova (jeklo) in da se po strukturi razlikuje od strukture rje navadnih jekel.

Legirni elementi, ki povišajo odpornost proti atmosferski koroziji, istočasno povečajo tudi odpornost proti obrabi in obstojnost pri višjih temperaturah.

Jekla s povišano odpornostjo proti atmosferski koroziji so žilava, se dajo dobro obdelovati in se dajo zelo dobro variti. Variti jih je možno plamen-

sko in elektroobložno, kar je osnovni pogoj njihove ekonomske uporabe. Elektroobložno jih je mogoče variti po vseh znanih postopkih varjenja: ročno, avtomatsko pod praškom (EPP), v zaščitni atmosferi (TIG, MIG, MAG) in pod žlindro (EPZ). Da bi bil zavarjeni spoj korozijsko enako odporen kot osnovno jeklo, mora biti tudi dodajni material za varjenje odgovarjajoče legiran. Normalno je dodajni material enake sestave kot osnovni, to je legirana s Cu, Ni (Cr). Pri tem mora vsota Cu + Cr + Ni + V + P znašati minimalno 1 %. Uporablja pa se tudi dodajni material, legiran samo z Ni v območju 1–2,5 % Ni, odvisno od kvaliteten zahtev vara. Danes so na razpolago in v uporabi legirani dodajni materiali že za vse postopke varjenja. Legirni dodajni material je nujno uporabljati predvsem pri večslojnem varjenju. Pri enoslojnem varjenju (I zvan) pa ta zahteva ni tako nujna in je možno variti tudi z nelegiranim dodajnim materialom. Zaradi velikega mešanja z osnovo dobimo v var zadosti legirnih elementov in s tem zadovoljivo korozijsko obstojnost.

Pri večslojnem varjenju večjih dimenzij je tudi ekonomično prve sloje variti z nelegiranim dodajnim materialom, zadnje površinske pa z legiranim. Nelegiran dodajni material se lahko uporablja tudi v primerih, ko konstrukcija ni izpostavljena atmosferski koroziji.

Zaradi povišane odpornosti proti atmosferski koroziji se ta jekla uporabljajo predvsem pri gradnji hal, mostov, cevovodov, oljnih tankov, oblog fasad ter v avtomobilski in vagoni industriji. Zaradi velike ekonomičnosti pa se uporabljajo vedno več tudi pri izgradnji industrijskih objektov.

Danes poznamo že več vrst teh jekel, ki so na trgu z različnimi komercialnimi imeni, kot npr.:

COR — TEN A, B, C
Patinax 37 (HOAG)
Resista (Hoesch)
Korralpin (Alpina)
Alcodur (Böhler)
A cor 37
A cor 50
itd.

Istočasno je za varjenje na razpolago odgovarjajoči dodajni material za naslednje namene:

1. Rutilne elektrode — za nižje kvalitetne zahteve in za varjenje kotnih varov
2. Bazične elektrode — za višje kvalitetne zahteve
3. Žice in praški za avtomatsko EPP varjenje
4. Žice za varjenje v zaščitni atmosferi po TIG, MIG in MAG postopku
5. Polnjena žica za varjenje po MIG in MAG postopku.

II. JEKLA IN DODAJNI MATERIAL PROIZVODNJE ŽELEZARNE JESENICE

V vrsti novih konstrukcijskih jekel, ki jih proizvaja Železarna Jesenice, se nahajajo tudi jekla s povišano odpornostjo proti atmosferski koroziji. Za te namene proizvajamo naslednje kvalitete jekel: Je-Kor, Nionical 40, Nionical 45 (Tabela št. 1).

Navedena jekla so ca. 4-krat bolj odporna proti atmosferski koroziji kot fizikalno enakovredna navadna jekla.

Jeklo kvalitete Je-Kor se uporablja za manj zahtevne konstrukcije, katerih debelina ne presega 10 mm. Jeklo kvalitete Nionical 40 in Nionical 45 se lahko uporabi tudi za bolj obremenjene konstrukcije, ki morajo imeti povečano odpornost

proti atmosferski koroziji in istočasno visoko žilavost pri normalni in nizkih temperaturah. Za varjenje teh jekel je na razpolago lastni dodajni material, in to:

1. Elektrode za ročno obločno varjenje: EVB CuNi, EVB Ni
2. Žica in praški za avtomatsko EPP varjenje:
Žica: EPP 2 CuNi, EPP 2 Ni
Praški: EP 40, EP 45, OP 40 TT
3. Varilne žice za varjenje v zaščitni atmosferi CO₂:
VAC 60 CuNi VAC 60 Ni
4. Polnjena žica za varjenje v zaščitni atmosferi CO₂:
Fluxofil 40
Fluxofil 48

Kemijske in fizikalne lastnosti posameznih dodajnih materialov so podane v tabeli št. 2.

III. VARILNO TEHNOLOŠKE RAZISKAVE

Z ustreznim dodajnim materialom je raziskovalni oddelek Železarne Jesenice omenjena jekla že varilno tehnološke preiskal.

Izvršeni so bili številni preizkusi vpliva vrste dodajnega materiala, pogojev varjenja, dovedene energije in priprave žlebov.

Tabela št. 1: Lastnosti jekel

1. Kemijska sestava

Kvaliteta		C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu
Je-Kor	max.	0.14	0.50	0.40	0.50	0.50	0.40 %
Nionical 40	max.	0.18	0.40	0.70	0.50	0.50	0.35 %
Nionical 45	max.	0.19	0.40	0.70	0.50	0.60	0.35

2. Mehanske lastnosti (pločevine)

Kvaliteta	meja raztez. (kp/mm ²)	trdnost (kp/mm ²)	raztezek 5 d %	upogib vzdolž.	upogib prečno
Je-Kor	35	50—65	min. 20	2 a	3 a
Nionical 40	40	50—65	min. 20	2 a	3 a
Nionical 45	45	55—70	min. 20	3 a	4 a

3. Žilavost

Kvaliteta	smer	nestarano (V-Notch) kpm/cm ²				starano 5 % (DVM) kpm/cm ²	
		20	0	-20	-40	20	0
Je-Kor	vzdolžno	6	6	—	—	3.5	—
	prečno	6	6	—	—	3.5	—
Nionical 40	vzdolžno	6	6	6	5	6	5
	prečno	6	6	5	4	5	—
Nionical 45	vzdolžno	6	6	5	3.5	5	4
	prečno	6	6	5	4	6	—

Tabela št. 2 — Lastnosti dodajnih materialov

1. Lastnosti varilnih žic (kemijska sestava)

vrsta varilne žice	C	Si	Mn	Cu	Ni
EPP 2 CuNi	0.10	0.20	1.10	0.45	0.55 %
EPP 2 Ni	0.09	0.20	1.0	—	1.10 %
VAC 60 CuNi	0.10	0.85	1.5	0.5	0.5 %
VAC 60 Ni	0.09	0.70	1.50	—	1.05 %

2. Lastnosti čistih varov

vrsta dodajnega materiala	kemijska analiza					mehanske lastnosti			žilavost V' — Notch (kpm/cm ²)				
	C	Si	Mn	Cu	Ni	meja raz. kp/mm ²	trdnost kp/mm ²	raztez. L5d %	minimalno				
									20	0	-20	-40	-60
EVB CuNi	.07	.50	.90	.45	.60	47—55	55—63	22—26	14	10	8	7	5
EVB Ni	.06	.50	.95	—	1.10	50—58	58—66	22—26	14	12	10	8	6
EPP 2 CuNi/EP 40	.08	.25	1.25	.45	.50	45—55	55—65	22—28	12	8	6	5	4
EPP 2 CuNi/EP 45	.07	.40	.70	.45	.50	42—52	52—62	22—28	12	8	6	4	—
EPP 2 CuNi/OP 40 TT	.06	.30	.80	.45	.50	42—50	52—60	22—26	14	12	10	8	6
EPP 2 Ni/EP 40	.08	.25	1.25	—	1.0	45—55	55—65	22—26	12	8	6	5	4
EPP 2 Ni/EP 45	.08	.40	.70	—	1.0	42—52	52—62	22—28	12	8	6	4	—
EPP 2 Ni/OP 40 TT	.06	.30	.80	—	1.0	42—50	52—60	22—26	14	12	10	8	6
VAC 60 CuNi/CO ₂	.09	.55	1.0	.5	.5	44—54	55—65	22—30	10	8	6	4	—
VAC 60 Ni/CO ₂	.08	.45	1.0	—	—	45—52	57—64	22—30	10	8	6	4	—
Fluxofil 40/CO ₂	.06	.30	1.40	—	1.2	48—54	56—62	24—28	18	16	12	8	4
Fluxofil 48/CO ₂	.06	.30	1.20	.5	1.2	48—54	50—62	22—26	18	16	12	8	4

Rezultati preiskav so naslednji:

Jekla Nionical 40, Nionical 45 in Je-kor 35 se dobro varijo. Pred varjenjem predgrevanje do debeline 15 mm ni potrebno, kar velja še posebno za jeklo Nionical 45. Nad debelino pločevine 15 mm je priporočljivo predgrevanje na 100° C. Med varjenjem naj se pločevina ne pregreva, po vsakem varku se mora okolica vara ohladiti do 200° C. Zaželjeno je variti s čim več vankov, če hočemo dobiti dobro žilavost pri nizkih temperaturah.

Preiskave so bile izvršene tudi na staranih vzorcih. Med varjenjem naj se oblok čim manj prekinja.

Pogoji varjenja:

a) Pri ročnem varjenju z elektrodo je potrebno koren variti z elektrodo \varnothing 3,25 mm, nato z \varnothing 4 mm in polnilne varke z elektrodo \varnothing 5 mm. Za vertikalno in nadglavno lego se uporablja premer elektrode 4 mm. Ugodno je variti s sledečimi pogoji:

\varnothing 3,25 mm	100 A	10 cm/min.
\varnothing 4 mm	165 A	10 cm/min.
\varnothing 5 mm	220 A	15—20 cm/min.

Suhe elektrode naj bodo pred uporabo ogrete na temperaturo 100—150° C.

b) Pri polavtomatskem varjenju v zaščitnem plinu CO₂ naj se vari z žico premera \varnothing 1,2 mm s tokom 180—220 A, napetostjo 30 V ter hitrostjo varjenja 10—25 cm/min pri pretoku plina 16 l/min. Če hočemo doseči še boljše mehanske lastnosti, varimo v mešanici plinov Ar/CO₂ 80 : 20, kar velja še posebno za jeklo Nionical 45.

c) Pri avtomatskem varjenju pod praškom varimo korenski var s tokom 580 A, napetostjo 35 V in hitrostjo varjenja 40 cm/min. Vlažen prašek je potrebno pred uporabo sušiti na 200° C. S praškom EP 40 in EP 45 lahko varimo z izmeničnim ali istosmernim tokom. Boljše rezultate dobimo z istosmernim tokom. Tudi pri tej vrsti varjenja velja,

Tabela št. 3 — Je-Kor 35, debelina 10 mm, V zvar

vrsta dodajnega materiala	meja razt. kp/mm ²	trdnost kp/mm ²	upogib D = 3 a	minimalna žilavost mkp/cm ² , 0° C, v zvaru		Trdota HV	
				varjeno stanje	V-Notch mkp/cm ² starano 5 %, 250° C	TVC	var
EVB 60 CuNi	40	55	180	12—16	5—10	230	210
EPP 2 CuNi - EP 40	42	57	180	7—9	4—6	250	200
VAC 60 CuNi/CO ₂	40	54	180	8—10	6—8	250	210

da z večjim številom varkov dobimo boljše mehanske lastnosti.

Po varjenju je koristno počasno ohlajanje posebno v hladnejšem vremenu. Priprava robov za varjenje je lahko plamenska s sekatorjem, na škarjah ali skobelnem stroju. Za večje debeline je priporočljivo, pri plamenskem rezanju, predhodno predgrevanje. Običajno varimo pločevino različne debeline z naslednjim številom varkov:

6 mm	I var	2 varka
10—15 mm	V var	4—6 varkov
nad 15 mm	2/3 X var	nad 6 varkov

Površina pločevine na mestu varjenja mora biti čista. Spenjanje pred varjenjem naj bo z odgovarjajočo elektrodo. Pri večjih debelinah pločevine mora biti uvedeno predgrevanje, kar velja še posebno za jeklo Nionical 45.

V tabelah št. 3, 4, 5 so navedene minimalne mehanske vrednosti zvarnega spoja, ki jih dobimo na zvarjenih vzorcih z ustreznim dodajnim materialom.

Na osnovi dobljenih rezultatov je razvidno, da je za varjenje pri temperaturah do 0° C možno uporabiti vse navedene kombinacije, ki so podane v tabelah.

Pri nižjih temperaturah pa se za posamezne temperaturne zahteve priporoča uporaba naslednjega dodajnega materiala:

1. Za zahteve do —40° C:

EVB CuNi	VAC 60 CuNi/CO ₂
EPP 2 CuNi (EP-40 EP 45)	VAC 60 Ni/CO ₂
EPP 2 Ni (EP 40 EP 45)	Fluxofil 48/CO ₂

2. Za zahteve do —60° C:

EVB Ni
EPP 2 Ni/OP 40 TT
VAC 60 Ni/meš. plini
Fluxofil 40/meš. plini

Opomba:

a) Za potrebe, kjer ni potrebno, da so jekla antikorozijsko odporna, se lahko uporabi tudi dodajni material, ki ni legiran s Cu, Ni kot npr. EVB 50, EVB 60, EPP 3, VAC 60.

b) Elektrode EVB CuNi, EVB Ni ter varilne žice EPP 2 CuNi, EPP 2 Ni, VAC 60 CuNi, VAC 60 Ni proizvajamo v lastni proizvodnji.

c) Praški EP 40 in EP 45 so taljeni praški. Proizvajamo jih v lastni proizvodnji in so namenjeni za kvalitetne zahteve varov do —20° C, oziroma —40° C. Prašek OP 40 TT je aglomeriran in je namenjen za kvalitetne zahteve do —60° C. Trenutno še ni v lastni proizvodnji, temveč ga dobavljamo na osnovi kooperacije s firmo Oerlikon. Zato je za njegovo nabavo potrebno daljše predhodno naročilo po dogovoru. Isto velja tudi za polnjeno žico Fluxofil 48 in Fluxofil 40.

Tabela št. 4 — Nionical 40, debelina 10 mm, »V« zvar

vrsta dodajnega materiala	meja razt. kp/mm ²	trdnost kp/mm ²	upogib D = 3 a	minimalna žilavost mkp/cm ² , 0° C, v zvaru				maksimalna trd. HV	
				varjeno	starano 5 % 250° C	žarjeno 580° C 3h peč	žarj. + star.	TVC	var
EVB 60 CuNi	42	58,5	180	12—15	5—8	10—12	6—9	240	220
EVB 60 Ni	43	58,2	180	15—20	9—12	12—14	8—10	240	220
EPP 2 Ni — EP 40	44,2	60,6	180	8—10	4—6	6—8	3,5—5	230	210
EPP 2 CuNi — EP 40	42,0	58,0	180	7—9	3,5—5	4—6	3,5—5	250	220
VAC 60 CuNi/CO ₂	42,5	60,5	180	8—10	6—8	6—8	8—10	250	210
VAC 60 Ni/CO ₂	42,0	60,7	180	8—14	8—10	8—10	4—6	250	230

Tabela št. 5 — Nionical 45, 12 mm, V zvar

vrsta dodajnega materiala	meja razt. kp/mm ²	trdnost kp/mm ²	upogib D = 3 a	minimalna žilavost mkp/cm ² , 0° C, v zvaru				maksimalna trdota	
				varjeno	starano 5 % 250° C	žarjeno 580° C 3h	žarj. + star.	TVC	var
EVB 60 CuNi	47	62	180	12—14	10—12	8—10	6—9	300	250
EVB 60 Ni	50	63	180	18—18	10—12	8—10	8—10	320	240
EPP 2 Ni — EP 40	48	64	180	8—10	6—8	4—6	4—6	280	220
EPP 2 CuNi — EP 40	46	62	180	7—9	4—6	3,5—5	3,5—5	260	220
VAC 60 CuNi/CO ₂	45	60	180	7—9	6—8	4—6	4—6	300	250
VAC 60 Ni/CO ₂	50	62	180	8—12	8—10	4—6	4—6	320	260