

# Tehnične novice

## Preiskave zvarjenih spojev na pločevini Nioval 47

Stojan Mihael

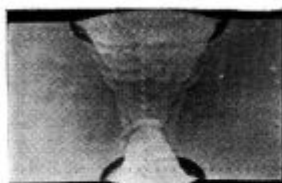
Proizvodnja fino zrnatih mikrolegiranih jekel v Železarni Jesenice že dosegla tak obseg in kvaliteto, da se poraja zahteva po proučevanju uporabnih lastnosti teh jekel. Ena izmed zelo važnih lastnosti je dobra varivost teh jekel in ker razvoj dodatnega materiala stalno napreduje, moramo za uvajanje v prakso določiti in podati rezultate, ki potrošnika najbolj zanimajo. Jeklo Nioval 47 je mikrolegirano konstrukcijsko jeklo s povišano mejo plastičnosti z nazivno vrednostjo 47 kp/mm<sup>2</sup> in dobro žilavostjo. Enako dobre vrednosti želimo doseči tudi v zvarnem spoju. Ker predpisano trdnost zvarjenega spoja lahko dosežemo bodisi pri ročnem varjenju z elektrodo ali z avtomatskim varjenjem pod praškom, jo v tem članku ne bomo navajali. Zanimiva pa je žilavost zvarjenega spoja, kajti pogosto se izdeluje iz pločevine Nioval 47 objekte, kjer je žilavost velike važnosti, posebno še pri nizkih temperaturah.

### 1. Ročno varjenje z elektrodo

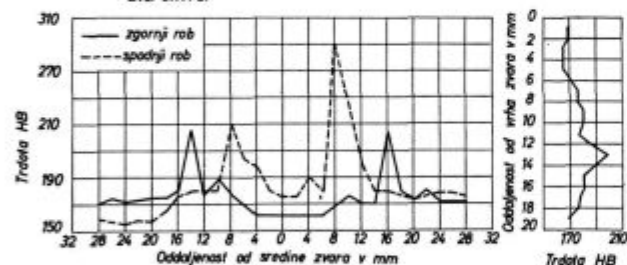
Priprava robov pločevine vzorcev je bila strojna in sicer za 15 mm »V« zvar s kotom 60°. Robovi ob korenu so ostri. Do debeline 10 mm ni potrebno predgrevanje, za večje debeline pa je pripravljeno predgrevanje od 150 do 200° C, odvisno od debeline. Te temperature predgrevanja so bile določene računsko in praktično. Po zavaritvi zvarni spoj izpostavimo različnim toplotnim obremenitvam, da lahko tako določimo, oziroma damo podatke o najrazličnejših pogojih pod katerimi se zvar nahaja. Rezultati žilavosti so v varjenem stanju, staranem stanju (5 % hl. defor., 1/2 ure na 250° C), napetostno žarjenje (580° C s hitrostjo ogrevanja 80°/h), napetostno žarjenje in staranje obenem. Po zavaritvi so vzorci počasi ohlajeni na zraku.

### Rezultati z elektrodo EVB Ni:

V vodoravni legi je uporabljena elektroda Ø 3,25 mm za korenske varke, za ostale varke pa Ø 5 mm. Pri ver-



Zvar št.: A 21



Slika 1

Prečni presek preko zvara izvedenega ročno z elektrodo EVB Ni in potek trdot

Stojan Mihael je diplomirani inženir metalurgije in strokovni sodelavec v raziskovalnem oddelku Železarne Jesenice

tikalnem in nadglavnem položaju varjenja pa so polnilni varki iz elektrode premera 4 mm.

Varilni pogoji za elektrode:	Ø 3,25	Ø 4	Ø 5 mm
Jakost toka A	110—130	130—175	220
Napetost toka V	20	22	24
Hitrost varjenja cm/min	10	12—15	25—30

Med varjenjem je potrebno držati temperaturo varjenja 200° C. Varjenje je bilo izvršeno z istosmernim tokom na agregatu Elin.

### Žilavost V-Notch [J] — zarez v zvaru

vodoravna lega	temperatura preizkušanja °C				
	+20	0	-20	-40	-60
VS stanje	155	136	120	126	86
VS - 5	144	123	113	48	35
NS	158	142	130	122	92
NS - 5	149	106	92	86	28

### vertikalna lega varjenja

VS	144	132	125	130	86
VS - 5	94	66	57	45	27
NS	134	102	94	86	66
NS - 5	126	78	46	26	25

### nadglavna lega varjenja

VS	156	152	156	125	108
VS - 5	112	102	98	92	70
NS	158	150	152	123	140
NS - 5	142	122	123	116	48

VS: varjeno stanje

VS - 5: varjeno stanje + 5 % starano

NS: napetostno žarjeno 580° C

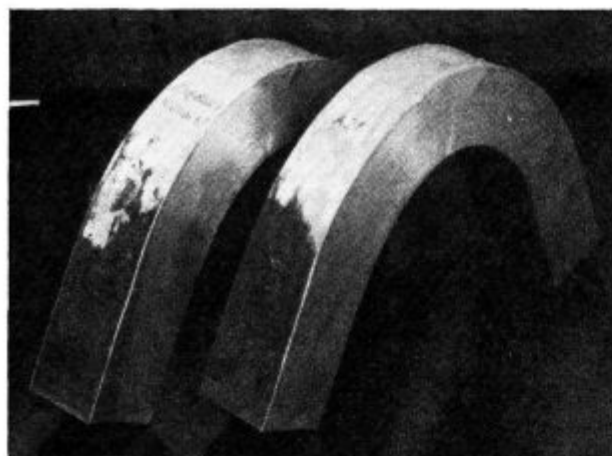
NS - 5: napetostno žarjeno 580° C + 5 % starano

### Žilavost V-Notch [J] zarez v prehodni coni

vodoravna lega varjenja	temperatura preizkušanja °C				
	+20	0	-20	-40	-60
VS	102	92	62	39	31
VS - 5	94	66	42	33	28
NS	96	66	45	34	30
NS - 5	57	37	32	28	27

Poleg žilavosti si oglejmo še porazdelitev trdot preko zvara na pločevini debeline 35 mm (slika 1).

Maksimalne trdote v prehodni coni so v mejah dovoljene na obeh straneh zvara. Sredina vara se po trdoti zelo ujema z osnovnim materialom, torej je elektroda EVB Ni zelo primerna kot dodatni material pri varjenju jekla Nioval 47.



Slika 2  
Upogib zvara izvedenega ročno z elektrodo EVB Ni

Tudi upogibni preizkus da dobre rezultate, torej je zvar dovolj plastičen tako v prehodni coni, kot v varu.

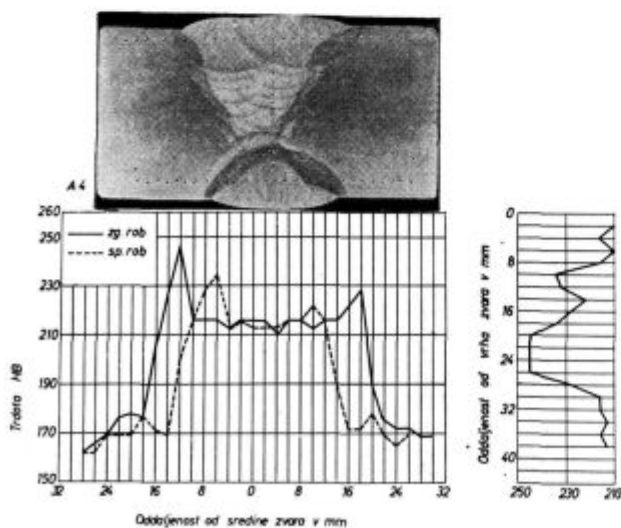
Na debelini pločevine 15 mm pri obliki žleba »V« je potek trdot preko zvara podoben. Razlika je samo v tem, da se na strani korenskega varka v prehodni coni pojavijo trdote do 320 HB z razliko od temenske strani, kjer je maksimalna trdota prehodne cone do 250 HB.

2. Avtomatsko varjenje pod praškom

Najprimernejši taljeni prašek za avtomatsko varjenje jekla Nival 47 je EP 40 ob dodatku različnih vrst žic, odvisno od zahtev in namenov uporabe. Rezultati žilavosti veljajo za žice EPP 3, EPP 2 Mo, EPP 2 Ni. Priprava robov pločevine je strojna. Na debelini pločevine 35 mm je 2/3 x s kotoma 60° in nosom 4 mm. Glede predgrevanja in ohlajanja je isto kot pri ročnem varjenju z elektrodo. Vzorci so bili varjeni z izmeničnim tokom.

Varilni pogoji za žico premera 4 mm:

	korenski var	polnilni varki
Jakost toka A:	580	640
Napetost V:	32	35
Hitrost varjenja cm/min.:	45	60



Slika 3  
Prečni presek preko zvara izvedenega z avtomatskim varjenjem pod praškom z žico vrste EPP 2 Ni

Žilavost V-Notch [J] — zarez v zvaru

EPP 3	temperatura preizkušanja °C				
	+20	0	-20	-40	-60
VS	110	74	65	59,6	48
VS - 5	92	44	28	19,6	25,5
NS	88	66	34,5	33	31
NS - 5	68	42	27,5	15,6	14

EPP 2 Mo					
VS	74	50	36	31	23,5
VS - 5	43	31	27,5	15,6	14
NS	55	46,8	33	32,5	23
NS - 5	40,5	36,8	27	25,5	12

EPP 2 Ni					
VS	123	84	73	66,5	36,5
VS - 5	117	74	65	47	27
NS	103	80	66	55	36,8
NS - 5	104	76	68	50	27,4

Žilavost V - Notch [J] zarez v prehodni coni

EPP 3	temperatura preizkušanja °C				
	+20	0	-20	-40	-60
VS	62	61	27,5	15,7	6,2
VS - 5	31	28	23,5	11,8	4,7

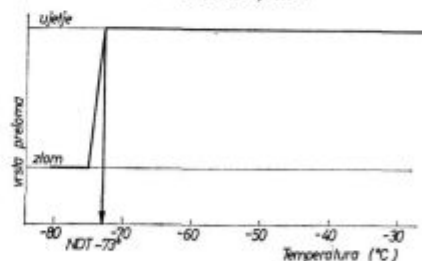
EPP 2 Mo					
VS	65	62	41	31	18,8
VS - 5	35	27,5	26,5	15,5	7,8

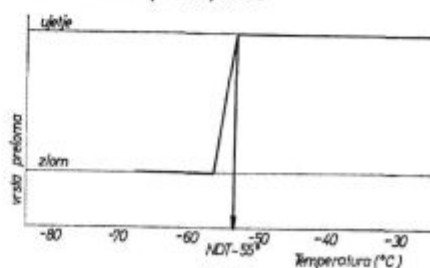
EPP 2 Ni					
VS	78	65	39	35	18,8
VS - 5	43	31	27	25	15,3

Rezultati žilavosti prehodnih con sozeti iz diagramov žilavosti po Čabelki in sicer najnižje vrednosti v prehodni

791 - prehodna cona Nival 50, 35mm, EVB Ni



792 - zvar Nival 50, 35mm, EVB Ni



Slika 4  
Drop Weight test, vzorec zavarjen ročno z elektrodo EVB Ni

coni. Pri debelini 15 mm se žilavosti skoraj povsem ujemajo z rezultati iz pločevine debeline 35 mm. Vzorci za žilavost so vzeti na temenski strani zvara.

Pri avtomatskem varjenju pod praškom pri vseh treh vrstah žic EPP 3, EPP 2 Mo in EPP 2 Ni dobimo skoraj enake rezultate za vrednosti trdot v zvaru. Maksimalna trdota v prehodni coni ne presega 280 HB. Najugodnejši potek trdot pa se pojavlja na zvaru varjenem z žico EPP 2 Ni. (slika 3).

Na debelini 15 mm so trdote pri obliki žleba »V« na korenski strani nekoliko višje, vendar ne presegajo 340 HB v prehodni coni.

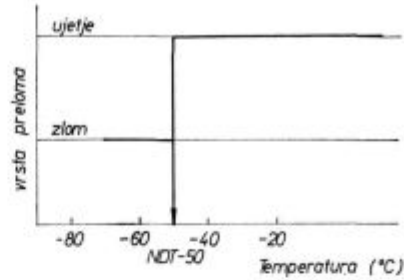
#### *Nagnjenost zvara in prehodne cone napram krhkosti in razširjanju krhkega loma*

Za kriterij določanja odpornosti nekega zvarnega spoja proti dinamičnim obremenitvam je važen podatek o nagnjenosti zvara in prehodne cone napram krhkosti in razširjanju krhkega loma. Te lastnosti ocenjujemo po Drop weight testu in Pellinjevi teoriji. Določamo NDT temperaturo, ki podaja tisto temperaturo, pri kateri vzorec še ravno krhko počí. Razlika med NDT (Nil Ductility Transition) in CAT (Crack Arresting temperature) temperaturo je v diagramu Pellinija ca. 33° C. Zato lahko rečemo, da v primeru, če leži delovna temperatura varjenja 30° C in več nad NDT, ni nevarnosti, da bi nastopil krhki lom.

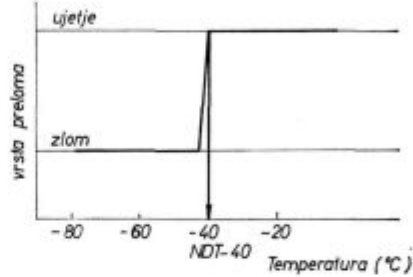
V diagramih 4, 5, podajamo rezultate za ročno varjenje vzorca z elektrodo EVB Ni in avtomatsko varjene vzorce pod praškom EP 40 in žico EPP 2 Ni.

Omenjeni rezultati so le delni korak k namenu železarne, da v bodoče obdela in poda industriji podatke o varivosti mikrolegiranih jekel s povišano mejo plastičnosti. Objava rezultatov naj bo v bodoče naša vsakdanja praksa.

*zvar, Nival 43, 35mm, EPP2Ni, EP40*



*prehodna cona, Nival 47, 35mm, EPP2Ni, EP40*



Slika 5

**Drop Weight test vzorec zavarjen avtomatsko pod praškom EP 40 in žico EPP 2 Ni**