

# ŽELEZARSKI ZBORNIK

VSEBINA

	Stran
Arh Joža — Zelezarna Jesenice UVAJANJE PREPIHOVANJA JEKLENE TALINE V PONVI S PLINASTIM ARGONOM . . . . .	1
Gabrovšek Marin — Zelezarna Jesenice MIKROLEGIRANA FINOZRNATA JEKLA ZA VARJENE KONSTRUKCIJE . . . . .	11
Gabrovšek M., M. Stojan — Zelezarna Jesenice PROBLEMATIKA VARJENJA FINOZRNATIH MIKROLEGIRANIH JEKEL . . . . .	25
Stocca Bogdan — Zelezarna Jesenice VZROKI SLABE PLASTICNOSTI JEKEL TIPA 18/8 . . . . .	35
Kejžar Rajko — Zelezarna Jesenice UPORABNOST IN NACIN VARJENJA S SPECIALNO BAZICNO OPLASCENO ELEKTRODO B-KOR TIFON . . . . .	47

LETO 6 ŠT. 1 1972  
ŽEZB BQ 6 (1) 1-63 (1972)



## VSEBINA

	Stran
Arh Joža — Železarna Jesenice	
<b>Uvajanje preplhovanja jeklene taline v ponvi s plinastim argonom . . . . .</b>	<b>1</b>
DK: 669.18:669.046.558.8 621.746.32.01	
ASM/SLA: D5g, D8p, EGm36	
Gabrovšek Marin — Železarna Jesenice	
<b>Mikrolegirana finožrnata jekla za varjene konstrukcije . . . . .</b>	<b>11</b>
DK: 669.15-194:669.26'24'	
ASM/SLA: AYn	
Gabrovšek M., M. Stojan — Železarna Jesenice	
<b>Problematika varjenja finožrnatih mikrolegiranih jekel . . . . .</b>	<b>25</b>
DK: 669.15-194:669.293'292:621.791.7	
ASM/SLA: K9n, AYn	
Stocca Bogdan — Železarna Jesenice	
<b>Vzroki slabe plastičnosti jekel tipa 18/8 . . . . .</b>	<b>35</b>
DK: 669.14.018.8	
ASM/SLA: F216, Q23p, SSe	
Kejžar Rajko — Železarna Jesenice	
<b>Uporabnost in način varjenja s specialno bazično oplasčeno elektrodo B-KOR Tifon . . . . .</b>	<b>47</b>
DK: 621.791.742.41	
ASM/SLA: K1a	

# INHALT

	Seite
Arh Joža — Železarna Jesenice	
<b>Erfahrungen bei der Einführung der Spülgasbehandlung des Stahles in der Giesspfanne . . . . .</b>	<b>1</b>
DK: 669.18:669.046.558.8 621.746.32.01	
ASM/SLA: D5g, D8p, EGm36	
Gabrovšek Marin — Železarna Jesenice	
<b>Mikrolegierte Feinkornbaustähle für geschweisste Konstruktionen . . . . .</b>	<b>11</b>
DK: 669.15-194:669.26'24'	
ASM/SLA: AYn	
Gabrovšek M., M. Stojan — Železarna Jesenice	
<b>Probleme der Schweissbarkeit der mikrolegierten Feinkornbaustähle . . . . .</b>	<b>25</b>
DK: 669.15-194:669.293'292:621.791.7	
ASM/SLA: K9n, AYn	
Stocca Bogdan — Železarna Jesenice	
<b>Ursachen der schlechten Verformbarkeit der Austenitischen Cr-Ni Stähle des Types 18/8 . . . . .</b>	<b>35</b>
DK: 669.14.018.8	
ASM/SLA: F216, Q23p, SSe	
Kejžar Rajko — Železarna Jesenice	
<b>Anwendungsbereich und Schweissverfahren mit der speziellen basischen umhüllten stabelektrode B-KOR Tifon . . . . .</b>	<b>47</b>
DK: 621.791.742.41	
ASM/SLA: K1a	

## CONTENTS

	Page
Arh Joža — Železarna Jesenice	
<b>Introduction of blowing steel melt in ladle by gaseous argon . . . . .</b>	<b>1</b>
DK: 669.18:669.046.558.8 621.746.32.01	
ASM/SLA: D5g, D8p, EGm36	
Gabrovšek Marin — Železarna Jesenice	
<b>Microalloyed fine grained steels for welded structures . . . . .</b>	<b>11</b>
DK: 669.15-194:669.26'24'	
ASM/SLA: AYn	
Gabrovšek M., M. Stojan — Železarna Jesenice	
<b>Problems in welding fine grained micro- alloyed steels . . . . .</b>	<b>25</b>
DK: 669.15-194:669.293'292:621.791.7	
ASM/SLA: K9n, AYn	
Stocca Bogdan — Železarna Jesenice	
<b>Reasons for bad plasticity of 18/8 steel . .</b>	<b>35</b>
DK: 669.14.018.8	
ASM/SLA: F216, Q23p, SSe	
Kejžar Rajko — Železarna Jesenice	
<b>Usability and welding with special basic lined B-KOR tifton electrode . . . . .</b>	<b>47</b>
DK: 621.791.742.41	
ASM/SLA: K1a	

## СОДЕРЖАНИЕ

Arh Joža — Železarna Jesenice

**Введение продувания расплава стали с газом Аргона в ковше. . . . .** 1

DK: 669.18:669.046.558.8

621.746.32.01

ASM/SLA: D5g, D8p, EGm36

Gabrovšek Marin — Železarna Jesenice

**Микролегированные мелко-зернистые стали для сваривания конструкций. . . . .** 11

DK: 669.15-194:669.26'24'

ASM/SLA: AYn

Gabrovšek M., M. Stojan — Železarna Jesenice

**Проблематика сваривания мелкозернистых микролегированных сталей. . . . .** 25

DK: 669.15-194:669.293'292:621.791.7

ASM/SLA: K9n, AYn

Stocca Bogdan — Železarna Jesenice

**Причины плохой пластичности стали марки 18/8 . . . . .** 35

DK: 669.14.018.8

ASM/SLA: F216, Q23p, SSe

Kejžar Rajko — Železarna Jesenice

**Применимость и способ сваривания с специальным электродом с основной оболочкой В-KOR Tifon. . . . .** 47

DK: 621.791.742.41

ASM/SLA: K1a

Joža Arh, dipl. inž.  
Železarna Jesenice

DK: 669.18:669.046.558.8  
621.746.32.01  
ASM/SLA: D5g, D8p, EGm36

## Uvajanje preprihovanja jeklene taline v ponvi s plinastim argonom\*

*Preprihovanje jekla s plinastim argonom ali dušikom v ponvi se v proizvodnji jekla zelo hitro širi. Postopek je enostaven, prednosti pa so očitne. V prvi vrsti se jeklo s preprihovanjem homogenizira po sestavi in temperaturi. Možna je točna nastavitvev livne temperature, razen tega se jeklo do neke mere tudi očisti nekovinskih vključkov. Kakšne rezultate smo dosegli pri uvajanju tega postopka v Železarni Jesenice, podaja to poročilo.*

### UVOD

Pri izdelavi se jeklo nujno onečisti tudi z nekovinskimi vključki. Temu se ne moremo izogniti. Vključki pa lahko poslabšajo kvaliteto in fizikalne lastnosti jekla do take mere, da za določene namene ni več uporabno. Danes komaj še dosegamo vedno strožje zahteve po večji čistoči jekla z normalnimi postopki izdelave. Jeklarji so torej postavljeni pred težko nalogo, kako izdelati čim čistejše jeklo. Pri teh prizadevanjih imajo v osnovi na razpolago dve možnosti:

1. izločanje vzrokov za nastanek vključkov pred dezoksidacijo. Tukaj si pomagajo z vakuumsko metalurgijo, ki pa je zelo draga.

2. izboljšati je treba pogoje za izločanje nastalih vključkov po dezoksidaciji. To drugo pa nam omogoča preprihovanje jekla z inertnimi plini v ponvi.

Preprihovanje jekla z argonom je kot tehnološka faza v proizvodnji jekla v svetu že močno razširjeno in pri izdelavi kvalitetnih jekel vseh splošno v rabi. Preprihovanje jeklene taline z argonom v ponvi nam nudi nekatere prednosti degazacije jekla, oz. čiščenja (zmanjšanje količine oksidnih vključkov) je pa mnogo cenejše in enostavnejše. Te prednosti pa so v kratkem naslednje:

— zaradi mešanja in izpiranja taline se pospešuje kinetika dezoksidacijskih postopkov

— mešalni in flotacijski učinek izpiranja pospešujeta skepljanje in izločanje oksidov

— dosežemo boljši izkoristek zlitinskih elementov, predvsem tistih z visoko afiniteto do kisika, če jih dodamo po dezoksidaciji in med izpiranjem z Ar

— hitro se doseže homogenizacija taline v ponvi po temperaturi in sestavi

— temperature jekla so lahko zaradi homogenosti in spremenjene viskoznosti nižje

V predloženem poročilu bomo obravnavali rezultate in izkušnje, ki smo jih pridobili na nekaj več kot 100 šaržah, ki smo jih v ponvi obdelali z argonom in delno tudi z dušikom.

### TEORETIČNE OSNOVE DEGAZACIJE IN DEZOKSIDACIJE JEKLA

Načeloma je možno s preprihovanjem jekla z inertnimi plini doseči znižanje kisika, vodika in dušika.

Degazacijska, oziroma dezoksidacijska reakcija  $FeO + C = Fe + CO$  lahko teče le, če je parcialni pritisk CO, ki je proporcionalen produktu prostega ogljika in kisika v talini večji od vsote barometriškega pritiska, ferostatičnega pritiska in kapilarnega nadpritiska. Po drugi strani pa je CO reakcija tudi omejena s količino nuklijev, t.j. žarišč nastajanja CO. Če pade  $P_{CO}$ , se zmanjšuje število nuklijev in reakcija zamre.

Te omejitve pri dezoksidaciji z ogljikom praktično odpadejo pri vpihovanju argona na dnu ponve, s čimer dosežemo kontinuirno razprševanje mehurčkov argona v jeklu. Ti mehurčki absorbirajo CO, H<sub>2</sub> in N<sub>2</sub>, ko se dvigajo v talini navzgor. Vpihavanje argona povzroča močno mešanje taline, kar izboljšuje kinetiko gornje reak-

\* Predavanje na strokovnem posvetovanju metalurgov v Mariboru oktobra 1971

cije. Zmanjšuje se vpliv difuzije okoli žarišča reakcije, povečuje se odstranjevanje zasičenih mehurčkov in odstranjevanje dezoksidacijskih produktov.

Praktično je množina odstranjenih plinov kisika, vodika in dušika odvisna od količine vpihanega inertnega plina.

Tako je n. pr. za znižanje kisika v mehkem jeklu z 0,08 % C od 254 ppm na 40 ppm potrebno vpihati 460 l argona na tono jekla. Odgovarjajoči končni ogljik bi bil potem 0,064 %. Za znižanje kisika v jeklu z 0,36 % C od 54 ppm na 14 ppm pa 50 l argona na tono jekla, pri čemer bi se znižal ogljik na 0,357 %.

Za bistveno zmanjšanje vodika in dušika potrebujemo nad 1000 l argona na tono jekla, kar praktično ni izvedljivo.

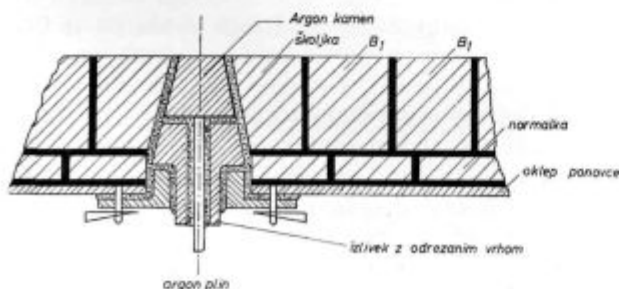
Učinek dezoksidacijskih in degazacijskih reakcij je odvisen tudi od prisotnosti zlitinskih elementov v jeklu. Tako n. pr. prisotnost Cr in V zavira dezoksidacijo s C, medtem ko jo Ni pospešuje. Elementa, kakor Ti in V, povečujeta topnost N<sub>2</sub> v jeklu. Tvorjenje stabilnih oksidov in nitridov zavira odstranjevanje CO in N<sub>2</sub>. Če je CO reakcija glavni mehanizem dezoksidacije, potem bi se močnim dezoksidantom, kot Al, Zr, Ti in Si, morali pravzaprav izogibati, dokler razplinjanje ni končano. Praktične izkušnje pa kažejo, da enake ali nižje vrednosti kisika, oz. enako ali ooljšo čistočo dosežemo s predhodnim legiranjem z Si in Al, oziroma z dodajanjem Al med pihanjem argona.

Izpiranje taline v ponvi naj bi predvsem pri dezoksidaciji z aluminijem po ugotovitvah M. Walsterja in W. Feldhausa in obširnih raziskav na metalurškem inštitutu v Ljubljani izboljšalo čistočo jekla, ker se z močno turbolenco povečuje izločanje z Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bogatih vključkov.

Najnižje vsebnosti oksidov dobimo, če se oksidi, ki se tvorijo, lahko izločajo, preden se jeklo strdi in če preprečimo ponovno oksidacijo med vlivanjem.

### PRAKTICNI POSTOPEK PIHANJA IN IZKUŠNJE

Vse že v uvodu navedene prednosti obdelave jeklene taline z inertnimi plini se da doseči pri rednem obratovanju le, če je postopek enostaven



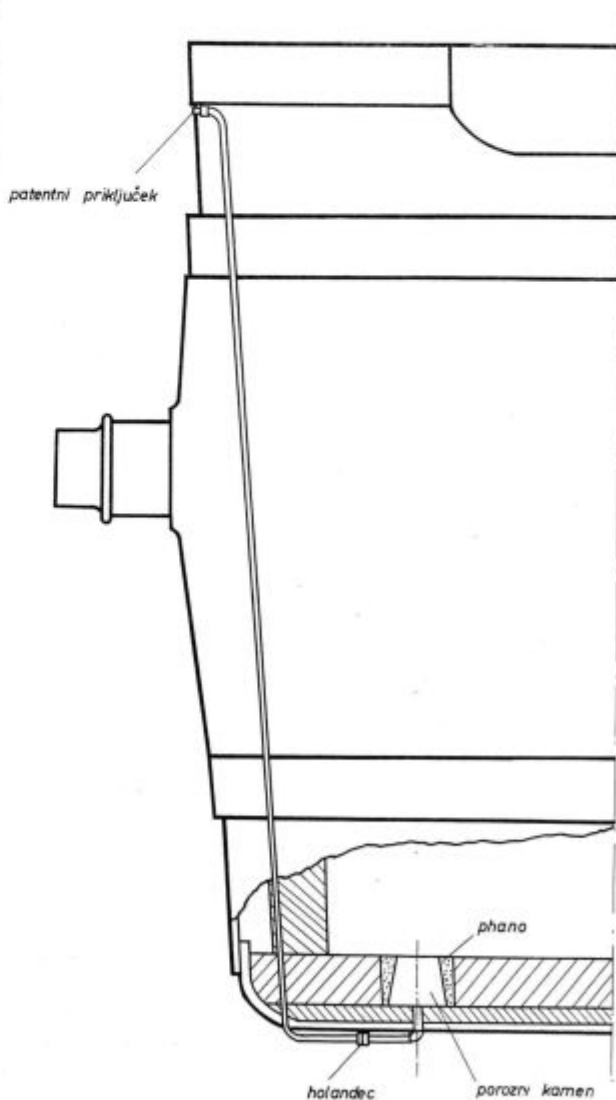
Slika 1

Vzidava poroznega kamna po sistemu Stoecker in Kunz

in zanesljiv. Tega načela smo se vseskozi strogo držali in poenostavili vse do take mere, da pihanje sedaj ne predstavlja nobenih posebnih težav.

Vpihavanje inertnih plinov v ponev se normalno vrši skozi porozni kamen, ki je na poseben način montiran v dno ponve, kakor kaže slika 1.

Diametralno nasproti izlivku je v dnu ponve vzidana školjka, v katero se kasneje montira s pločevino oplašeni porozni kamen. Predelava ponev na tak način je zamudna in draga. Tudi z vzidavo kamnov imajo ponovčarji dodatno delo. Kamni so uvoženi, tudi simteckt vezivo, ki ga je treba dodati običajni masi za vzidavo izlivkov, je uvoženo. Da bi poenostavili te praktične operacije in postali neodvisni od uvoza, smo porozne kamne zamenjali z navadnimi šamotnimi kamni, školjko smo odstranili, tako da do vrha oplašeni kamen vzidamo v samo obzidavo dna. Fuge, ki ostanejo, pa naphemo s posebno ognjevzdržno maso. Takšnega kamna med obratovanjem ni možno menjati, ampak ostane vzidan v dnu ves čas obra-



Slika 2

Presek skozi ponev z vzidanim poroznim kamnom

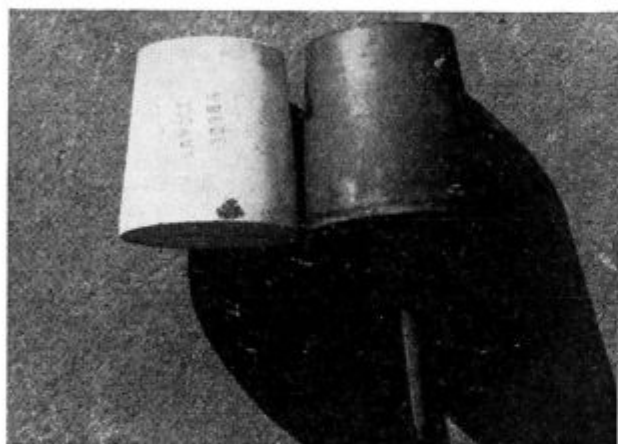


tovanja ponve. V dno ponve je na mestu, kjer je vzdan kamen, treba le izvrtati luknjo, kar lahko opravijo obratni ključavničarji sami, kar je razvidno iz slike 2.

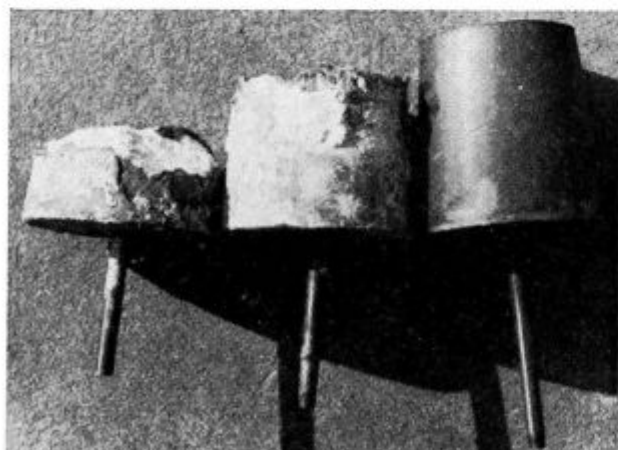
Slika 3 prikazuje navaden šamotni kamen, gol in oplaščen. Iz slike 4 pa je vidna primerjava med novim kamnom, ki je zdržal 11 šarž, pa skozenj nismo pihali (v sredini), in kamnom, skozi katerega smo pihali 6 šarž, vzdržnost ponve pa je 10 šarž (na levi strani slike).

Inertni plin, bodisi argon ali dušik, vodimo iz jeklenke preko reducirnega ventila in gumijaste cevi do patentnega priključka na plašču ponve.

Prepihovanje vršimo v ponovni jami tako na električni peči kakor tudi v martinarni. Na električni peči smo v neposredni bližini jame ASEA peči postavili Honeywell instrument za merjenje temperature jekla, tako da lahko temperaturo sproti kontroliramo in prekinemo s pihanjem, ko jeklo doseže potrebno livno temperaturo. V martinarni merimo temperaturo jekla le



Slika 3  
Samotni kamen gol in oplaščen



Slika 4  
Primerjava med novim kamnom, med poroznim kamnom, ki je zdržal 11 šarž pa skozenj nismo pihali (v sredini) in med poroznim kamnom skozi katerega smo pihali 6 šarž pri vzdržnosti ponve 10 šarž

pred prebodom. Temperatura jekla v SM peči je mnogo bolj homogena, padec temperature v ponvi pa mnogo manjši zaradi debelejšega sloja žlindre, zato pa je zanesljivost, s katero lahko zadenemo pravilno temperaturo livanja, tudi brez merjenja temperature v ponvi večja kot pri elektro šaržah.

Pihanje traja normalno 7 minut; včasih več, včasih manj, odvisno od temperature jekla. Normalni pritisk je 2 atmosferi nadpritiska. Površina žlindre pri elektro šaržah pri tem rahlo valovi. Pri SM šaržah zaradi debelejšega sloja žlindre valovanja skoraj ni videti.

Temperature jekla pred prebodom morajo biti pri šaržah, ki so izdelane v električni peči za 15 do 20° C višje kot pri nepihanih šaržah, pri SM jeklu pa le za 5 do 10° višje kot pri nepihanem jeklu.

Vsi poskusi so bili doslej izvedeni na 60-tonskih ponvah.

## PREISKAVE IN REZULTATI

Program dela:

Za prepihovanje taline v ponvi smo določili naslednje kvalitete jekel:

Konstruksijska jekla Č 0562, St 52 Cb, Nionical itd., jekla za cementacijo, ogljikova in nizkolegirana jekla za patentirano žico, jekla za poboljšanje, ogljikova in nizkolegirana jekla za elektrode in varjenje pod CO<sub>2</sub>, jekla za kroglične ležaje jekla za posebne namene

V fazi uvajanja prepihovanja taline v ponvi z argonom in dušikom je bil naš namen:

— dobiti potrebne praktične izkušnje glede priprave ponve, vzdave kamna, vzdržnosti kamna in ponve, možnosti zamenjave poroznega kamna z navadnim šamotom itd.

— dobiti osnovne parametre o pritisku plina v času pihanja in o primernosti zelo poenostavljene aparature za prepihovanje taline

— določiti optimalne temperature taline v peči pred izpustom, v ponvi pred pihanjem in po pihanju plina za posamezne kvalitete

— dobiti osnovne podatke o možnosti zamenjave argona z dušikom za prepihovanje taline v ponvi

— dobiti osnovne podatke o učinkovitosti prepihovanja jeklene taline pri eno in dvožlindrnem procesu, o gibanju kisika, dušika, žvepla in fosforja, o vplivu na čistočo, na temperaturno homogenost v ponvi in homogenost v sestavi valjancev.

## Gibanje kisika

Preiskave so obsegale jekla, izdelana v električni obločni peči in SM peči. Večina jekel iz električne peči je bila izdelana po dvožlindrnem postopku, t. j. z dezoksidacijo taline po oksidaciji z Al in Si v peči. V ponev pa smo Al dodajali ali med prebodom v curek jekla ali samo med piha-

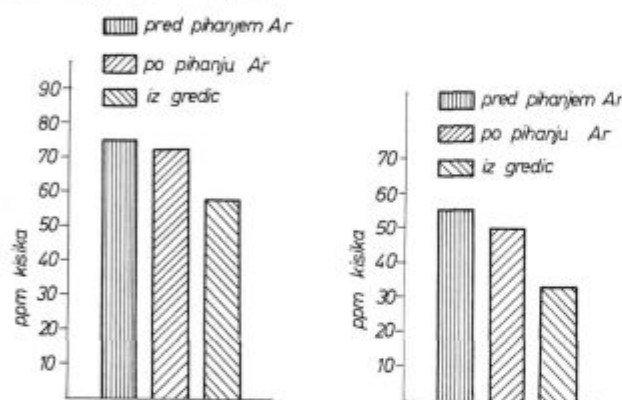
njem plina ali pa kombinirano, t. j. v curek in med pihanjem plina. Šarže, izdelane po enožilindrnem postopku smo dezoksidirali z Al in Si v ponvi. Na enak način so bile izdelane tudi SM šarže. Vzorce za kisik smo jemali iz ponve pred pihanjem argona ali dušika in na 2 livni plošči.

Razen kisika smo analizirali še P, S, N in Al. Na valjancih, t. j. na gredicah in trakovih pa smo analizirali poleg kisika še čistočo in homogenost v pogledu kemične sestave. Gibanje kisika je prikazano na slikah 5, 6, 7 in 8. Zmanjšanje kisika je največje pri šaržah, ki so izdelane po enožilindrnem postopku in pri patentirani žici, ki je izdelana v SM peči, kar je z ozirom na razlago v teoretičnem delu tudi razumljivo. Šarže, ki so

izdelane po dvožilindrnem postopku so že v peči dezoksidirane do take stopnje, da do dezoksidacijske reakcije v ponvi več ne more priti. Zato je zmanjšanje kisika pri teh šaržah v glavnem le posledica flotacijskega učinka plina s katerim izplakujemo talino.

**Elektro 2 žilindri**  
Č 0560, Č 0562, St 52 V,  
15MnNi, Č 1220 -0,25% C

**Elektro 2 žilindri**  
Kvalitete z -0,25% C

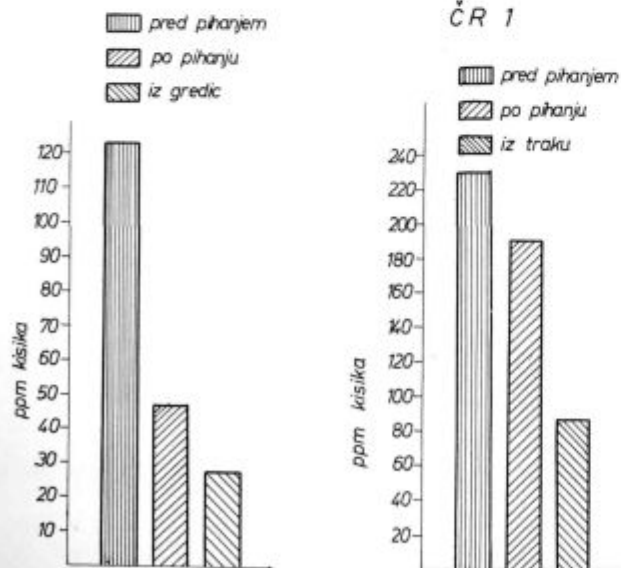


Slika 5

Gibanje kisika pri elektro jeklu z nad in pod 0,025 % C

**Elektro 1 žilindra**

**Elektro 2 žilindri**  
ČR 1

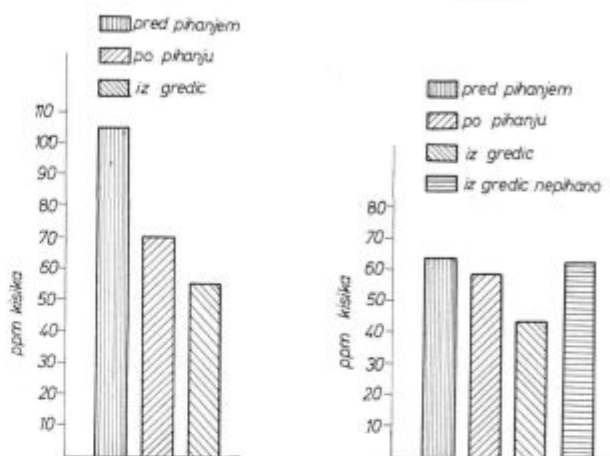


Slika 6

Gibanje kisika pri jeklih, ki so izdelana z enožilindrnim postopkom in pri mehkem jeklu CR 1 (0,08 % C, 0,10 % Si, 0,35 % Mn)

**Elektro 2 žilindri**  
Epp 2

**Elektro 2 žilindri**  
VAC 60



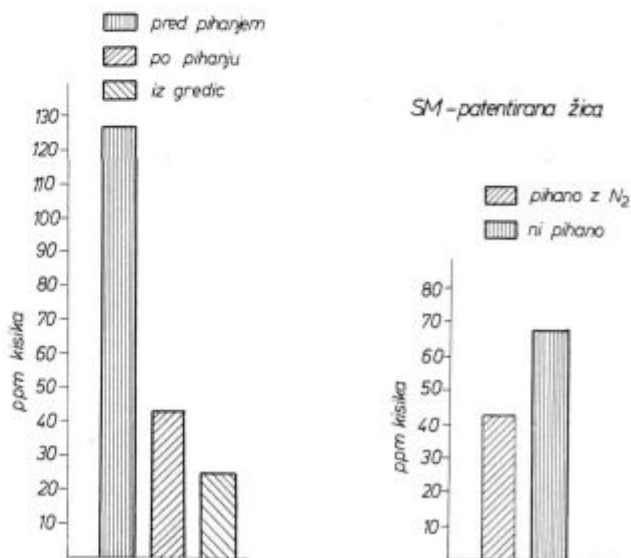
Slika 7

Gibanje kisika pri jeklu za žlco za varjenje pod praškom EPP 2 in za varjenje v zaščitni atmosferi CO<sub>2</sub> - VAC 60

### Gibanje fosforja in žvepla

Po trditvah nekaterih avtorjev omogoča preprihanje jeklene taline v ponvi tudi odžveplanje, nekateri pa tudi navajajo, da pride lahko do redukcije fosforja iz žilindre. Kakšni so ti odnosi pri nas, kaže slika 9. Pri šaržah, ki so izdelane po dvožilindrnem procesu, je fosfor ostal nespremenjen. Pri patentirani žici pa je opazno majhno

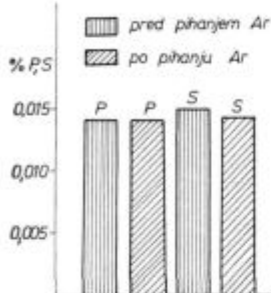
**SM - patentirana žica**



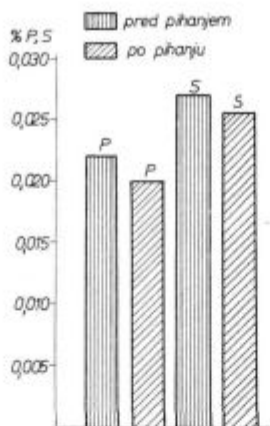
Slika 8

Gibanje kisika pri jeklu za patentirano žico

Elektro 2 žindri



SM - patentirana žica



Slika 9

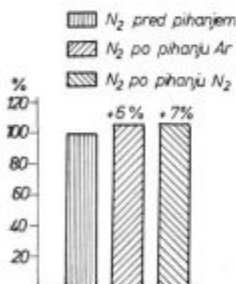
Gibanje P in S pri prepihanju jekla z argonom odnosno dušikom

zmanjšanje fosforja med pihanjem. Rahlo tendenco k zmanjšanju je opaziti tudi pri žveplu. Zmanjšanje žvepla med pihanjem je večje pri SM šaržah kot pri elektro šaržah.

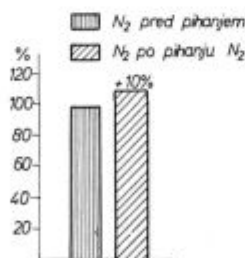
Gibanje dušika

Na začetku smo za prepihanje jekla v ponvi uporabljali izključno argon. Zaradi visoke cene argona smo prešli na dušik, ki ga imamo doma dovolj. Ker so absolutne vrednosti dušika različne pri različnih kvalitetah in načinih izdelave, smo za primerjavo vzeli le relativne vrednosti izražene v procentih. Iz slike 10 je razvidno, da naraste dušik, če jeklo obdelujemo z argonom za 6 %, pri uporabi dušika pa za 7 % pri elektro jeklu. Pri obdelavi SM šarž z dušikom znaša povečanje dušika v jeklu 10 %.

Elektro šarže



SM - patentirana žica



Slika 10

Narastek dušika pri prepihanju jekla z dušikom in argonom

Čistoča jekla

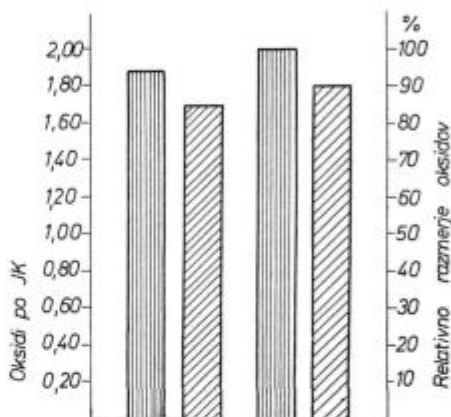
Po podatkih W. Deilmanna se predvsem zmanjša relativna velikost vključkov. Veliki vključki zaradi flotacijskega učinka splavajo na površino. Količina se torej bistveno ne zmanjša, pač pa le velikost. Pri vseh izdelanih šaržah smo zasledovali

le čistočo po JK na odrezkih gredic 120 mm<sup>2</sup> pri glavi, sredini in nogi pri dveh ingotih. Ker so plastični vključki pretežno funkcija žvepla, zato za primerjavo ne morejo priti v poštev. Med seboj smo torej primerjali le oksidne vključke. Sliki 11 in 12 prikazujeta primerjavo čistoč med pihanimi in nepihanimi elektro in SM šaržami. Primerjava je narejena pri elektro šaržah med 84 rezultati pihanih šarž in 125 rezultati nepihanih šarž. Pri patentirani žici pa je povprečje izračunano iz 27

Elektro jeklo

Ogljikova jekla z >0,25% C

običajna tehnologija  
obdelano z Ar ali N



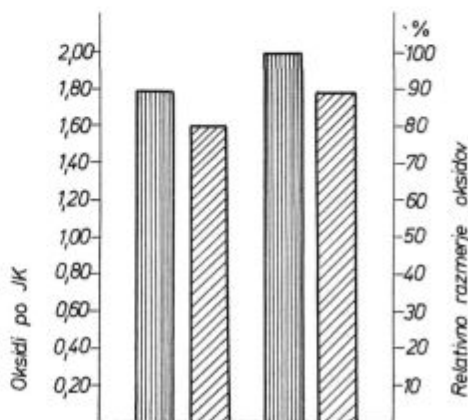
Slika 11

Primerjava vsebnosti oksidnih vključkov med običajno izdelanimi šaržami in prepihanim z Ar ali N pri elektro jeklu z nad 0,25 % C

SM jeklo

Patentirana žica

običajna tehnologija  
obdelano z dušikom



Slika 12

Primerjava vsebnosti oksidnih vključkov med običajno izdelanimi šaržami in prepihanimi z dušikom pri jeklu za patentirano žico

rezultatov pri pihanih šaržah in 68 rezultatov pri nepihanih šaržah. Zmanjšanje količine oksidnih vključkov je očitno, ni pa tako drastično, kot to prikazujejo nekateri tuji avtorji. V odstotkih

izraženo predstavlja to v obeh primerih nekaj več kot 10-procentno zmanjšanje količine oksidnih vključkov, s čimer smo na začetku lahko zadovoljni.

Tabela 1

Ingot A vzorec štev.	C % . 10 <sup>-2</sup>			P % . 10 <sup>-3</sup>			S % . 10 <sup>-3</sup>			Al % . 10 <sup>-3</sup>		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1 G	55	55	59	14	15	16	14	14	14	35	35	46
2	55	55	53	16	14	12	13	14	14	37	36	37
3	55	56	55	16	13	13	14	15	15	28	31	31
4	55	55	56	16	14	14	15	15	15	25	29	30
5	55	56	57	16	17	15	14	13	14	36	36	35
6	54	53	52	16	13	12	14	12	13	37	36	36
7	55	55	57	15	15	13	14	14	15	38	36	35
8	55	55	57	16	15	15	13	12	13	32	37	35
9	56	57	58	15	13	14	13	13	13	40	36	37
10	56	57	55	11	15	13	13	13	13	35	37	33
11	55	57	56	14	15	13	14	12	12	37	36	34
12	57	56	56	14	14	13	13	13	13	38	37	38
13	55	57	55	14	14	14	12	12	12	39	40	38
14	55	55	54	14	15	13	13	12	12	39	37	39
15	56	55	53	16	13	14	12	12	12	34	35	34
16 N	57	58	58	15	15	15	12	13	13	43	44	40

Tabela 2

04 7740 vzorec štev.	C % . 10 <sup>-2</sup>			P % . 10 <sup>-3</sup>			S % . 10 <sup>-3</sup>			Al % . 10 <sup>-3</sup>		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1 G	48	48	48	17	18	19	26	24	24	41	42	41
2	51	48	47	24	24	23	25	24	25	44	49	45
3	50	48	47	23	23	24	26	25	24	44	49	49
4	49	48	47	22	24	22	25	23	25	48	45	44
5	47	51	47	23	24	24	24	25	24	45	45	48
6	51	47	48	24	23	22	27	26	25	50	47	47
7	49	47	47	21	25	25	25	24	25	48	46	45
8	48	46	48	20	21	22	24	23	24	50	49	48
9	47	47	47	21	21	21	23	22	23	49	52	47
10	48	47	48	23	21	21	24	24	23	49	51	51
11	48	48	48	19	20	21	24	24	23	44	45	44
12	48	48	48	18	18	19	24	23	22	42	43	42
13	48	48	48	17	19	18	22	23	23	42	41	42
14	48	48	48	18	19	18	22	23	23	44	43	42
15	48	47	48	23	21	21	22	23	24	44	45	43
16	47	48	48	19	18	18	23	24	23	43	45	43
17	48	48	48	18	19	19	24	24	24	44	43	41
18	49	48	48	20	20	19	24	25	25	45	44	45
19	46	46	47	18	19	19	22	23	22	44	44	45
20	45	47	47	17	19	18	23	24	23	44	44	42
21 N	44	45	47	17	18	20	22	20	23	43	42	42

**Homogenost jekla — analiza blokovnih izcej**

Blokovne izceje predstavljajo razmeroma pereč problem, zlasti pri trših ogljikovih jeklih. Tako imamo n. pr. v proizvodnji patentirane žice velike težave zaradi nehomogenosti v ingotu in šarži.

Pričakovati je, da bodo šarže, ki so prepahane z argonom, dosegle homogeno sestavo v talini cele ponve in da zaradi nižjih temperatur litja ne bo prišlo v ingotu do izcejanja. Preiskave, ki smo jih izvedli, nam to potrjujejo.

Od vsake šarže smo analizirali na dveh blokkih glavo, sredino in nogo po preseku na treh mestih od roba do sredine gredice. Vzorec št. 1 je vzet na robu, št. 3 v sredini, št. 2 pa v sredi med tema dvema. V tabeli 1 so prikazane analize dveh blokov ene šarže po dolžini in preseku kvalitete C 60, v tabeli 2 in 3 pa še dveh šarž jekla za patentirano žico. Vzorci so vzeti po vsej dolžini bloka od vsake gredice od glave do noge. Iz tabel se da razbrati, da so razlike v sestavi zelo majhne. Ogljik je zelo homogeno porazdeljen po celem preseku ingota. Pri fosforju in žveplu pa je opaziti rahlo izcejanje proti glavi.

Blokovne izceje so v veliki meri odvisne od temperature, ki bi morala biti čim nižja.

Še bolj očiten primer izboljšanja homogenosti z dušikom prepahanih šarž v primerjavi z nepihanimi kaže slika 13. Na sliki je v verjetnostnem

diagramu prikazan raztros trdnosti v patentiranem stanju, enkrat za nepihane in drugič za z dušikom prepahane šarže. Srednja vrednost za  $\bar{X}$  je pri prepahanih šaržah za več kot polovico manjša od običajno izdelanih šarž.

**Možnost reguliranja aluminija v končni sestavi z dodajanjem Al v ponev med pihanjem argona**

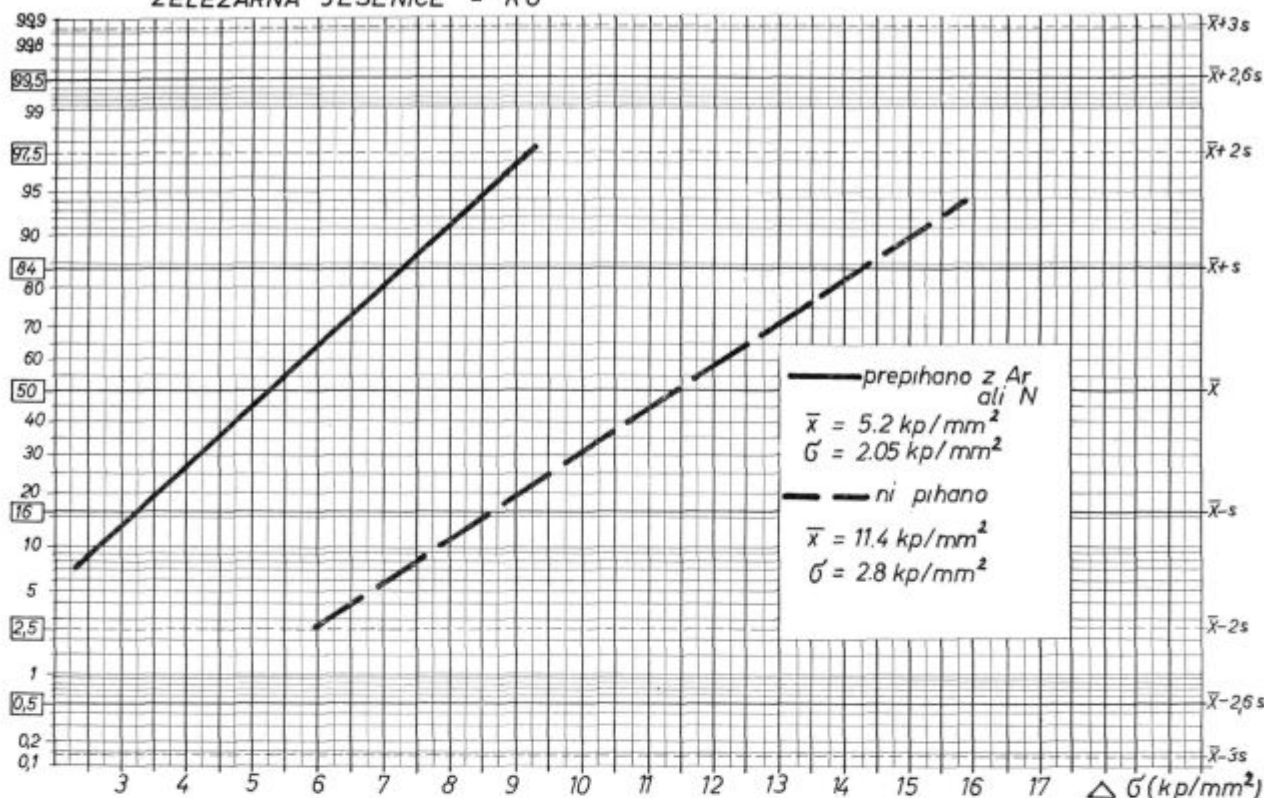
Vzdrževanje konstantne vsebnosti topnega aluminija v jeklu je velikega pomena za nekatere fizikalne lastnosti jekla. Obenem pa je vzdrževanje konstantne vsebnosti aluminija zelo težavno in nezanesljivo, če se to dela na klasičen način z dodatki Al v curek taline med izpustom. Ta problem je predvsem pereč pri jeklih za cementacijo in poboljšanje, kjer se zahteva čim manjše primarno avstenitno zrno. Posebno pri cementacijskih jeklih smo doslej imeli zelo nehomogene rezultate med posameznimi šaržami.

Stanje smo skušali izboljšati z legiranjem Al med pihanjem Ar ali N v ponvi. Pri večini šarž, ki so obdelane z Ar ali N je bil Al dodan le v ponev med pihanjem. Le pri nizko ogljičnih kvaletetah npr. Č 1220, kjer je potreben večji dodatek Al, smo ga dodali tudi v curek med izpustom. Izkoristek Al se giblje od 50 do 70 %, kar lahko smatramo za dober rezultat.

Tabela 3

04 7743 vzorec št. v.	C % · 10 <sup>-2</sup>			P % · 10 <sup>-3</sup>			S % · 10 <sup>-3</sup>			Al % · 10 <sup>-3</sup>		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1 G	46	46	46	14	15	15	24	23	24	0	1	1
2	47	47	46	17	18	17	23	23	22	0	0	0
3	46	44	44	15	16	16	24	23	22	2	3	2
4	44	46	45	17	16	12	22	24	24	2	4	2
5	46	45	44	15	12	14	25	22	21	4	0	3
6	47	46	45	11	12	9	22	20	22	3	2	2
7	47	45	45	13	13	16	22	23	21	0	0	1
8	46	46	45	15	17	16	21	21	23	0	1	0
9	46	45	45	15	15	16	21	21	22	0	0	0
10	45	45	45	16	16	15	20	22	22	0	0	0
11	44	45	45	16	16	15	19	22	22	0	0	0
12	45	46	45	15	16	14	19	22	23	0	1	0
13	46	46	45	16	16	16	23	24	23	1	1	2
14	46	45	45	17	15	15	22	23	21	0	2	0
15	47	46	45	17	16	13	23	22	22	0	0	0
16	48	47	47	16	15	13	25	25	24	1	0	1
17	47	47	46	14	15	13	25	24	23	1	0	0
18	46	46	47	13	14	14	22	24	25	0	1	1
19	45	45	47	15	13	14	25	24	23	1	0	0
20	45	45	46	14	14	13	23	23	24	1	0	0
21 N	44	44	44	16	16	15	23	23	23	0	0	0

ŽELEZARNA JESENICE - RO



Slika 13 Raztros v trdnosti žice v patentiranem stanju za običajno izdelane šarže in z Ar ali N prepihane šarže

Preiskave na metalurškem inštitutu v Ljubljani so tudi pokazale, da je dodatek aluminija najbolj učinkovit, če ga dodamo proti koncu pihanja argona.

Ocena dosedanje prakse

Spočetka smo pihali po končanem prebodu, kar je čas visenja ponve včasih močno podaljšalo. Sedaj pihamo tako v martinarni kot na elektro peči že med izpustom jekla, kar bistveno ne podaljšuje časa visenja ponve. Toplotna obremenitev ognjevzdržne obzidave je manjša. Temperatura pred prebodom pa je lahko le za 5 do 10° višja od normalne. Že v martinarni vpeljano prakso prepihanja med prebodom smo prenesli tudi na električno peč, čeprav so tam obratovalni pogoji težji. Ker se ponev pogrezne globoko v jamo, je gumijasta cev izpostavljena močnemu sevanju in brizganju jekla, zaradi česar mora biti dobro zaščitena z azbestnim ovojem. Ta praksa se je prav dobro obnesla in je to sedaj naš normalni način dela.

Kakor kažejo rezultati, je prepihanje taline najbolj učinkovito pri SM šaržah in šaržah, ki so izdelane po enožilnem postopku na električni obločni peči.

Preiskave, ki jih je vršil Metalurški inštitut v Ljubljani na nekaterih neprepihanih in z argonom prepihanih šaržah, tudi kažejo na precejšnje

razlike v vsebnosti SiO<sub>2</sub> pri teh jeklih. Tako vsebujejo šarže, ki niso bile obdelane z argonom, povprečno 0,0030 % SiO<sub>2</sub>, z argonom prepihane pa 0,0015 % SiO<sub>2</sub>.

Dosedanja praksa kaže, da je vzdavanje oplasčenega poroznega kamna zelo enostavno in povsem zanesljivo, saj doslej v dvoletnem obratovanju nismo imeli nobenega prodora jekla skozi dno ponve.

Kompaktni šamotni kamni so glede propustnosti za pline slabši od poroznih, zato bomo, če bodo le na razpolago sredstva, uporabljali porozne kamne.

Tudi sistem dovajanja plina iz ene same jeklenke preko reducirnega ventila dela dobro.

Literatura

1. W. Deilman, E. Klimanek: Erfahrungen bei der Spülgasbehandlung des Stahles in der Giesspfanne Radex Rundschau 1968, Heft 2, 127
2. R. J. Choulet, R. L. W. Holmes: Argon Degassing Practice And Results, Journal of Metals Januarö 1966, 72
3. J. Arh, D. Ravnik, R. Jelerčič, A. Prešeren: Uvajanje prepihanja jeklene taline v ponvi z argonom (Poročilo metalurškega inštituta v Ljubljani). Januar 1971.
4. A. Prešeren: Problematika dezoksidacije in izkoristka aluminija pri izdelavi pomirjenih jekel (Poročilo metalurškega inštituta v Ljubljani). November 1971.
5. B. A. Strathdee: Argon Injection with Porous Plugs Iron and Steel Engineer, June 1971, 82.

## ZUSAMMENFASSUNG

Im Artikel sind die Ergebnisse der etwas über hundert untersuchten Schmelzen, welche mit Argon oder Stickstoff in der Pfanne gespült worden sind gegeben. Die Desoxydationsreaktionen werden durch die Spülgasbehandlung in der Pfanne ausgelöst, wodurch die Sauerstoffmenge im Stahl vermindert wird. Der Flotationseffekt des Spülens hat auch eine Verminderung der grösseren nicht metallischen Einschlüsse zur Folge.

Durch die Spülbehandlung erfolgt ein schneller Ausgleich von Temperatur und Zusammensetzung was auch der grösste Vorteil dieses Verfahrens zu sein scheint.

Wenn ein Verfahren in den Betrieb eingeführt werden soll, dann muss er einfach und zuverlässig sein. Nach diesem Prinzip haben wir auch den Einbau des porösen Spülkegels in den Pfannenboden vereinfacht. Der ummantelte Spülkegel wird nicht mehr in einen zusätzlichen Lochstein eingebaut, sondern er wird in den Pfannenboden eingemauert, wie das Bild 2 zeigt. Das Spülgas wird von einer 40 l Gasflasche über einen Reduzierventil und Gummischlauch zu dem Patentverschluss an der Pfanne geleitet.

Wir haben versucht die porösen Steine durch die üblichen Schamottesteine zu ersetzen. Die Gasdurchlässig-

keit der Schamottesteine ist aber leider nicht genügend, so dass wir nach einer gewissen Zeit wieder die porösen Steine angeschafft haben. Die porösen Kegelsteine gewährleisten einen Durchfluss von 30 bis 40 l Gas pro tone Stahl bei einer 60 t Pfanne und einer Behandlungszeit von 7 Minuten.

Die Spülbehandlung haben wir anfangs nach dem beendeten Abstich durchgeführt, was die Abhängezeiten ziemlich verlängerte. Nach der heutigen Praxis wird sowohl in SM wie auch im Elektrostahlwerk schon während des Abstiches gespült, wodurch die Abhängezeiten ganz normal sind. Die Temperaturbeanspruchung der feuerfesten Zustellung wird kleiner. Die Stahltemperatur vor dem Abstich sollte nur um 5 bis 10° C höher sein als für nichtgespülte Schmelzen.

Seitdem wir Argon im eigenen Hause produzieren, wird auch nur mit Argon gespült. Die Ergebnisse sind in jeder Hinsicht zufriedenstellend. Die besten Ergebnisse sind jedoch bei den SM wie nach dem Einschlackenprozess im Elektroofen erzeugten Schmelzen erzielt worden. Bei der Anwendung von Stickstoff und Argon sind keine wesentliche Unterschiede festgestellt worden.

## SUMMARY

In the paper results of over 100 batches blown by argon or nitrogen are described. Blowing of steel in ladle by inert gases causes deoxidation reactions thus reducing oxygen content in steel. Floating effect of washing the melt reduces amounts of bigger non-metallic inclusions. Steel in ladle is homogenized by composition and temperature which is the greatest advantage of this procedure.

If some procedure is to be introduced in production line it must be simple and reliable. According to this rule mounting of porous blowing stone into the ladle bottom was simplified. Mantled porous blowing stone is no more mounted into the ladle bottom according to the prescription of firm Stoecker and Kunz, but it is built into the bottom as shown in Fig. 2. Gas is introduced usually from a 40 l cylinder through a reducing valve and hoses to a special connection on the ladle mantle. Substitution of porous blowing stones by compact fire-clay stones was checked but the latter blowing stones have lower gas

permeability so that porous blowing stones through which 30 to 40 l per ton can be blown in 7 minutes remained in operation.

Initially blowing was used after completed tapping which sometimes prolonged hanging of the ladle. Now steel is blown during tapping of open hearth furnace or electrofurnace. Hanging time of ladle is thus not essentially longer. Thermal load of refractory lining is lower. Temperature before tapping can be only 5 to 10° C higher than normal one.

Also use of nitrogen has only transitional meaning. Since argon is produced at home it is exclusively used. Results are satisfactory in all respects. The best results were achieved with open hearth furnace batches and with batches made by one-slag method. Uses of nitrogen and argon make no essential difference. If steel is blown by nitrogen its content in steel is only slightly increased.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье рассмотрены свыше сто исследованных плавков которые были подвержены продуванию с Аргоном или Азотом. Такое продувание в ковше с инертными газами вызывает окислительные реакции вследствие которых уменьшается количество кислорода в стали. Флотационное воздействие промывки расплава уменьшает количество неметаллических включений. Преимущество этого способа состоит также в том, что продутая сталь по темп-ре и по химическому составу однородна.

Понятно, что введение нового способа в промышленность требует от него чтобы он был несложный и надёжный в исполнении. С этой целью упрощён монтаж пористого камня на дне ковша, это не делается больше по инструкциях фирмы Stoecker и Kunz а замуровывается на дне ковша как это показано на рисунке 2. Обыкновенно газ вводится из 40 л-га баллона через редукционный вентиль, резиновой трубки до специального патентованого патрубка на обшивке ковша. Пористые камни пробали заменить с обыкновенными но компактными шамотными. Их

пропускаемость не удовлетворила; поэтому решено употребить только такие камни которые дадут возможность дуть в течении 7 минут дувания 30 до 40 л. газа на тону стали.

Сперва продувание велось сразу после выпуска стали из-за чего висенье ковша часто очень продлилось. Теперь продувание в мартеновском цехе а также при электропечи ведётся во время самого выпуска что существенно не замедляет режим процесса. Тепловая нагрузка жароупорной футеровки меньше. Достаточно если темп-ра плавки до выпуска 5 до 10° Ц выше нормальной темп-ры.

Применение азота было переходного значения, так как аргон производится в самом заводе. Поэтому продувание стали ведётся только с аргоном. Во всех отношениях результаты удовлетворительные. Самые лучшие результаты получены при SM — плавков при способе с одним окислительным шлаком. Результаты продувания с азотом и аргоном почти одинаковы лишь при азоте его содержание в стали несколько увеличивается.



Jeklena konstrukcija za hokejsko halo na Jesenicah Kvaliteta jekla: Nivoal 47



## Mikrolegirana finožrnata jekla za varjenje konstrukcije\*

V članku so podane teoretske osnove vplivov posameznih elementov na višino meje plastičnosti in opisano laboratorijsko in industrijsko raziskovalno delo v zvezi z osvajanjem finožrnatih mikrolegiranih jekel s povišano mejo plastičnosti v Železarni Jesenice.

Mikrolegirana finožrnata jekla za varjene konstrukcije.

Pod imenom mikrolegirana finožrnata jekla razumemo jekla, katerim dodamo posamezne legurne elemente v minimalnih količinah, stotinkah ali tisočinkah procenta, ki ob dodatku drugih spremljajočih elementov bistveno vplivajo na fizikalne lastnosti jekla, bodisi na mejo plastičnosti, bodisi na krhki lom itd. Meja plastičnosti je povezana z velikostjo primarnega, oziroma sekundarnega zrna. Z ozirom na to, da mikrolegirani elementi vplivajo tudi na kristalizacijo jekla, imenujemo ta jekla tudi finožrnata jekla.

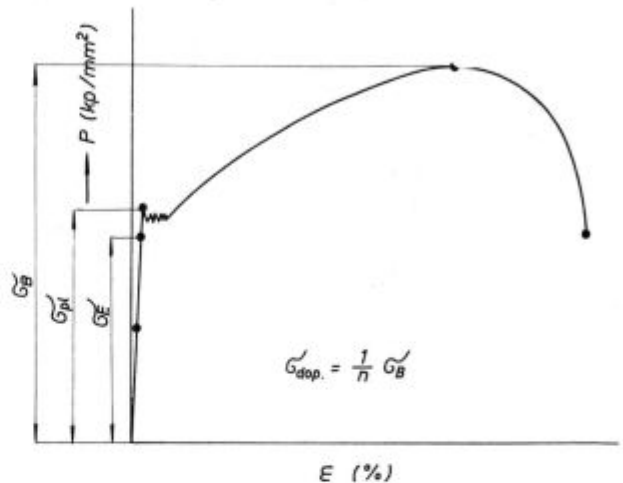
Bistvo mikrolegiranih finožrnatih jekel je torej, da imajo zaradi finega zrna povišano mejo plastičnosti in nizko temperaturo prehoda iz žilavega v krhki lom.

Napredek v tehniki gradenj jeklenih konstrukcij je pa tesno povezan z razvojem ustreznih jekel v obliki pločevine ali profilov, ki imajo čim višjo mejo plastičnosti. To je konstruktorju eden izmed osnovnih elementov pri projektiranju konstrukcije.

Razumljivo je, da je tudi Železarna Jesenice spremljala razvoj teh jekel v svetu in pričela z osvajanjem finožrnatih jekel s povišano mejo plastičnosti do 50 kp/mm<sup>2</sup>.

Kakšen je razvoj teh jekel v Železarni in kaj smo na tem področju dosegli?

Preden se dotaknem konkretnega raziskovalnega dela, povezanega z osvajanjem jekel, se bom povrnil na pojem meje plastičnosti in na elemente, ki vplivajo na njeno izoblikovanje. Naredimo raztržni preizkus čistega železa. V trdnostnem diagramu ne zasledimo nobenih abnormalnosti. Pojav ostane nespremenjen, če dodamo tudi elemente substitucijskega tipa (Mn, Si itd.). Če pa dodamo čistemu železu le 0,005 % C, pa ta že bistveno vpliva na izoblikovanje raztržnega diagrama, pojavi se izrazita meja plastičnosti. (sl. 1).



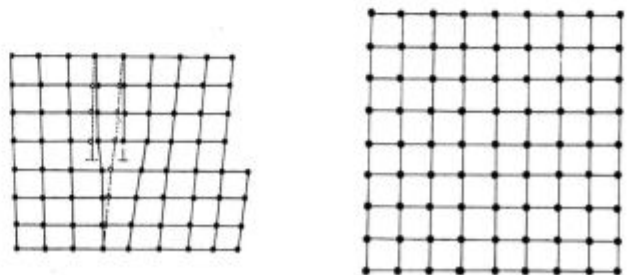
Slika 1  
Diagram trgalnega preskusa

Fizika kovin nam daje za ta primer naslednjo razlago:

Kristalna mreža železa ni idealna, je polna nepravilnosti — dislokacij.

Že enostavni pregled kotne dislokacije kaže (sl. 2), da je pojav dislokacij povezan z deformacijo mreže. Zgornji del kristala je torej obremenjen na tlak, spodnji na nateg. Prisotnost teh napetosti vpliva tudi na difuzijo in razporeditev intersticijskih atomov in se s pravilno porazdelitvijo prisotnih atomov različnih premerov te napetosti do neke mere tudi izenačijo.

V primeru, ko dodamo čistemu železu intersticijske atome ogljika, bodo le-ti difundirali v bližino dislokacij, kjer je njihova razporeditev v energetskem pogledu najbolj ugodna. V fiziki kovin rečemo, da se nam je stvaril Cotrellov dislokacijski oblak, ki zavira nadaljnje gibanje



Slika 2  
Prikaz kotne dislokacije v kristalni mreži

\* Predavanje na strokovnem posvetovanju metalurгов v Mariboru oktobra 1971

dislokacij tudi pod vplivom zunanjih napetosti. Rečemo torej lahko, da tvorba Cotrellovega dislokacijskega oblaka pomeni zasidranje dislokacij, ki se lahko osvobodijo šele pod vplivom večjih zunanjih obremenitev.

Pri raztržnem preizkusu se osvoboditev dislokacije pokaže kot zgornja meja plastičnosti. Pri nadaljevanju raztržnega preizkusa lahko pride do ponovnega enkratnega ali večkratnega pojava tvorbe urejenega dislokacijskega oblaka, kar se odraža v izraziti zgornji in spodnji meji plastičnosti. Ko pa atomi ne morejo več slediti gibanju dislokacij, se le-te popolnoma iztrgajo iz dislokacijskega oblaka in do popolne porušitve poskusnega vzorca — probe ne zasledimo v raztržnem diagramu nobenih abnormalnosti.

Iz navedenega sledi, da je višina meje plastičnosti odvisna od sile, ki je potrebna, da se dislokacija iztrga iz dislokacijskega oblaka, in od splošnega pojava drsenja kristala, kar je odvisno od velikosti zrna. Oba elementa je povezal Petch v obrazec za višino meje plastičnosti

$$\sigma_s = \sigma_b + k \times d^{-\frac{1}{2}}$$

pri tem pomeni

- sigma 0 odpor kristalne meje za gibanje dislokacij
- d povprečna velikost kristalnega zrna
- k konstanta

Razumevanje pojava gibanja dislokacij in difuzijskih sposobnosti posameznih elementov v jeklu pa dajejo odgovor, kako lahko metalurg vpliva na mejo plastičnosti jekla, ali z drugimi besedami, kako lahko vpliva na gibanje dislokacij, da bi dosegli čim višje meje plastičnosti.

Na mejo plastičnosti vplivamo lahko:

- z dodatnimi elementi
- s strukturnimi vplivi

Z elementi vplivamo lahko direktno ali indirektno.

Direktno vplivajo elementi intersticijskega tipa C in N, ki vplivajo direktno na tvorbo Cotrellovega dislokacijskega oblaka.

Indirektno pa vplivamo na mejo plastičnosti z dodatki:

- Mn, Si, Cr, Mo, Nb, V, ki imajo vpliv na difuzijsko sposobnost ogljika in dušika
- določeni elementi vplivajo na utrjenje ferita, kot na primer Si, ali utrjujejo ferit s fino dispergiranimi izločki, kot na primer Nb in V
- z elementi lahko vplivamo tudi na neposredno tvorbo fine primarne sekundarne strukture.

Če sem govoril o vplivu elementov, naj omenim še vplive strukture na višino meje plastičnosti, in sicer:

- velikost avstenitnega in feritnega zrna, kar je povezano s Petchovo enačbo

— dodani elementi vplivajo na volumsko razmerje ferita in perlita v strukturi. Povečanje deleža perlita v strukturi povzroči povečanje trdnosti, vendar spremlja to povečanje tudi zvišanje temperature prehoda iz žilavega v krhki lom. Prav ta lastnost se pa pri finožrnatih jeklih največ zahteva;

— velikost perlitnih lamel in njih oddaljenost. Čim finejše so lamele, čim krajše so, višja je meja plastičnosti, oziroma trdnost. Ta strukturni efekt je povezan s kemično sestavo, v glavnem pa s hitrostjo ohlajevanja jekla po toplotni obdelavi.

To je bilo torej nekaj teoretskih vplivov posameznih elementov in strukture na višino meje plastičnosti in trdnosti jekla.

#### Kakšne zahteve se postavljajo za finožrnata mikrolegirana jekla?

- meja plastičnosti min. 40 kp/mm<sup>2</sup>,
- raztezek 5 d min. 20 % ali

$$\frac{1200}{\text{trdnost}}$$

— nizka temperatura prehoda iz žilavega v krhki lom,

— žilavost na probi z ostro zarezo min. 3,5 mkp/cm<sup>2</sup> pri temperaturi — 20°,

— garantirana varljivost in deformacijska sposobnost z uvijanjem v hladnem.

Od vseh teh zahtev, ki so dovolj jasno formulirane, se moram dotakniti le varjenja. Poleg različnih metod določevanja varivosti jekla, mora biti izpolnjena tudi zahteva, da  $C_{ekv}$  ne preseže vrednosti 0,40 za konstrukcije, katere varimo brez predgrevanja, oziroma 0,45 za konstrukcije, pri katerih je predgrevanje več ali manj obvezno.

Za določevanje  $C_{ekv}$  je najbolj razširjen obrazec

$$C_{ekv} = \% C + \frac{\text{Mn}}{6} + \frac{\text{Cr} + \text{Mo} + \text{V}}{5} + \frac{\text{Ni} + \text{Cu}}{15}$$

$C_{ekv}$  je torej pokazatelj, ki združuje nagnjenost jekla k tvorbi martenzita in ki določa tehnologijo varjenja, t. j. kdaj material predgrevamo, kdaj ne.

Iz enačbe za  $C_{ekv}$  vidimo, da ogljik v jeklu ni zaželen, da njegov vpliv izredno hitro narašča in da moramo pri razvoju jekel s povišano mejo plastičnosti uporabiti različne elemente, ki vplivajo ne le na tvorbo in gibanje Cotrellovega dislokacijskega oblaka, ampak tudi na izoblikovanje strukturnih komponent.

Z ozirom na to, da sem o vplivu intersticijskih elementov C in N že govoril, se bom v kratkem dotaknil vpliva substitucijskih elementov na fizikalne lastnosti mikro legiranih finožrnatih jekel, in to Mn, Si, Ni, Mo, Nb in V.

## Mangan

Mangan znižuje točko  $A_{c_3}$  in dosežemo pri 2 % Mn čisti evtektoid že pri 0,65 % C. Mangan torej vpliva na

- utrjevanje ferita
- povečuje delež perlitne komponente v strukturi.

## Silicij

Vpliv Si je omejen v glavnem na utrjenje ferita. Ko se začne transformacija avstenita in se začne pojavljati pri prekristalizaciji v strukturi že perlit, narašča delež silicija v avstenitu zaradi netopnosti v cementitu. Ta koncentracija narašča predvsem v okolici cementitnih kali, torej lahko silicij zavira tudi izločevanje ogljika v obliki cementita. Vpliv silicija je torej omejen le na utrjevanje ferita. Ima pa v splošnem slabo lastnost, da povzroča grobozrnato kristalizacijo, zato je njegova koncentracija omejena na 0,50 %.

Lastne raziskave pa kažejo, da vpliv Si na grobozrnatost strukture pri mikrolegiranih jeklih ni tako velik, lahko rečem, da tega vpliva pri raziskavah nismo zasledili. Zato ne izključujem možnosti, da bo silicij v bodoče pri osvajanju fino zrnatih jekel tudi v večjih koncentracijah normalen dodatek za povišanje meje plastičnosti.

Vpliv silicija na osnovne mehanske lastnosti jekla je razviden iz tabele 1.

Tabela 1 — Vpliv Si na mehanske lastnosti

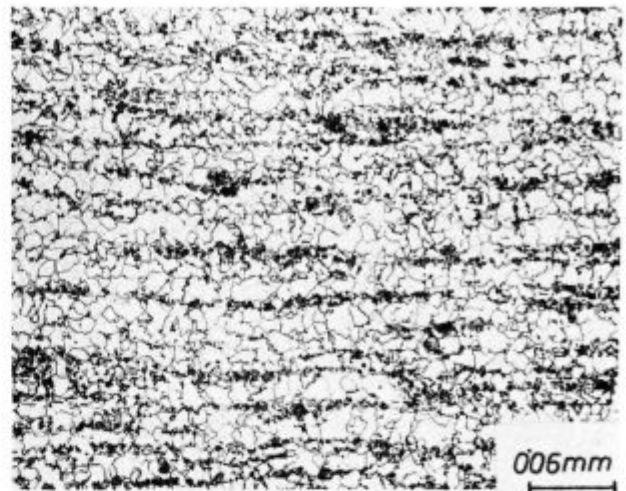
0,17 % C 1,40 % Mn 0,045 % Al	$\sigma_s$	$\sigma_n$	$\delta_5$ %	$\psi$ %	Žilavost (V notch)		
					normaliz.	starano	
					— 2°	+ 2°	
0,45 % Si	43	59	23	67	21	20	18
0,58 % Si	45	55	25	60	24	19	
0,81 % Si	47	56	25	67	20	19	16
1,15 % Si	50	65	23	62	18	18	12
1,50 % Si	53	73	27	65	12	11	

Upogib:  $d = 2a = 180^6$

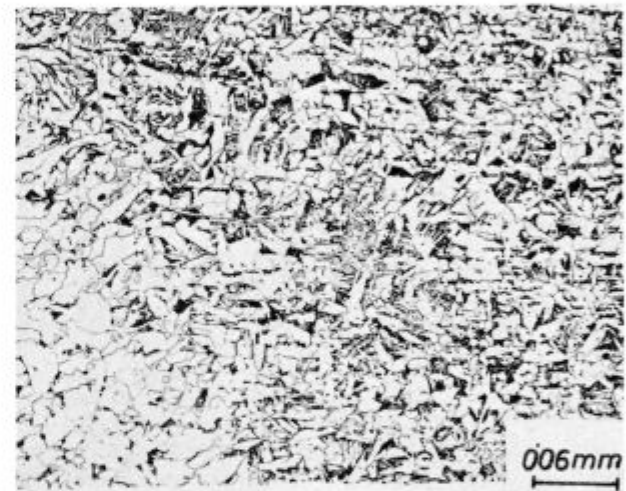
HV — prehodna cona zvara max. 230 HV

Z rastočo koncentracijo Si v jeklu narašča meja plastičnosti, ne da bi bilo opaziti bistven padec žilavosti jekla.

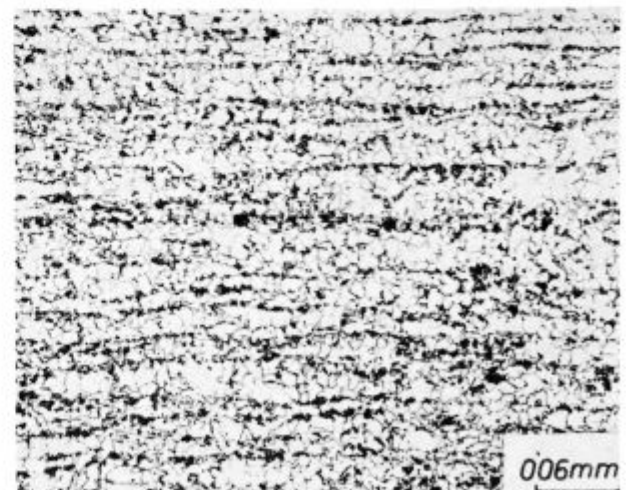
Varilno tehnični preizkusi jekla z nizkim in visokim Si niso pokazali nobenih abnormalnosti. Nasprotno, prehodne cone jekla z dodatkom Si niso pokazali nobenih abnormalnosti. Nasprotno, prehodne cone jekla z dodatkom Si dajo enakomernejši strukturni prehod zvara v osnovni material.



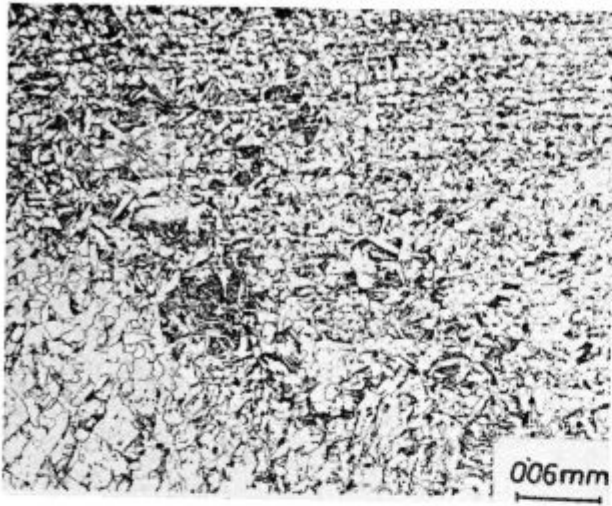
Slika 3  
Struktura jekla z 0,45 % Si, 200 ×



Slika 4  
Struktura prehoda zvar — osnovni material pri jeklu z 0,45 % Si, 200 ×



Slika 5  
Struktura jekla z 0,81 % Si, 200 ×



Slika 6  
Struktura prehoda zvar — osnovni material pri jeklu z 0,81 % Si, 200 ×

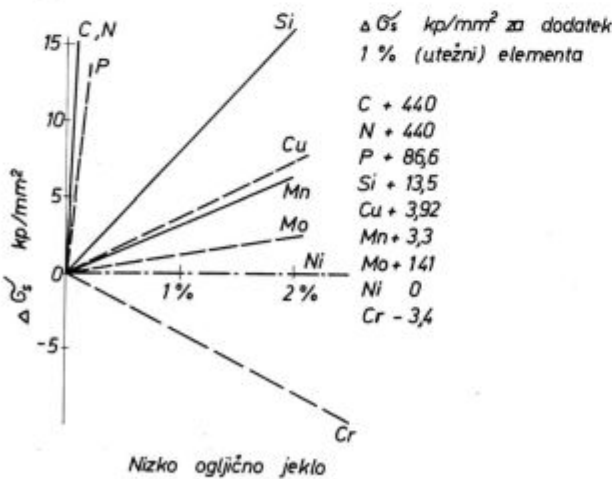
**Nikelj**

Nikelj ne vpliva bistveno na razporeditev ferita in perlita in je njegov vpliv omejen na višino točke transformacije jekla in s tem utrjenje ferita.

**Molibden**

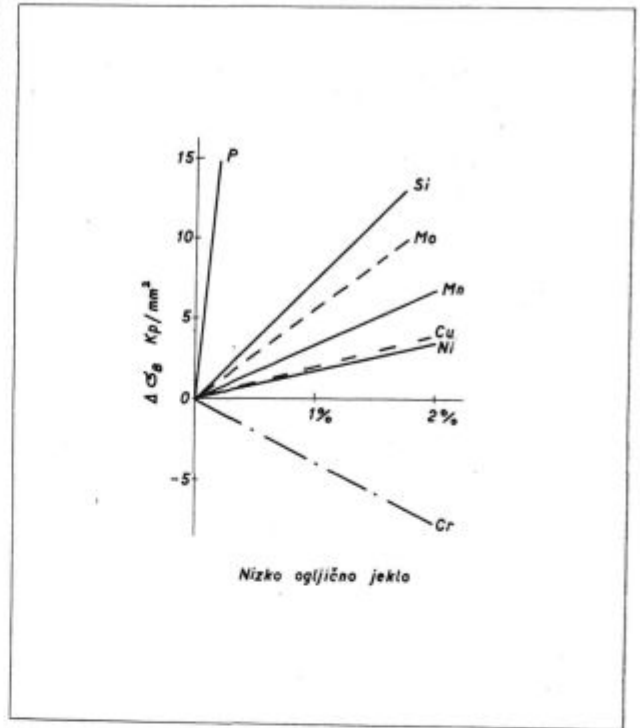
V jeklu povzročata tvorbo kombiniranega FeMo karbida. Vpliv Mo na mejo plastičnosti in trdnosti je pomemben v glavnem za jekla, namenjena uporabi pri visoki temperaturi.

Navedel sem torej v kratkem, kako vplivajo dodatni elementi individualno na fizikalne lastnosti jekla. Seveda so ti vplivi pri različnih koncentracijah zelo različni, kar dokazujejo naslednji diagrami:



Slika 7  
Vpliv elementov substitucijskega tipa na mejo plastičnosti (Picherling — Gladman)

Iz diagramov vidimo, da posamezni elementi vplivajo močneje na mejo plastičnosti (sl. 7),



Slika 8  
Vpliv elementov substitucijskega tipa na trdnost (Picherling — Gladman)

drugi imajo bistveni vpliv na trdnost (sl. 8). S tem je pa podana možnost kombinacije elementov z ozirom na zahteve.

Povrnili bi se k osvajanju jekel s povišano mejo plastičnosti nad 40 kp/mm² v Železarni Jesenice. Vse raziskave smo izvršili najprej v laboratorijskem obsegu. Šarže v teži 6 kg so bile izdelane v visoko frekvenčni peči, prekovanе v palice ustreznih dimenzij, toplotno obdelane in izdelane iz delne probe mikro, za določevanje trdnosti na stroju S. A. D. A. M. E. L.; žilavostne probe so bile normalnih standardnih dimenzij. Poudariti moram, da smo vse žilavosti določevali vedno na probah z ostro zarezo.

Ko smo na osnovi eksperimentalnega dela preiskav VF šarže prišli do določenih rezultatov, smo prešli na naslednjo fazo polindustrijskih preiskav. Odlili in izvaljali smo v pločevino 8-tonske šarže posameznih optimalnih sestav jekla in v zadnji fazi smo preizkusili še industrijsko osvajanje. V tej fazi so bile izdelane šarže v 60-tonske elektro peči in predstavlja pravzaprav že redno proizvodnjo jekla teh kvalitet.

Za kontinuiteto dela odnosno lastnosti izhajamo iz čistega železa ARMCO:

- 0,001 % C
- 0 % Si
- 0,20—0,30 % Mn

Fizikalne lastnosti takega železa so:  
meja plastičnosti 12—15 kp/mm²  
trdnost 20—25 kp/mm²  
raztezek min. 30 %

Dodajmo Armcu nekaj ogljika in silicija za pomirjenje jekla pri sestavi

0,07—0,10 % C  
0,15—0,30 % Si  
0,20—0,35 % Mn  
maks. 0,050 % P  
maks. 0,050 % S  
0,020—0,040 % Al

dosežemo fizikalne lastnosti in sicer:

meja plastičnosti min. 18 kp/mm<sup>2</sup>  
trdnost 37—45 kp/mm<sup>2</sup>  
raztezek min. 20 %

Se vedno je nizka meja plastičnosti. Povišamo jo lahko z dodatkom ogljika. Z ozirom na  $C_{ekv}$ , na drugi strani pa zaradi deleža lamelnega perlita v strukturi je pri konstrukcijskih jeklih višina ogljika omejena z maks. 0,20 %. Dodamo torej prej omenjenemu jeklu 0,20 % C.

Pri sestavi

0,20 % C  
0,15—0,35 % Si  
0,20—0,35 % Mn  
maks. 0,050 % P  
maks. 0,050 % S  
0,020—0,040 % Al

dosežemo lastnosti:

— meja plastičnosti min. 24 kp/mm<sup>2</sup>  
— trdnost 41—50 kp/mm<sup>2</sup>  
— raztezek min. 20 %

Omenil sem že, da predstavlja meja 0,20 % zgornjo mejo za ogljik, ker sicer zaradi naraščanja deleža lamelnega perlita v strukturi zvišuje temperaturo prehoda iz žilavega v krhki lom.

Zgornji podatki povedo, da smo do kraja izkoristili vpliv tistega elementa v jeklu, ki vpliva direktno na izoblikovanje Cottrellovega dislokacijskega oblaka in s tem na višino meje plastičnosti.

Za dosego višjih vrednosti meje plastičnosti moramo torej poseči po elementih substitucijskega tipa Mn, Si, Ni, V, Nb, Mo.

Dodatek mangana:

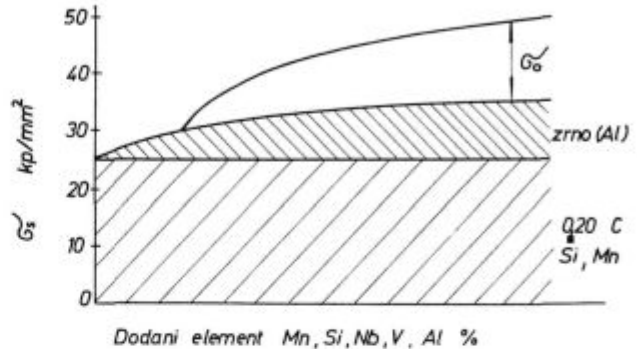
0,15—0,18 % C  
0,25—0,50 % Si  
1,30—1,50 % Mn  
maks. 0,045 % P  
maks. 0,045 % S  
0,020—0,040 % Al

S tem dosežemo fizikalne lastnosti:

meja plastičnosti min. 36 kp/mm<sup>2</sup>  
trdnost 52—62 kp/mm<sup>2</sup>  
raztezek 5 d min. 20 %

To je tako imenovano jeklo St 52, oziroma Č 0562 po JUS, ki je osnova za nadaljnje raziskovalno delo na področju osvajanja jekla s povišano mejo plastičnosti, oziroma mikrolegiranih jekel.

Ker je torej meja plastičnosti 36 kp/mm<sup>2</sup> nekak start za nadaljnje delo, bom poizkušal vpliv posameznih elementov do te vrednosti meje plastičnosti prikazati tudi grafično. Glej sliko 9!



Slika 9

Vpliv nekaterih elementov na mejo plastičnosti

Zaključimo torej lahko, da z dodatkom ogljika do 0,20 % dosežemo maksimalno mejo plastičnosti, odgovarjajoče dodanemu elementu. Vsako nadaljnje povišanje meje plastičnosti je pa povezano na dodatek elementov, ki vplivajo indirektno na gibanje dislokacijskega oblaka, to je na »sigma 0«.

Pomemben vpliv na »sigma 0« in vlogo pri osvajanju fino zrnatih mikrolegiranih jekel imata elementa Nb in V. Zato bom vpliv teh elementov obdelal bolj podrobno:

## NIOB

V jeklu tvori ob prisotnosti ogljika in dušika kubični Nb(C) odnosno kubični NbN. Z ozirom na to, da imamo v jeklu vedno oba elementa, je razumljivo, da se bo z ozirom na koncentracijo ogljika in N delež kombiniranega Nb(CN) spreminjal.

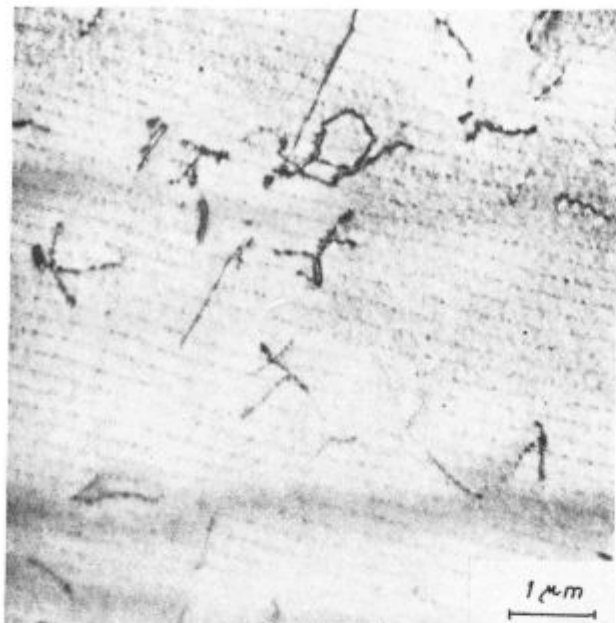
Vpliv Nb je naslednji:

— v trdni raztopini avstenita zavira difuzijo ogljika

— lahko se izloči v avstenitu, pogosto tvori inkoherentne izločke, ki zavirajo rast avstenitnih kristalnih mej, predvsem v normaliziranem stanju

— izloči se v feritu v koherentni obliki, vedno takrat, kadar jeklo relativno hitro ohladimo iz temperature topnosti Nb v avstenitu v feritno področje. Posledica tega je močno utrjenje ferita.

Izločki, ki se pojavljajo ob progresivni transformaciji gama-alfa, imajo karakteristično obliko; izločeni so v regularni obliki, kot to kaže slika 10.



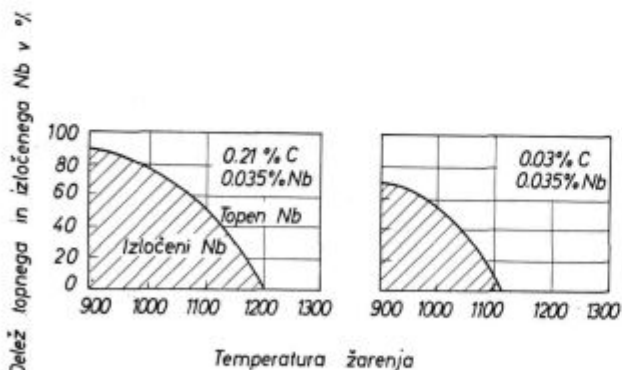
Slika 10

Izločki Nb (C, N) — normalizirano pri 1200° C (Economopoulos — Greday)

Vpliv Nb je torej povezan z njegovo topnostjo, oziroma obliko izločkov karbonitridov, oziroma karbidov. Topnost Nb v odvisnosti od ogljika prikazuje naslednji diagram na sliki 11.

Ta diagram velja za stabilno stanje, žarjenje jekla pri določenih temperaturah 100 min. Izločki Nb C v inkoherentni obliki dosežejo velikost 100—500 Å, če se tvorijo pri nizki temperaturi, oziroma 2000 Å, če se tvorijo pri visokih temperaturah. Vpliv Nb na višino meje plastičnosti pa kaže diagram na sliki 12.

Ta diagram velja za popolno stabilno stanje, to žarjenje jekla 60 min. pri določeni temperaturi, ohlajevanje na zraku in žarjenje 1 uro pri 600° C.

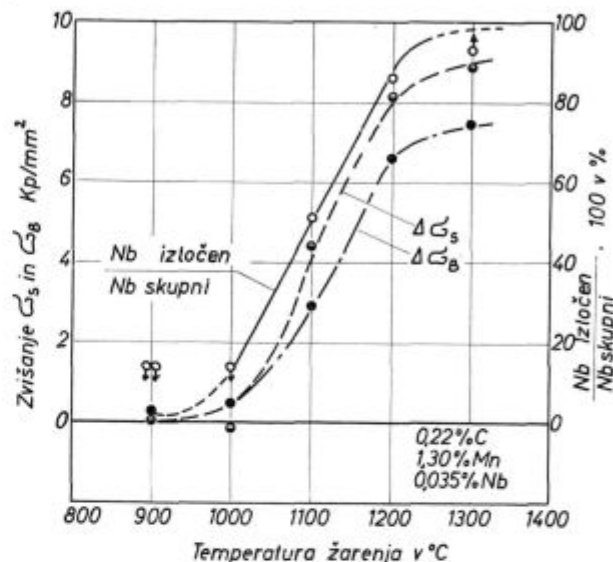


Slika 11

Topnost Nb (C, N) v avstenitu v odvisnosti od ogljika

Poleg karbida je pomemben Nb tudi kot nitridotvorec. Afiniteta Nb do dušika je izredno visoka, podobno kot pri Al. Niobov nitrid, oziroma karbonitrid je zelo stabilen in vpliva na fino primarno in sekundarno kristalizacijo, kakor tudi

utrjenje ferita. Do danes še ni precizirano, kakšen delež dušika je ob prisotnosti Nb in Al vezan na en ali drugi element. V praksi izkoriščamo Nb kot karbidotvorni element, zato pri izdelavi jekla pazimo posebno na to, da dodamo Al za dezoksidacijo v peč in kot prvi dodatek v ponovcu. Praksa nam ni dokazala, da bi Nb reduciral že stvorjeni Al.

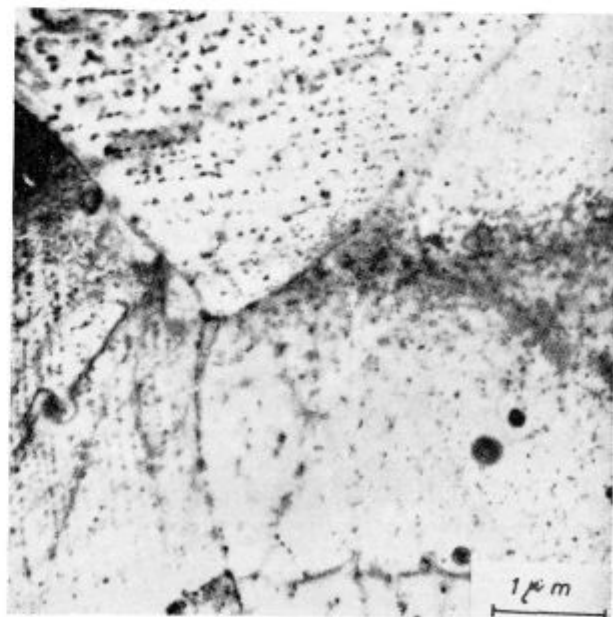


Slika 12

Vpliv izločenega Nb (C, N) na mejo plastičnosti

### Vanadij

Vanadij se ponaša v jeklu v manjših koncentracijah pod 0,25 % podobno kot Nb. Ob prisotnosti ogljika in dušika tvori vanadijev karbid ali vanadijev nitrid.



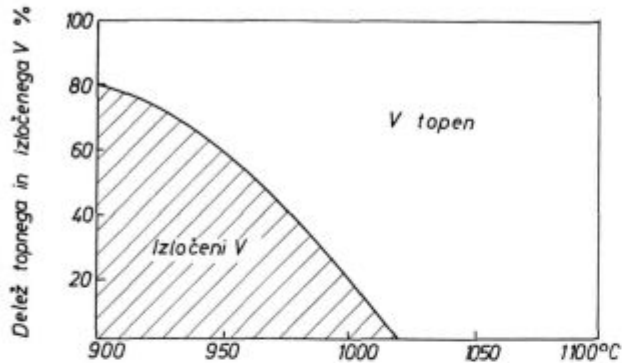
Slika 13

Izločki V<sub>2</sub>C — normalizirano pri 950° C (Economopoulos — Greday)

Vanadijev karbid (sl.13) je pri finoizrnatih nizkoogljivičnih jeklih dokaj nestabilen.

Krivulja topnosti vanadijevega karbida pri jeklu z 0,20 % C je podana z naslednjim diagramom na sliki 14.

Vanadijev karbid torej nad temperaturo 1000°C preide v trdno raztopino, kar je za toplotno obdelavo jekla vedno zaželeno.

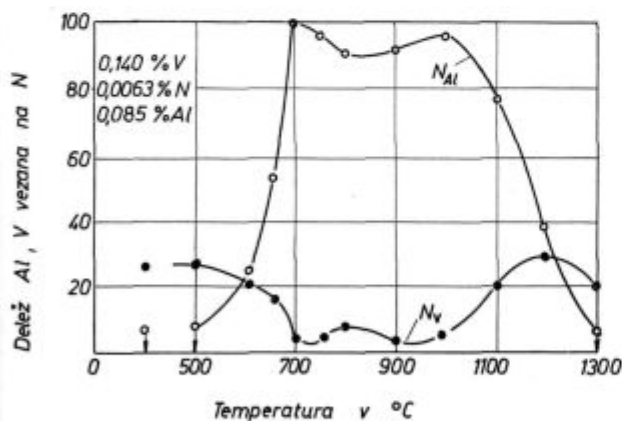


Slika 14  
Topnost V<sub>4</sub>C<sub>3</sub> v avstenitu (Mayer — Schanwinhold)

Poleg karbidov tvori vanadij tudi nitrid. Vanadijev nitrid je pri osvajanju finoizrnatih jekel manjšega pomena z ozirom na nestabilnost ob prisotnosti ostalih elementov Nb in Al.

Ponašanje dušika ob prisotnosti Al in V prikazuje slika 15

Kako opisano ponašanje Nb in V izkoristimo v praksi pri osvajanju finoizrnatih jekel pa kažejo naslednji praktični rezultati:



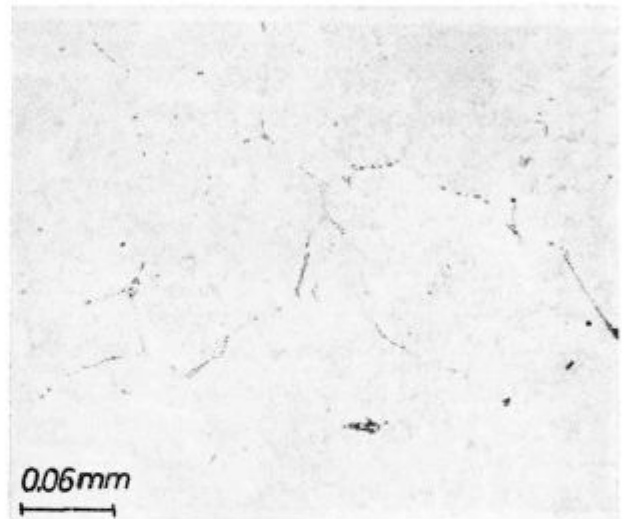
Slika 15  
Ponašanje dušika ob prisotnosti Al in V

### KOMBINACIJA Mn-Nb

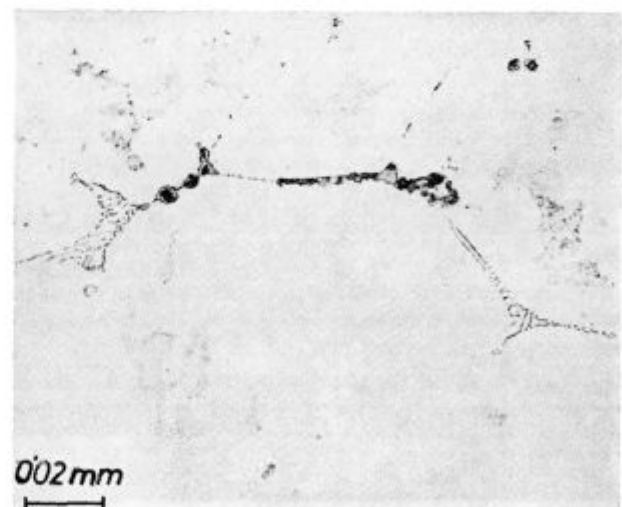
Previsoka koncentracija Nb v jeklu ni zaželeno; zgornjo mejo predstavlja dodatek 0,10 %. Pri višjih koncentracijah Nb se pri nepravilnem postopku valjanja jekla lahko izloči NbC na kristalnih mejah, kar seveda vpliva negativno na fizikalne lastnosti jekla. (Slika 16, 17.)

Tabela 2 — Mehanske lastnosti jekla pri kombinaciji Mn—Nb

Sarža	% C	% Si	% Mn	% Al	% Nb
VF 190	0,16	0,30	1,40	0,038	0,09
Meja plastičnosti			44,2 kp/mm <sup>2</sup>		
Trdnost			56,3 kp/mm <sup>2</sup>		
Raztezek δ <sub>5</sub>			36 %		
Kontrakcija			72 %		
Žilavost — V Notch			18,4 mkp/cm <sup>2</sup> (+ 20°)		



Slika 16  
Izločanje Nb C po kristalnih mejah, 200 ×



Slika 17  
Izločanje Nb C po kristalnih mejah, 500 ×

### KOMBINACIJA Mn-Nb-N

Pri šarži VF 511 dosežemo torej pri nižji koncentraciji ogljika višjo mejo plastičnosti. Dušik je nadomestil ogljik.

Tabela 3 — Mehanske lastnosti jekla pri kombinaciji Mn—Nb—N

Šarža	% C	% Si	% Mn	% Nb	% Al	% N
VF 508	0,15	0,74	1,56	0,06	0,042	0,0079
VF 511	0,12	0,74	1,54	0,05	0,022	0,0234

Sarža	$\sigma_s$ kp/mm <sup>2</sup>	$\sigma_B$ kp/mm <sup>2</sup>	$\delta_s$	$\psi$ %
VF 508	45,9	59,6	27	72
VF 511	47,8	57,6	25	73,4

Sarža	Zilavost mkp/cm <sup>2</sup> — zarez V Notch			
	Normalizirano		Starano	
	+ 20° C	0° C	20° C	
VF 508	22,0	22,1	18,7	19,8
VF 511	25,3	22,5	21,0	22,5

## VPLIV ALUMINIJA

Praksa kaže, da ima tudi Al svoj vpliv na mejo plastičnosti. Kako si lahko razlagamo ta vpliv? Dejstvo je, da pri šaržah 515 in 516 ni zaslediti staranja, torej je dušik vezan na NbN. Ni izključeno, da je povišanje meje plastičnosti pri šaržah z Al vezano na utrjenje ferita in ne na finožrnato primarno in sekundarno kristalizacijo, ki je posledica Al v jeklu. (Tabela 4.)

Tabela 4 — Vpliv Nb in Al na staranje jekla

Sarža	% C	% Si	% Mn	% Nb	% Al
VF 513	0,15	0,76	1,39	0,08	0,042
VF 514	0,14	0,72	1,18	0,07	0,053
VF 515	0,15	0,64	1,39	0,06	0,00
VF 516	0,14	0,71	1,38	0,06	0,002

Sarža	$\sigma_s$ kp/mm <sup>2</sup>	$\sigma_B$ kp/mm <sup>2</sup>	$\delta_s$ %	$\psi$ %
VF 513	47,2	59,0	28,3	69,8
VF 514	48,7	58,8	26,7	72,3
VF 515	45,8	58,3	28,3	69,0
VF 516	47,3	58,8	27,5	68,7

Sarža	Zilavost mkp/cm <sup>2</sup> — zarez V Notch					
	Normalizirano			Starano		
	+ 20° C	— 20° C	— 40° C	+ 20° C	— 20° C	— 40° C
VF 513	21,7	18,9	23,1	20,1	18,2	18,0
VF 514	20,4	20,9	21,8	20,4	20,1	20,5
VF 515	23,3	22,0	21,9	20,1	19,3	19,7
VF 516	22,0	21,1	16,8	14,1	16,4	11,3

## KOMBINACIJA Mn-V

Tabela 5 — Mehanske lastnosti jekla pri kombinaciji Mn—V

Sarža	% C	% Si	% Mn	% V	% Al
VF 223	0,16	0,58	1,33	0,09	0,019
VF 225	0,15	0,63	1,26	0,16	0,038

Sarža	$\sigma_s$ kp/mm <sup>2</sup>	$\sigma_B$ kp/mm <sup>2</sup>	$\delta_s$ %	$\psi$ %
VF 223	46,8	62,5	23,3	66,5
VF 225	49,5	64,0	23,6	63,4

Sarža	Zilavost mkp/cm <sup>2</sup> — zarez V Notch		
	+ 20° C	0° C	— 20° C
VF 223	15,0	18,1	15,7
VF 225	14,8	15,6	15,0

## KOMBINACIJA Mn-Nb-V

Tabela 6 — Mehanske lastnosti jekla pri kombinaciji Mn—Nb—V

Sarža	% C	% Si	% Mn	% V	% Nb	% Al	% N
VF 518	0,14	0,65	1,44	0,07	0,035	0,020	0,0041
VF 519	0,14	0,66	1,45	0,08	0,023	0,030	0,0042

Sarža	$\sigma_s$ kp/mm <sup>2</sup>	$\sigma_B$ kp/mm <sup>2</sup>	$\delta_s$ %	$\psi$ %
VF 518	48,6	60,4	26,7	71,2
VF 519	47,1	61,2	26,2	70,1



Sarža	Zilavost mkp/cm <sup>2</sup>			
	Normalizirano		Starano	
	+ 20° C	0° C	+ 20° C	0° C
VF 518	20,4	20,3	19,6	18,6
VF 519	21,4	21,0	18,5	18,6

Podobne rezultate meje plastičnosti smo dosegli pri saržah z Nb. Zakaj torej še dodatek V?

Jekla z Nb so občutljiva na pogoje valjanja in zahtevajo posebne pogoje predelave. Z ozirom na to, da v praksi teh pogojev ni mogoče vedno zagotoviti, poleg tega pa jekla z vanadijem niso tako občutljiva na valjanje, dosežemo s to kombinacijo mikrolegiranja v praksi bolj stabilne rezultate.

### Kako vpliva ogrevanje Nb-V jekla pri predelavi na mejo plastičnosti

Finozrnata jekla s povišano mejo plastičnosti se mnogokrat predelujejo s predgrevanjem. Potrošniki (se) sprašujejo do katere temperature lahko jeklo segrejejo za lažje preoblikovanje, ne da bi pri tem poslabšali mehanske lastnosti. Vpliv predgrevanja pri oblikovanju na fizikalne lastnosti je pa razviden iz naslednjih tabel, in sicer:

Tabele 7 za Mn-Nb jeklo

Tabele 8 za Nb-V jeklo

V obeh primerih torej zasledimo v dvofaznem območju padec meje plastičnosti in narastek trdnosti. Predpostavljam, da je to povezano s koagulacijo izločkov, povišana trdnost pa je posledica razmešanja trdne raztopine.

Predpostavljam, da je ponoven dvig meje plastičnosti pri višjih temperaturah povezan s homogenizacijo avstenitne strukture in dodatno difuzijo Nb.

Te preiskave pa dokazujejo, da se morajo preoblikovalci jekla ogibati predgrevanja jekla v dvofaznem območju, to je 720–800°.

### Nagnjenost jekla Nb-V k napuščni krhkosti

Določene konstrukcije moramo napetostno odžariti. Z ozirom na to se postavlja vprašanje nagnjenosti NbV jekel k napuščni krhkosti. Rezultati tozadevnih preiskav so razvidni iz tabele 9

O vplivu Nb in V na mejo plastičnosti je postavljenih več teorij. Na osnovi teoretskega razglabljanja in praktičnega raziskovalnega dela lahko definiramo vplive obeh elementov na mejo plastičnosti, kakor sledi:

Vpliv Nb je dvojen: v obliki nekoherentnih izločkov vpliva na finozrnato primarno kristaliza-

Tabela 7 — Vpliv temperature žarenja na fizikalne lastnosti Nb jekla

Sarža	% C	% Si	% Mn	% Nb	% Al
E 3829	0,18	0,30	1,58	0,12	0,05

Temperatura °C	$\sigma_s$ kp/mm <sup>2</sup>	$\sigma_B$ kp/mm <sup>2</sup>	$\delta_5$ %	$\psi$ %
20	45,9	62,8	25	61
550	47,8	60,5	32,5	63,4
600	47,4	60,1	30,8	61,0
650	46,2	58,0	28,3	64,0
700	45,4	57,3	27,5	62,7
750	45,0	80,9	16,7	17,6
800	43,4	65,3	26,5	58,0
850	48,6	62,0	28,5	64,4
900	47,5	60,8	29,0	61,8

Čas žarenja 60 minut

Tabela 8 — Vpliv temperature žarenja na fizikalne lastnosti Nb—V jekel

Sarža	% C	% Si	% Mn	% Nb	% V	% Al
E 3833	0,17	0,35	1,50	0,048	0,11	0,006

Temperatura °C	$\sigma_s$ kp/mm <sup>2</sup>	$\sigma_B$ kp/mm <sup>2</sup>	$\delta_5$ %	$\psi$ %
20	48,4	62,5	29,5	60,2
550	48,6	62,9	29,2	60,2
600	48,4	62,6	28,3	63,8
650	48,2	61,5	26,6	60,8
700	47,4	58,5	28,3	63,8
750	42,8	70,0	23,3	49,4
800	44,7	64,0	27,6	61,0
850	48,0	63,4	28,0	63,3
900	49,4	63,0	28,0	63,5

Tabela 9 — Napuščna krhkost Nb—V jekla

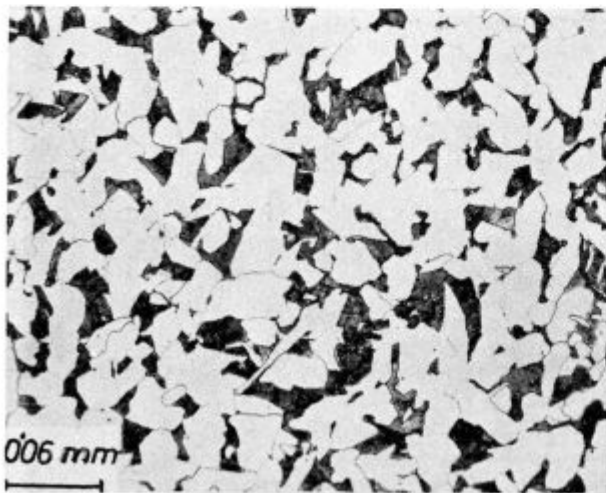
Sarža	% C	% Si	% Mn	% V	% Nb	% Al
EL 1426	0,18	0,35	1,38	0,05	0,046	0,036

Temperatura obdelave °C	Žilavost mkp/cm <sup>2</sup> — zarez V Notch			
	Norma- lizirano	Starano	Norma- lizirano	Starano
	30 minut na temperaturi		60 minut na temperaturi	
20	13,5	8,0	13,8	5,8
450	13,1	7,0	14,6	5,9
500	15,0	5,75	14,4	6,4
550	13,8	5,6	13,8	6,7
600	14,4	6,35	13,8	5,1
650	14,1	5,60	15,5	6,0
700	15,3	5,60	14,9	5,6

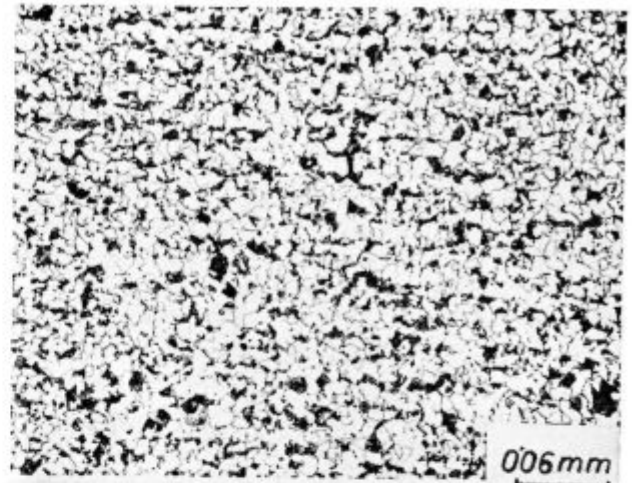
cijo jekla. Drugi del Nb pa skupaj z V vpliva v obliki koherentnih izločkov na utrjenje ferita.

Velikost teh izločkov je 200—400 Å. Ti izločki vplivajo na mejo plastičnosti z blokiranjem dislokacij in omejujejo sposobnost za drsenje kristalov. Čim manjši so ti izločki, večji je vpliv na mejo plastičnosti. Zato dobimo optimalno velikost in razporeditev izločkov s posebnim načinom valjanja in deformacijo jekla neposredno nad točko Ac<sub>3</sub>.

Vpliv strukture na fizikalne lastnosti je razviden tudi iz primerjave metalografskih struktur. Medtem ko ugotovimo pri navadnem jeklu kvalitete Č 0445 grobožrnato strukturo ferita in perlita (sl. 18 × 200), pa kaže finožrnato jeklo na bazi mangana značilno trakasto strukturo z izredno gostimi perlitnimi lamelami (sl. 19 × 200)



Slika 18  
Struktura jekla z 0,18 % C in 0,55 % Mn — 200 ×



Slika 19  
Struktura jekla Nioval, 200 ×

Na osnovi laboratorijskih in polindustrijskih preizkusov smo osvojili dve vrsti finožrnatih jekel, in sicer:

— Niobal 43, na bazi Nb z mejo plastičnosti min. 43 kp/mm<sup>2</sup>

— Nioval 47, na bazi Nb-V z mejo plastičnosti min. 47 kp/mm<sup>2</sup>

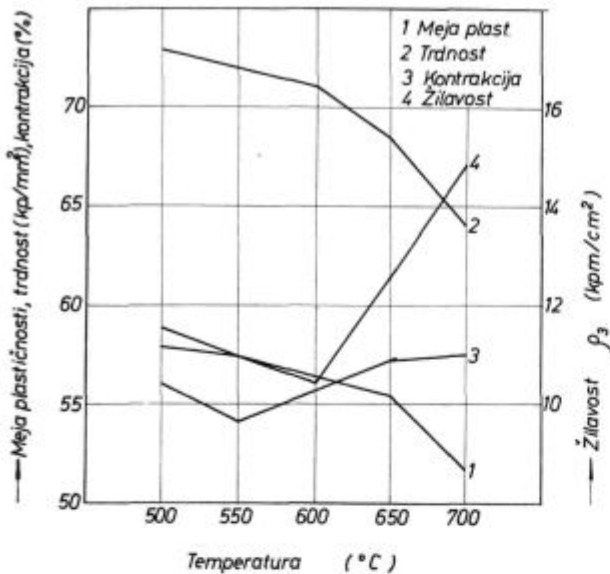
Poleg omenjenih jekel z mejo plastičnosti 43, oziroma 47 kp/mm<sup>2</sup> pa uvajamo v železarni tudi že industrijsko proizvodnjo jekla Nioval 50 z mejo plastičnosti min. 50 kp/mm<sup>2</sup> na bazi Ni in V. Fizikalne lastnosti so razvidne iz tabele 10.

Tabela 10 — Fizikalne lastnosti jekla Nioval 50 na bazi Ni in V

C 0,16 %	δ <sub>s</sub> min. 50 kp/mm <sup>2</sup>
Si 0,40 %	δ <sub>B</sub> 60—85 kp/mm <sup>2</sup>
Mn 1,40 %	δ <sub>5</sub> min. = 1200
P maks. 0,020 %	trdnost
S maks. 0,020 %	
Ni 0,50 %	Žilavost DVM mkp/cm <sup>2</sup>
V 0,15 %	+ 20° 0° —40° —60°
Al 0,40 %	9 5,5 5 4

Jeklo je izredno občutljivo na toplotno obdelavo in je poleg normalizacije potrebno občasno vpeljati dodatno operacijo — napuščanje jekla. Vpliv toplotne obdelave na fizikalne lastnosti je razviden iz diagrama na sliki 20.

Istočasno smo pa preiskave usmerili tudi v osvajanje jekla s povišano mejo plastičnosti in povečano obstojnostjo proti atmosferski koroziji z drugimi dodatki.



Slika 20

Mehanske lastnosti normaliziranih in na različnih temperaturah popušanih vzorcev

### KOMBINACIJA Mn-Nb-Cu

Tabela 11 — Mehanske lastnosti jekla pri kombinaciji Mn — Nb — Cu

Sarža	% C	% Si	% Mn	% Nb	% Cu	% Al
VF 917	0,14	0,38	1,21	0,053	0,14	0,038
VF 935	0,16	0,47	1,40	0,065	0,37	0,060
VE 936	0,16	0,46	1,38	0,060	0,56	0,057

Normalizirano 910° C

Sarža	$\sigma_s$ kp/mm <sup>2</sup>	$\sigma_n$ kp/mm <sup>2</sup>	$\delta_5$ %	$\psi$ %
VF 917	42,0	52,5	32	72
VF 935	45,0	57,5	30	72,4
VF 936	44,5	55,0	26	61

Sarža	Žilavost m kp/cm <sup>2</sup>		
	+ 20° C	0° C	- 20° C
VF 917	18,2	19,2	18,1
VF 935	22,0	15,8	17,5
VF 936	17,8	16,9	18,8

Ob konstantni toplotni obdelavi, to je normalizaciji z narastkom Cu, narašča meja plastičnosti ob zadovoljivi žilavosti

### KOMBINACIJA Mn-Cr-Cu-Ni-Nb

Tabela 12 — Mehanske lastnosti jekla pri kombinaciji Mn — Cr — Cu — Ni — Nb

Sarža	% C	% Si	% Mn	% Cr	% Ni	% Cu	% Nb	% Al
VF 1633	0,15	0,29	1,00	0,63	0,50	0,34	0,06	0,045

Meja plastičnosti 47,9 kp/mm<sup>2</sup>

Trdnost 62,0 kp/mm<sup>2</sup>

Raztezek 28 %

Kontrakcija 76 %

Žilavost m kp/cm<sup>2</sup>

+ 20° C	0° C	- 20° C	- 40° C	- 60° C
20,0	21,1	19,3	19,7	18,75

Žilavost — starano  
18,0 — deformacija 5 %  
17,0 — deformacija 10 %

Vidimo lahko, da ob dodatku Cu in ostalih elementov dosežemo relativno visoko mejo plastičnosti ob istočasno močno povečani obstojnosti jekla proti atmosferski koroziji. Na teh osnovah je osvojena proizvodnja jekla s povišano mejo plastičnosti in povečano obstojnostjo proti atmosferski koroziji v kvalitetah:

— Nionicral 40 z mejo plastičnosti min. 40 kp/mm<sup>2</sup>

— Nionicral 45 z mejo plastičnosti min. 45 kp/mm<sup>2</sup>

Jekla so dobro varljiva.

### ZAKLJUČEK

V referatu sem se dotaknil teoretskih osnov in vplivov posameznih elementov na višino meje plastičnosti. V drugem delu sem poizkušal povezati teoretske vplive s praktičnim delom osvajanja mikrolegiranih fino zrnatih jekel v Železarni Jesenice. Rezultat tega dela je sedem vrst konstrukcijskih jekel s povišano mejo plastičnosti in garantirano varljivostjo. Določena jekla pa imajo tudi povišano odpornost proti atmosferski koroziji.

Pregled tega kvalitetnega asortimenta in fizikalnih lastnosti je razviden iz naslednjih tabel. (13, 14, 15)

Ob vsem tem se postavlja vprašanje, ali predstavljajo omenjene kombinacije elementov pri določenih kvalitetah jekel optimalno rešitev glede lastnosti in ekonomike proizvodnje. S tem v zvezi moram dati naslednje pojasnilo:

Tabela 13 — Kemične sestave finožrnatih jekel

	% C	% Si	% Mn	% Cr	% Ni	% Cu	% Mo	% P	Nb	V	Al
Niobal 43	max. 0,20	0,40	1,50	—	—	—	—	—	0,05	—	+
Nioval 47	max. 0,20	0,40	1,50	—	—	—	—	—	0,04	0,06	+
Nioval 50	max. 0,20	0,40	1,50	—	0,50	—	—	—	—	0,15	+
Nionicral 40	max. 0,18	0,40	0,70	0,50	0,50	0,35	—	—	+	—	+
Nionicral 45	max. 0,19	0,40	0,50	0,50	0,65	0,35	—	—	+	—	+
Nionicral 60	max. 0,15	0,30	0,40	1,50	2,50	—	0,40	—	—	—	+
Je-Kor 35	max. 0,14	0,50	0,40	0,50	0,50	0,40	—	0,09	—	—	+

Tabela 14 — Mehanske lastnosti finožrnatih jekel

Kvaliteta	Meja raztezanja v kp/mm <sup>2</sup> za pločevino debeline v mm				Trdnost v kp/mm <sup>2</sup>	Raztezek Sd %	Upogib. kot 180°
	do 10	10—15	15—25	nad 25 kp/mm <sup>2</sup>			
Niobal 43	44	43	43	42	55—70	min. 19	2,5a
Nioval 47	48	47	46	45	57—75	min. 18	3a
Nioval 50	50	50	49	48	62—75	min. 17	3a
Nionicral 40	41	40	40	39	50—65	min. 20	2a
Nionicral 45	46	45	45	44	55—70	min. 20	3a
Nionicral 60	60	60	60	60	70—85	min. 18	3a
Je-Kor 35	35	35	—	—	50—65	min. 20	2a

Tabela 15 — Žilavostne vrednosti finožrnatih jekel mkp/cm<sup>2</sup> (Proba V—Notch) v smeri valjanja

Kvaliteta	Nestarano stanje					Starano stanje		
	+20°C	0°C	-20°C	-40°C	-60°C	+20°C	0°C	-20°C
	mkp/cm <sup>2</sup>					mkp/cm <sup>2</sup>		
Niobal 43	8	7	6	4,0		6	5	
Nioval 47	6,5	6	5	4,5		6	5	
Nioval 50	7	6	5	4		6	5	
Nionicral 40	6	6	5	3,5		6	4	
Nionicral 45	6	6	5	3,5		6	4	
Nionicral 60	15	15	15	15	15	7	7	6
Je-Kor 35	6	6				3,5		

Dosedanje raziskovalno delo je bilo usmerjeno v osvajanje proizvodnje jekel v normaliziranem stanju, brez druge dodatne obdelave, ki bi pospešila utrjevanje ferita. Brez dvoma bi lahko pri jeklih, legiranih z Cu pa tudi z Nb in V dosegli z napuščanjem dodatne efekte. Vprašanje pa je, če je to ekonomsko upravičeno. Vsekakor je naslednja faza raziskovalnega dela na tem področju usmerjena na to, da na osnovi množice podatkov iz redne proizvodnje s pomočjo matematičnega modela in elektronskega računalnika postavimo optimalne meje v pogledu kemične sestave, fizikalnih lastnosti in seveda tudi ekonomike proizvodnje.

## Literatura:

1. L. Meyer — F. Schmidt — C. Strassburger: Einfluss von Niob und Vanadin auf das Gefüge und Eigenschaften perlitärmer aluminiumberuhigter Stähle. Stahl u. Eisen No 22-1969.
2. W. Dahl — H. Hengstenberg — H. Adrian: Einfluss von Legierungszusätzen auf die Festigkeitseigenschaften von höchsten schweißbaren Baustählen im normalgeglühten und luftvergüteten Zustand. Stahl u. Eisen No 12 1970.
3. J. M. Gary — W. Webster — J. H. Woodhead: Precipitation in mild steels containing small additions of ni-

- bium. Journal of The Iron and Steel Institute, avgust 1965.
4. W. E. Duckworth: New Steels and their Applications. Steel times annual review & Centenary Number 1966.
  5. H. Vogel — P. König — K. Heinz: Einfluss der Abbindung von Stickstoff durch Aluminium und Vanadin auf die mechanischen Eigenschaften von hochfesten Baustählen. Archiv für das Eisenhüttenwesen 1964 No 4.
  6. P. Mandry — R. Namdar — C. Wache: Precipitation de

- carbonitrides de niobium dans les aciers de construction soudables. Revue de Metallurgie No 7—8 1969.
7. M. Economopoulos — T. Greday: Recherches sur les aciers de construction soudables à haute résistance. C. N. R. M. No 1 1964.
  8. B. Morrison — H. Woodhead: The influence of small niobium additions on the mechanical properties of commercial mild steels. Journal of the Iron and Steel Institute No 1. 1963.

## ZUSAMMENFASSUNG

Für die Stahlkonstruktionen werden in immer größerem Masse Feinkornbaustähle mit einer höheren Plastizitätsgrenze und garantierter Schweißbarkeit angewendet. Auch im Hüttenwerk Jesenice ist eine umfangreiche Entwicklungsarbeit über die mikrolegierten Feinkornbaustähle durchgeführt worden.

Die theoretischen Grundlagen der Plastizitätsgrenze und die Einflussgrößen der mikrolegierten Elemente auf die physikalischen und Gefügeeigenschaften der schweißbaren Konstruktionsstähle werden beschrieben.

Die Versuchsschmelzen für die einzelnen Zusammenstellungen sind in einem Hochfrequenzofen gemacht worden. Einige der charakteristischen chemischen Zusammenstellungen mit den physikalischen Eigenschaften sind angegeben.

Auf Grund der laboratorischen Untersuchungen und der vorhandenen Anlagen für die Erzeugung und vor allem für die Verformung des Stahles ist die Produktion der mikrolegierten Feinkornbaustähle mit einer Plastizitätsgrenze von mindestens 43 kp/mm<sup>2</sup>, 47 kp/mm<sup>2</sup> und 50 kp/mm<sup>2</sup> auf folgender Basis entwickelt worden:

— Feinkornstähle mit Niob Zusatz, wobei die Konzentration dieses Elementes den Verformungsbedingungen, das heisst, dem möglichen Deformationsgrad des Stahles beim Walzen angepasst ist.

— Feinkornstähle mit Niob und Vanadium mikrolegiert, wobei die Vanadiumlegierten Stähle auf die Walzbedingungen weniger empfindlich sind.

— Weiter sind Untersuchungen über den Einfluss des Cr, Cu und Ni auf die Plastizitätsgrenze und auf die Erhöhung der Korrosionsbeständigkeit durchgeführt worden. Die Folge dieser Untersuchungen ist die Produktion der Wetterfesten Stähle, des Types »Nionical« mit einer höheren Plastizitätsgrenze von mindestens 40 bzw. 45 kp/mm<sup>2</sup> und höherer Beständigkeit gegen die Atmosphärische Korrosion. Diese Stähle sind für höherbeanspruchte Konstruktionen bei welchen auch höhere Korrosionsbeständigkeit verlangt wird bestimmt.

Der Wetterfestestahl Nionical 60 ist eine Spezialqualität mit hohen physikalischen Eigenschaften und eignet sich besonders für diejenige Konstruktionen, wo eine höhere Sprödbuchtsicherheit auch bei sehr niedrigen Temperaturen verlangt wird.

## SUMMARY

Steels with increased yield and guaranteed weldability are increasingly used for metallic structures. Also great corrosion resistance is demanded from these steels. In Jesenice Ironworks investigation was made to produce high quality steels with addition of microalloying elements.

Theoretical basis of the yield point is given and basic influences of added elements on physical and structural properties of weldable structural steels are described.

Test melts of various steel compositions were made in high frequency electrofurnace. In the paper some characteristic chemical compositions of steel and its physical properties are presented.

Based on experiments, available set-ups for production and especially for working of steel, the production of the following microalloyed fine grained steels with increased yield of over 43, 47 and 50 kp/mm<sup>2</sup> started under the conditions:

— in steels with added niobium, concentration of this element was adjusted to working conditions i. e. to the possible deformation step in hot rolling,

— steels with combination of added elements niobium-vanadium were made under supposition that steels with added vanadium are less sensitive for the rolling conditions.

Experimentally mainly the influence of added elements Cr, Cu and Ni on the yield point was studied beside their influence on the increased corrosion resistance. Result of these investigations was the production of Nionical steel type with yield points over 40 or 45 kp/mm<sup>2</sup> and increased corrosion resistance. These steels are intended for more exacting structures where the mentioned technological properties are demanded.

Nionical 60 steel is a special steel with high physical properties and intended for structures with high resistance to fragile fracturing even at very low temperatures.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для металлоконструкций всё чаще применяются стали с повышенным пределом пластичности и гарантированной свариваемости. Кроме этого от стали требуется повышенное сопротивление воздействию атмосферной коррозии. Чтобы удовлетворить требованию в металлургическом заводе Есенице (Zelezarna Jesenice) велось исследование о освоении сортов стали высокого качества при добавке микролегировующих элементов.

Приведены теоретические основания предела пластичности и дано описание основных влияний добавочных элементов на физические и структурные качества сваривающихся конструкционных сталей. Опытные расплавы переменного химического состава

плавил в высокочастотной печи. В статье поданы некоторые из этих сталей, их химическое содержание и физические свойства. На основании опытов, взявши во внимание агрегаты которые были в распоряжении для изготовления а в особенности для переработки стали, в заводе Есенице освоили производство микролегированной мелко-зернистой стали предела пластичности свыше 43 кл/мм<sup>2</sup>, 47 кл/мм<sup>2</sup> и 50 кл/мм<sup>2</sup> взяв во внимание следующие основания:

— сталь с добавкой Nb, с тем что концентрация этого элемента соответствует условиям переработки, т. е. возможной степени деформации стали при горячей прокатки,

— сталь на основании комбинации элементов Nb — V, взявши во внимание, что добавка уменьшает чувствительность стали на условия прокатки.

Опытное исследование обхватило также добавок элементов Cr, Cu и Ni т. э. их влияние на предел пластичности а также и на повышенное сопротивление действию атмосферной коррозии.

Результаты этих исследований производство стали марок Nioisgal с повышенным пределом пластичности свыше 40 кп/мм<sup>2</sup>

и 45 кп/мм<sup>2</sup> и повышенным сопротивлением на в действие атмосферной коррозии. Этот сорт стали предназначен для более обременённых конструкции от которых требуется чтобы они удовлетворяли упомянутым технологическим свойствам. Сталь марки Nioisgal-60 представляет собой специальный сорт стали с высокими физическими свойствами; эта сталь предназначена для сооружений от которых требуется высокое сопротивление на хрупкость также при пониженных температурах.

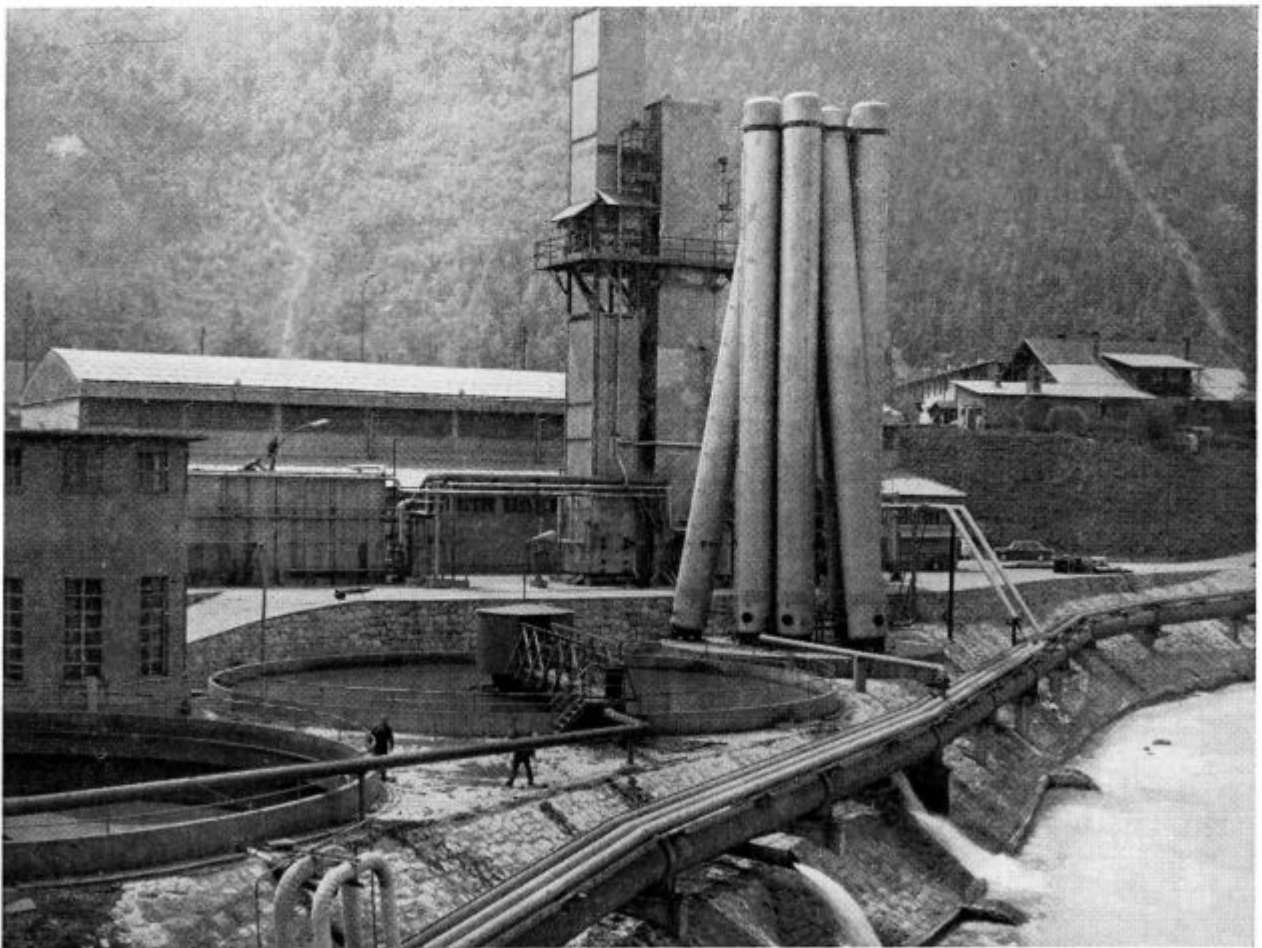
## Problematika varjenja finozrnatih mikrolegiranih jekel\*

Da se izognemo pojavu večjih ali manjših razpok na zvarih jekla Č 0562 odnosno St 52-3 z mejo plastičnosti min. 36 kp/mm<sup>2</sup> moramo jeklo predgrevali. Varjenje finozrnatih jekel z mejo plastičnosti nad 40 kp/mm<sup>2</sup> zahteva še večjo pazljivost, ker lahko dodani elementi v mikro količinah bistveno vplivajo na spremembo strukture v prehodni coni.

V članku je opisana problematika varjenja prvega objekta izdelanega iz jekla Nioval 47 z mejo plastičnost min. 47 kp/mm<sup>2</sup> in obdelan vpliv dovedene primarne in sekundarne energije na izoblikovanje trdote v prehodnih conah zvara.

Finozrnata mikrolegirana jekla se z ozirom na visoko mejo plastičnosti uporabljajo za močno obremenjene varjene konstrukcije. Uporaba teh jekel je zelo ekonomična in omogoča izdelavo estetsko oblikovanih konstrukcij.

Literaturni podatki kažejo, da pri jeklu s povišano mejo plastičnosti dosežemo prihranek na teži konstrukcije tudi do 50 % v primerjavi s klasičnim jeklom Č 0345. Razumljivo je, da je z ozirom na visoko obremenitev teh jekel upravičena zahteva po odgovarjajočih mehanskih lastnostih, predvsem žilavosti in temperaturi prehoda iz žilavega v krhki lom pri nizki temperaturi, na drugi strani pa garantirana varivost.



Slika 1  
Visokotlačne posode za kisik izdelane iz jekla Nioval 47, postavljene v kisikarni Železarne Jesenice

\* Predavanje na strokovnem posvetovanju metalurgov v Mariboru oktobra 1971

Ni namen poročila obravnavati raziskave in objektivnost posameznih preizkusov za ugotavljanje varivosti materiala. Niti ni namen poročila, da bi obravnavali vpliv posameznih elementov v jeklu na varilno tehnične lastnosti jekla. V referatu bi rad obdelal praktični primer problemov varivosti materiala NIOVAL 47, ki smo jih raziskovali, in sicer vpliv varilnih parametrov in predgrevanja na varivost jekla. S tem poročilom bi rad prikazal vplive varilnih tehnologov in varilcev na kvaliteto zvara, oziroma zvarjene konstrukcije in pogled metalurga na probleme varjenja konstrukcij, izdelanih iz finozrnatih jekel s povišano mejo plastičnosti.

Eno izmed podjetij kovinsko predelovalne industrije je izdelalo za Železarno Jesenice visokotlačne posode za kisik. Osnovni podatki:

višina visoko tlačne posode	21,50 m
premer	1,57 m
volumen	40 m <sup>3</sup>
obratovalni pritisk	30 Atm
preizkusni pritisk	39 Atm

Visokotlačne posode, v celoti 9 kom., je projektiral Tehniški biro Jesenice. Prvotno je bila izbrana kvaliteta jekla Č 1205.

Meja plastičnosti min. 24 kp/mm<sup>2</sup> je zahtevala za posodo debelino pločevine 22 mm. Z ozirom na to, da smo prav v tem času zaključevali osvajanje finozrnatega jekla Nioval 47, smo za objekt izbrali to kvaliteto jekla, z mejo plastičnosti min. 47 kp/mm<sup>2</sup> in s tem je bila potrebna debelina pločevine le 12 mm. Torej smo pri tem objektu prihranili pri uporabi visokovrednega materiala.

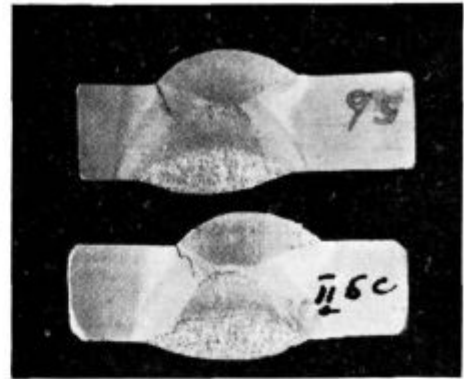
Podjetje še ni imelo izkušenj s predelavo jekla Nioval 47 in zato izvajalec ni akceptiral zahteve po predgrevanju materiala pri varenju zaradi tehničnih težav. Železarna je na ta kompromis pristala z ozirom na to, da je debelina pločevine 12 mm in pri pazljivem varjenju ne bi bilo nevarnosti za nastopanje martenzita, oziroma mikro razpok v prehodni coni.

Pri rentgenskem pregledu zvarov prve visoko tlačne posode na preskok je nadzorni organ zasledil na nekaterih mestih manjše razpoke. Zato je bilo dogovorjeno, da se izvrši rentgenografska kontrola zvara po vsej dolžini. Pri tem je bilo ugotovljeno, da so razpoke kratke do 12 mm in je bilo na vsej dolžini opaziti ca. 14 problematičnih mest.

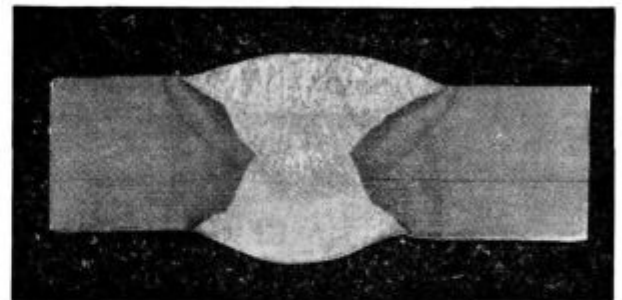
#### METALOGRAFSKA PREISKAVA ZVAROV

Na izrezanih vzorcih smo izvršili metalografsko preiskavo, da bi ugotovili vzroke za napake. Pri tem smo ugotovili naslednje:

Že makroskopski pregled problematičnih zvarov (sl. 1) v primerjavi z dobrimi (sl. 2) kaže,



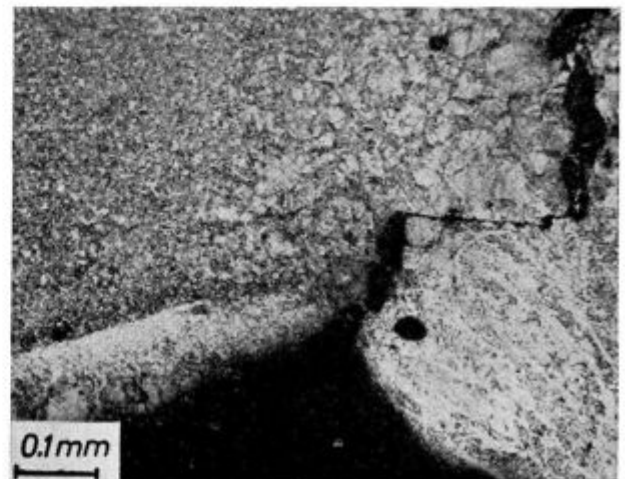
Slika 2 (Makro)  
Izgled zvara z razpoko



Slika 3 (Makro)  
Primer izoblikovanja pravilnega zvara brez razpoke

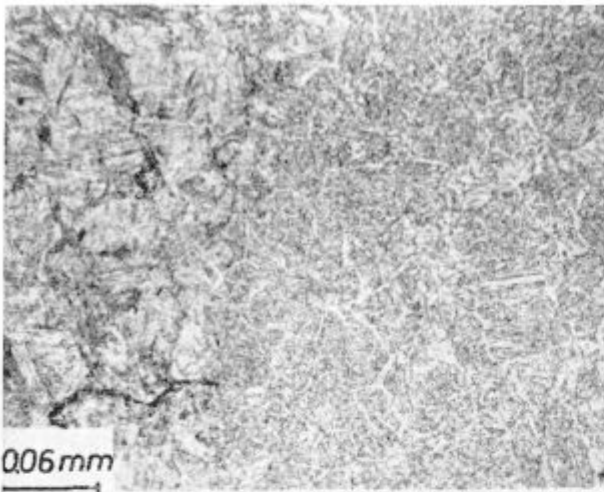
da so razpoke nastale vedno na koremskem zvaru, in to tam, kjer se že makroskopsko opazi relativno oster prehod zvara v osnovni material. Metalurg bi rekel, da zvar ni zlit z osnovnim materialom.

Mikroskopska preiskava je pokazala, da je ob razpoki nastopila struktura martenzita, trdote ca. 430 HV. (sl. 4, sl. 5)



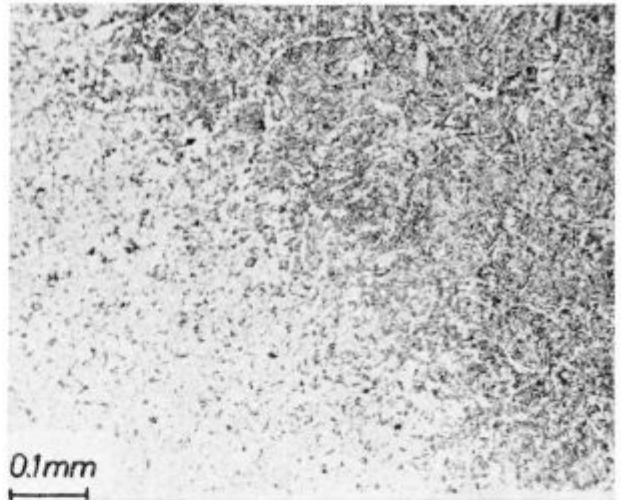
Slika 4  
Primer interkristalne razpoke ob martenzitni coni zvara





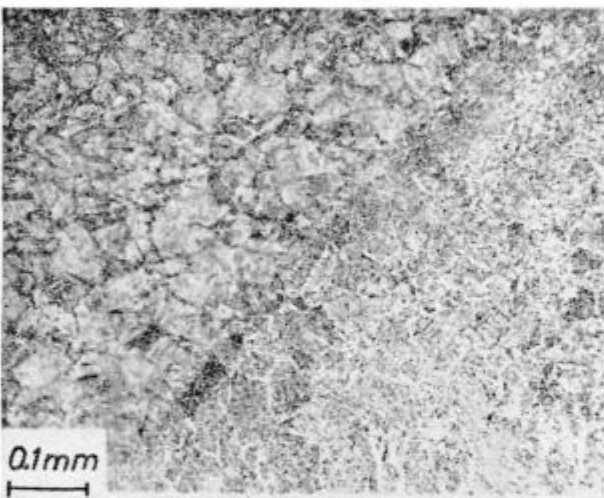
Slika 5

Martenzitna struktura z interkristalno razpoko v prehodni coni



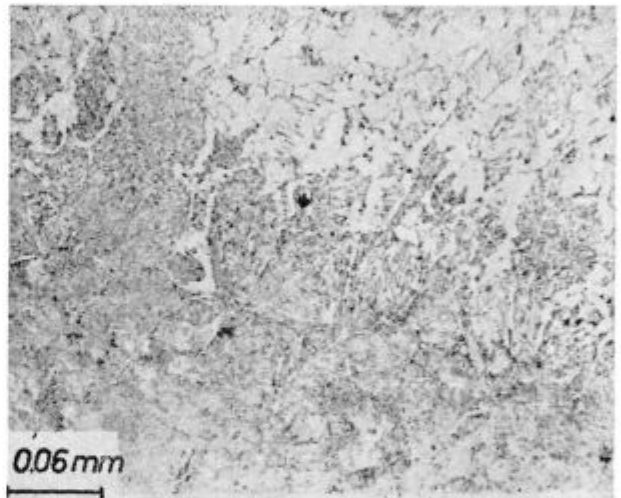
Slika 7

Pravilno izoblikovane strukture v prehodni coni zvara



Slika 6

Oster prehod zvar osnovni material z izrazito martenzitno strukturo



Slika 8

Primer feritno perlitne strukture v prehodni coni pravilno zvarjenega spoja

Martenzitno strukturo je zaslediti ob razpoki, oziroma v prehodni coni, ki je izredno ostra. (Sl. 6)

Nasprotno je pa metalografska preiskava dobrega zvara pokazala enakomerni prehod zvara v osnovni material v prehodni coni, kar je razvidno iz slike 7 in 8.

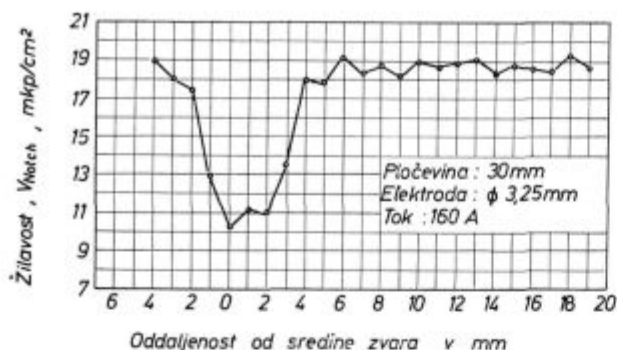
Dejstvo, da je pri varjenju te posode prišlo ponekod do razpok in pojava martenzita, čeprav je preiskava izvarov v splošnem dokazala, da jeklo ni nagnjeno k razpokljivosti pri varjenju, dokazuje, da so bili varilni pogoji neenakomerni, da so varili brez večje pozornosti in odgovornosti. Zato smo pri varjenju naslednjih posod zahtevali predgrevanje materiala na ca. 200° C.

Z ozirom na te konkretne probleme pri varjenju jekla Nioval 47 smo raziskovali vpliv tehnoloških pogojev varjenja na kvaliteto zvara. Pre-

iskava naj bi pokazala, v koliki meri je predgrevanje materiala potrebno, oziroma ali se lahko zahtevano predgrevanje nadomesti z odgovarjajočimi varilno tehničnimi parametri pri operativnem delu.

Kot merilo varilno tehničnih sposobnosti jekla smo vzeli trdoto zvara, oziroma prehodne cone, to je nastopanje martenzitne strukture. Trdota v tej prehodni coni naj ne prekorači 300 HV. Mišljenja sem, da je ta meja pri visokovrednih konstrukcijskih jeklih sporna in bo praksa v bodoče pokazala, koliko se lahko ocenjuje sposobnost za varjenje jekla s trdoto, oziroma martenzitno strukturo, upoštevajoč, da ima martenzit z nizko koncentracijo ogljika zadostno žilavost.

Varilno tehnični preizkus jekla Nioval 47 po Čabelki kaže, da jeklo ni nagnjeno h krhkosti. Padec žilavosti se opazi le v zvaru (sl. 9).



Slika 9

Rezultati preizkusa nagnjenosti jekla h krhkemu lomu po Čebelki na jeklu Nioval 47

**Kakšni so vplivi predgrevanja, dovedene energije in premera elektrode na trdoto prehodne cone**

Za te preiskave smo uporabili pločevino naslednje sestave:

% C	Si %	Mn %	Nb %	V %	Al %
0,17	0,37	1,54	0,044	0,06	0,034

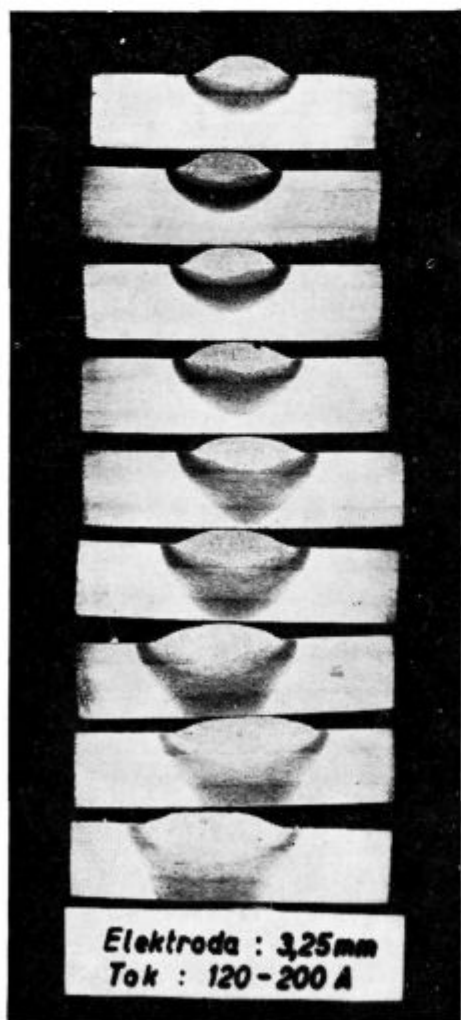
Vse preiskave smo opravili na pločevini, debeline 10–30 mm. Varili smo z oplaščenimi elektrodami in v drugi fazi tudi avtomatsko pod praškom.

Za varjenje z oplaščenimi elektrodami smo izbrali elektrodo EVB 60, premera 3,25, 4 in 5 mm.

**Makroskopska ocena vplivov predgrevanja in dovedene energije na izoblikovanje prehodnih con zvara**

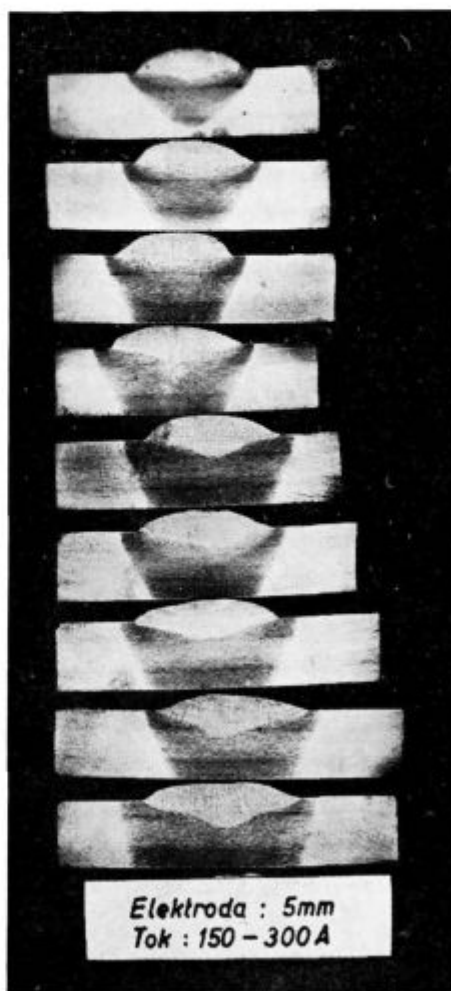
Iz izkušenj tehnike metalografskih preiskav je poznano, da se pri jedkanju posamezne strukturne komponente različno obarvajo. Zato lahko že na osnovi makropregleda spremembe strukture v prehodni coni sklepamo tudi na prisotnost posameznih strukturnih komponent. Čim širša je torej makroskopsko ocenjena prehodna cona, pravilnejši je strukturni prehod iz zvara v osnovni material.

Primer izoblikovanja prehodnih con pri pločevini debeline 10 mm pri navarjanju z elektrodo  $\varnothing$  3,25 kaže sl. 10 in pri pločevini debeline 5 mm sl. 11.



Slika 10 (Makro)

Vpliv jakosti toka na izoblikovanje prehodne cone pri navarjanju z elektrodo  $\varnothing$  3,25 mm



Slika 11 (Makro)

Vpliv jakosti toka za izoblikovanje prehodne cone pri navarjanju z elektrodo  $\varnothing$  5 mm

Makroskopska ocena jasno kaže vpliv dovedene energije na izoblikovanje prehodne cone in se dajo rezultati dobro reproducirati. Pri uporabi elektrode  $\varnothing$  3,25 mm in toku 190 A je oblika prehodne cone popolnoma enakovredna prehodni coni pri navarjanju z elektrodo  $\varnothing$  5 mm in isti jakosti toka 190 A.

Vpliv dovedene energije na izoblikovanje prehodne cone je pa z ozirom na odvod toplote viden tudi iz naslednje makroskopske preiskave.

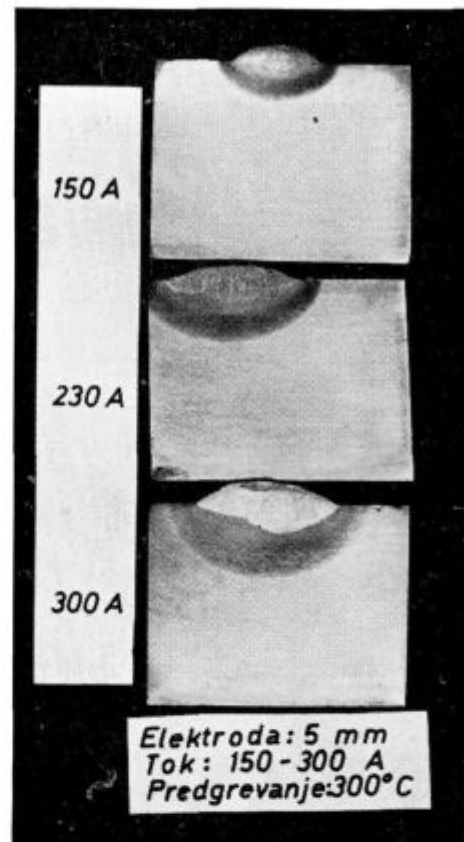
Pri debelini pločevine 30 mm (sl. 12) je opaziti brez predgrevanja materiala oster prehod zvara v osnovni material in je tudi pri višji jakosti toka opaziti v strukturi martenzit.

S predgrevanjem materiala na  $300^{\circ}\text{C}$  (sl. 13) se pri maksimalni dovedeni energiji 300 A šele zasledi zmeren prehod zvara v osnovni material brez martenzitne strukture.

Če preidemo iz makroskopske ocenitve prehodne cone na bolj natančne ocenitve prehodnih struktur z mikro trdoto, lahko vplive dovedene energije ocenimo bolj eksaktno.

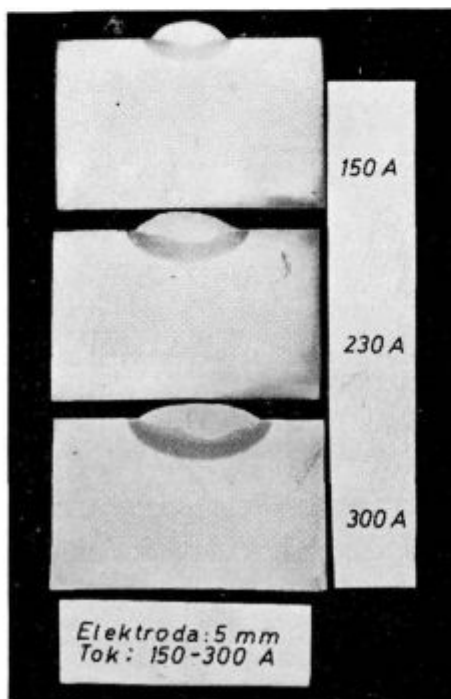
Vzemimo primer pločevine 10 mm; varjenje je bilo izvršeno pod optimalnimi pogoji z elektrodo  $\varnothing$  3,25 in 5 mm. Kljub različni dovedeni energiji je razlika v trdotah minimalna. Vidimo lahko, da, neoziraje se na temperaturo predgrevanja, ni zaslediti bistvenih odstopanj v trdoti prehodnih con (sl. 14).

Iz tega sledi, da je odvod toplote pri tej debelini pločevine mnogo pod kritično hitrostjo ohla-



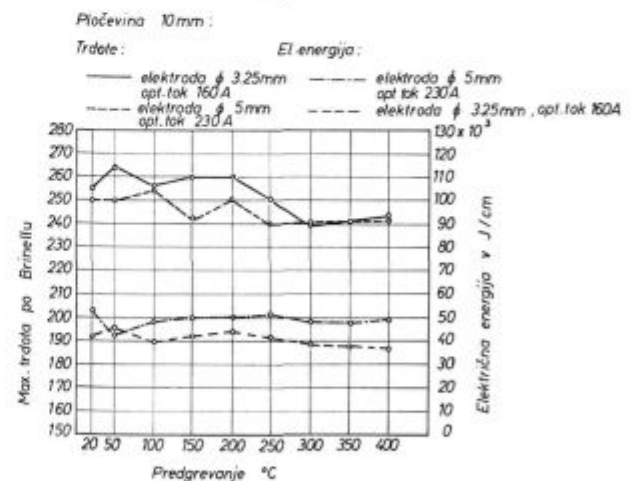
Slika 13 (Makro)

Vpliv predgrevanja materiala na izoblikovanje strukture v prehodni coni; elektroda  $\varnothing$  5 mm, temperatura predgrevanja  $300^{\circ}\text{C}$



Slika 12 (Makro)

Vpliv energije na izoblikovanje prehodne cone pri debelini 30 mm; navarjenje izvršeno brez predgrevanja

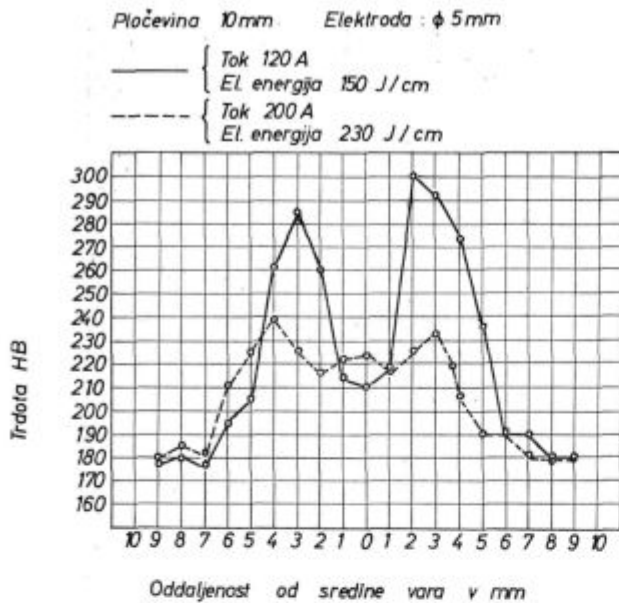


Slika 14

Vpliv dovedene energije na maksimalno doseženo trdoto v prehodni coni pri debelini pločevine 10 mm

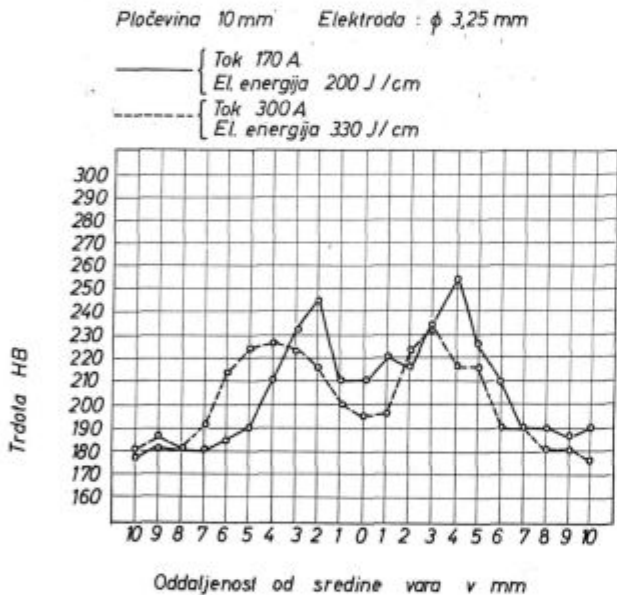
jevanja, ki naj bi vplivala na izoblikovanje martenzitne strukture.

Ti pogoji so bili torej ustvarjeni pri navarjanju z optimalno jakostjo toka. Vpliv dovedene energije in različnega premera elektrode na izoblikovanje trdote prehodnih con »V« zvara pri pločevini debeline 10 mm je pa razviden iz slike 15 za elektrodo  $\varnothing$  5 mm in sl. 16 za elektrodo  $\varnothing$  3,25 mm.



Slika 15

Diagram porazdelitve trdote v prehodni coni zvara v odvisnosti od premera elektrode in dovedene energije



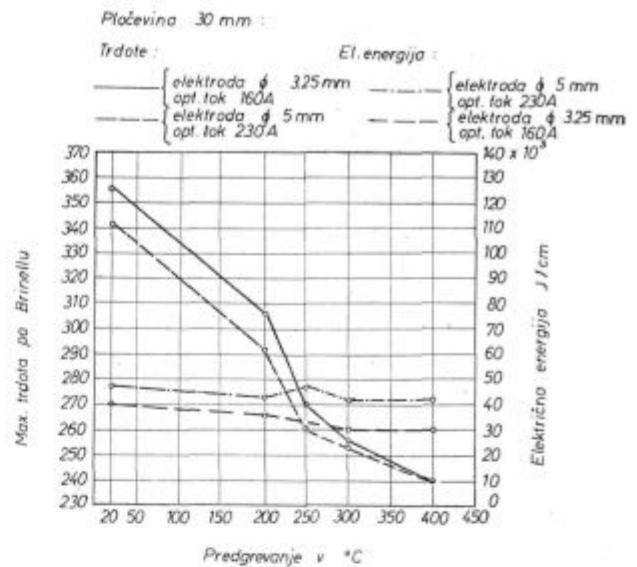
Slika 16

Diagram razporeditve trdote v prehodni coni zvara v odvisnosti od premera elektrode in dovedene energije

Tudi pri premeru elektrode  $\phi$  5 mm, vendar nizki dovedeni energiji 120 A, zasledimo v prehodnih conah že kritične vrednosti trdote ca. 300 HV.

Če torej govorimo o kritični hitrosti ohlajevanja, potem je razumljivo, da bo stanje pri pločevini debeline 30 mm popolnoma drugačno.

Pločevino smo navarili z elektrodo  $\phi$  3,25 in 5 mm z optimalnim tokom 160, oziroma 230 A. Že pri temperaturi pločevine 20° je opaziti vpliv dovedene energije. Trdota pri varjenju z elektrodo  $\phi$  3,25 mm je ca. 20 HV višja od trdote dosežene z navarjanjem pri elektrodi  $\phi$  5 mm (sl. 17). V vsakem primeru je pa trdota prehodne cone



Slika 17

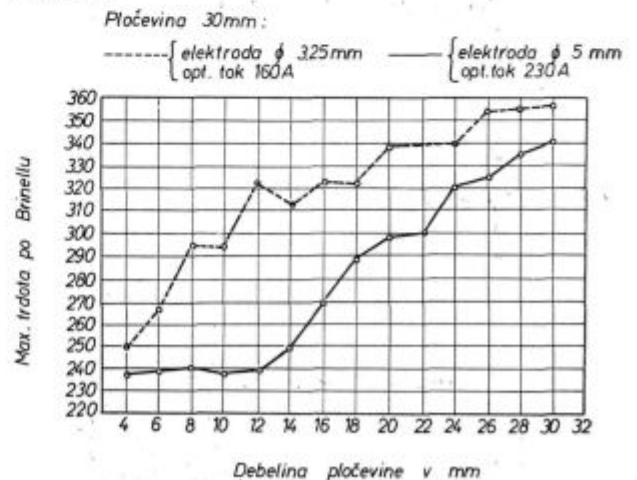
Vpliv sekundarno dovedene energije na maksimalno trdoto v prehodni coni zvara pri pločevini debeline 30 mm

večja, kot je dovoljeno in je v strukturi prehodne cone prisoten martenzit.

Z dodatno dovedeno energijo s predgrevanjem materiala maksimalna trdota prehodne cone pada in pri temperaturi materiala 200° C doseže maksimalno dovoljeno mejo 300 HV. Torej dosežemo šele pri temperaturi predgrevanja materiala na 250° C enako trdoto, kot smo jo ugotovili pri navarjanju 10 mm debele pločevine brez predgrevanja, to je 260 HV.

Kje je torej kritična debelina pločevine pri jeklu kvalitete Nioval 47, to je meja, pri kateri je potrebno pri varjenju pločevino predgrevati?

V ta namen smo poizkusili variti pločevino debeline 4 do 30 mm z elektrodo  $\phi$  3,25 mm in 5 mm z optimalno jakostjo toka 160, oziroma 230 A. Dobljeni rezultati so razvidni iz naslednje slike 18.



Slika 18

Potek maksimalne trdote prehodne cone zvara v odvisnosti od debeline pločevine in premera elektrode pri optimalnih pogojih varjenja

Preizkusi so jasno dokazali vplive premera elektrode in s tem dovedene energije. Rezultati tega diagrama potrjujejo že prikazane rezultate parcialnih preiskav.

Če upoštevamo, da je trdota 300 HV zgornja dovoljena trdota strukture v prehodni coni, potem lahko rečemo, da pri varjenju z elektrodo  $\varnothing$  3,25 mm doseže osnovni material kritično trdoto pri debelini pločevine 16 mm. Pri uporabi elektrode  $\varnothing$  5 mm in višje dovedene energije, se kritična debelina materiala zviša na ca. 26 mm.

**Avtomatsko varjenje mikrolegiranih jekel s povišano mejo plastičnosti**

Uvodoma sem že omenil, da mikrolegirana finožrnata jekla lahko varimo tudi avtomatsko pod praškom. V ilustraciji bo prikazal samo nekaj rezultatov.

Za varjenje finožrnatih jekel pod praškom smo razvili specialno žico na bazi Mo z oznako EPP 2 Mo, ki daje v kombinaciji s praškom EP 40 zelo dobre rezultate.

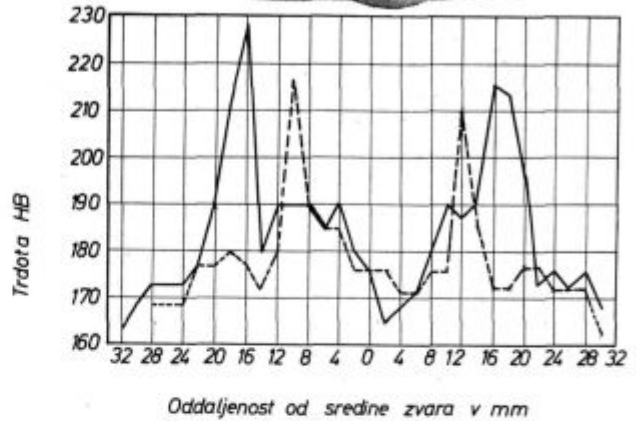
Slika 19 kaže primer fizikalnih lastnosti pri pločevini, debeline 15 mm v »V« zvaru.

Slika 20 kaže prav tako maksimalno dosežene trdote v prehodnih conah pri avtomatskem varjenju pločevine, debeline 30 mm in obliki zvara »V«.

Slika 21 pa kaže razporeditev trdot prehodnih con pri varjenju pločevine debeline 30 mm pri takoimenovanem »X« zvaru.

V vseh primerih ugotovimo, da doseže zavarjeni spoj zadovoljive fizikalne lastnosti, odgovar-

jajoče osnovnemu materialu Nioval 47. Tudi žilavost materiala, ki je pri avtomatskem varjenju kritična, doseže pri nizkih temperaturah zadovoljive vrednosti.

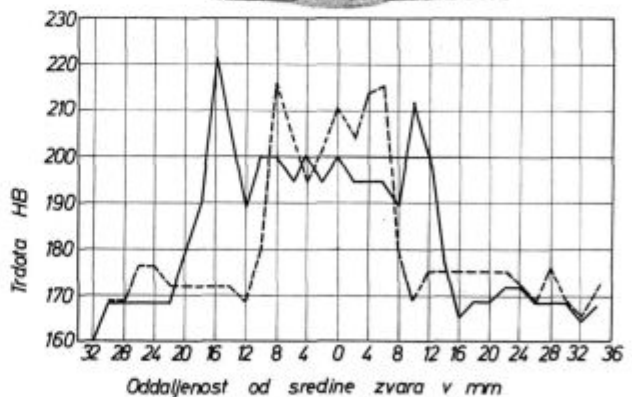
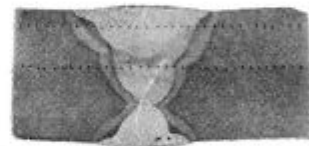


Žilavost $V_{Notch}$ pri $mkp/cm^2$	20°C	0°C	-20°C
	13,5	11	8,25

$G_s = 47,8 \text{ kp/mm}^2$       raztezek  $5d = 21,5\%$   
 $G_B = 63,9 \text{ kp/mm}^2$

Slika 20

Krivulje trdote zvara in prehodne cone pri jeklu Nioval 47, varjeno z žico EPP 2 Mo in praškom EP 40; debelina pločevine 30 mm, V zvar

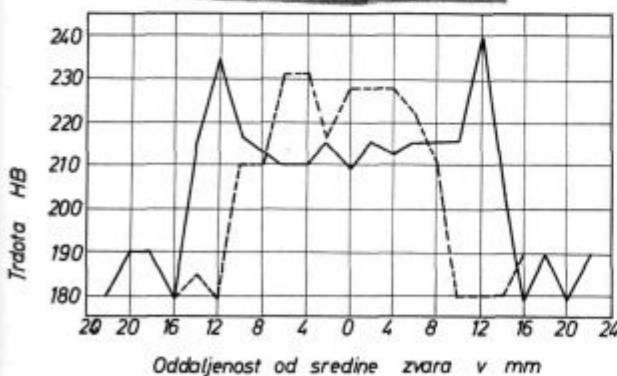


Žilavost $V_{Notch}$ pri $mkp/cm^2$	20°C	0°C	-20°C
	9	7	6,7

$G_s = 47,5 \text{ kp/mm}^2$       raztezek  $5d = 22\%$   
 $G_B = 63,6 \text{ kp/mm}^2$

Slika 21

Krivulje trdote zvara in prehodne cone pri jeklu Nioval 47, varjeno z žico EPP 2 Mo in praškom EP 40; debelina pločevine 30 mm, X zvar



Žilavost $V_{Notch}$ pri $mkp/cm^2$	20°C	0°C	-20°C
	11,7	10	9,1

$G_s = 47,6 \text{ kp/mm}^2$       raztezek  $5d = 21\%$   
 $G_B = 64,5 \text{ kp/mm}^2$

Slika 19

Krivulja trdote zvara in prehodne cone pri jeklu Nioval 47, varjeno z žico EPP 2 Mo in praškom EP 40; debelina pločevine 15 mm, V zvar

## Z a k l j u č e k

Iz navedenih rezultatov preiskav je razvidno, da lahko z različnimi parametri pri varjenju bistveno vplivamo na fizikalne lastnosti zvara. Z dodatki legurnih elementov v mikrokoličinah le-ti vplivajo na zniževanje kritične hitrosti ohlajevanja jekla in povečujejo nevarnost za pojav martenzitne, oziroma kvazimartenzitne strukture v jeklu.

Pri varjenju jekla je torej potrebno izbrati take parametre varjenja, premer elektrode in jakost toka ter hitrost varjenja, oz. število navarjenih plasti, da so ti pogoji prilagojeni debelini pločevine. Pogoji morajo biti prilagojeni hitrosti ohlajevanja, ki mora biti pod kritično hitrostjo ohlajevanja jekla. Če teh pogojev ni mogoče ustvariti z energijo, dovedeno z dodatnim materialom, to je z elektrodo, potem je nujen dovod sekundarne energije s predgrevanjem materiala.

Če se na osnovi vseh zbranih rezultatov varilnih preizkusov in ugotavljanju vpliva dovedene energije na izoblikovanje prehodnih struktur povrnem na konkretni primer razpok pri varjenju visokotlačnih posod, potem lahko ugotovimo naslednje:

Jeklo je bilo normalno varljivo. Občasno nastopanje martenzitne strukture in razpok, ki so bile ugotovljene z rentgensko analizo, je posledica nepravilnega tehnološkega postopka varjenja. Na mestih razpok je varilec prižigal elektrodo, in to na popolnoma ohlajeni konstrukciji. Ker s samo dovedeno energijo tega mesta ni pregrel, oziroma je takoj nadaljeval z normalnim varjenjem, je prišlo na teh mestih do martenzitne strukture in opisanih razpok.

Ker ni bilo mogoče zagotoviti pravilnega tehnološkega postopka varjenja, smo nadaljnje varjenje konstrukcije izvršili s predgrevanjem, kar je zagotovilo kvalitetne spoje.

Rezultati preiskav so torej dokazali, da je mikrolegirano finoizrnatno jeklo dobro varljivo

z oplaščenimi elektrodami pod pogojem, da je zagotovljena konstantna tehnologija varjenja. Poudarili smo tudi že zahtevo, da mora pri izbiri dodatnega materiala in varilnih parametrov sodelovati varilni tehnolog, ki bo z ozirom na zahtevnost konstrukcije in razpoložljiv kader varilcev določil pravilno tehnologijo varjenja jekla.

Kakor se zahteva od metalurga večje znanje in pazljivost pri izdelavi in predelavi finoizrnatih mikrolegiranih jekel, tako so upravičene zahteve, da tudi konstrukterji, varilni tehnologi in varilci varijo taka jekla s posebnim poslušom za kvaliteto in z vso odgovornostjo.

Varljivost finoizrnatih mikrolegiranih jekel sem ocenjeval kot metalurg. Prepričan sem, da je pri vrednotenju in ocenjevanju varljivosti materiala potrebno upoštevati tudi varilno tehnološke možnosti. Brez dvoma bo pa sodelovanje metalurgov in varilnih tehnologov prispevalo k večji uporabi mikrolegiranih finoizrnatih jekel s povišano mejo plastičnosti tudi v naši kovinsko-predelovalni industriji.

## L i t e r a t u r a

1. H. Wirts: Das Verhalten der Stähle beim Schweißen I, II Band 44, DVSGMBH Düsseldorf 1966, 1968.
2. E. Bain: Alloying Elements in Steel. Metals Park, Ohio 1962.
3. E. Sudasch: Schweißtechnik, Carl Hauser Verlag München 1959.
4. Welding High Strength Steels, American Society for Metals 1970.
5. Mandry-Namdar-Wache: Precipitation de carbonitrides de Niobium dans les aciers de construction soudables. Revue de Metallurgie št. 8-9 1969.
6. L. Maöer - D. Schauwindhold: Einfluss von Niob auf die Eigenschaften unlegierter schweißbarer Baustähle. Stahl u. Eisen No 1, 1967.
7. M. Economopoulos - T. Greday: Recherches sur les aciers de construction soudables à haute résistance. C. N. R. M. No 1, 1961.
8. W. B. Morrison - J. H. Woodhead: The influence of small niobium additions on the mechanical properties of commercial mild steels. Journal of the Iron and Steel Institute No 1, 1963.

## ZUSAMMENFASSUNG

Die mikrolegierten Elemente verursachen im Feinkornbaustahl das Vorkommen bainitischer und martensitischer Struktur in der Übergangszone der Schweißverbindung. Trotzdem, dass der Martensit mit niedrigem Kohlenstoffgehalt noch eine gewisse Kerbschlagzähigkeit besitzt, ist dessen Anwesenheit in hochbeanspruchten geschweißten Konstruktionen nicht erwünscht.

Die zulegierten Elemente Nb und V vermindern auch in Mikromengen die kritische Abkühlungsgeschwindigkeit, welche beim Schweißen von der Wärmeableitung bzw. von der Blechdicke abhängig ist.

Durch die Untersuchungen über den Einfluss der einge-

tragenen primären und sekundären Wärmeenergie haben wir bewiesen, dass eine richtige Schweißtechnologie bei genügenden Wärmeeinträgen der primären Energie auch das Schweißen dicker Bleche ohne Vorwärmung ermöglicht. Dabei ist die Schweißgeschwindigkeit und den Elektrodendurchmesser der Blechdicke anzupassen.

Bei den Untersuchungen über den Einfluss der Wärmeeinträge war ein Maas für die Schweißbarkeit des Materials eine höchstzulässige Härte in der Schweißverbindung von 300 Einheiten nach Vickers, und eine geeignete Verteilung der Gefügebestandteile in der Übergangszone der Schweißverbindung.

## SUMMARY

Added microalloying elements cause in fine grained steel phenomena of bainitic and martensitic structure in the transition zone of the weld. Though martensite with small carbon concentration has certain toughness its presence in highly loaded welded constructions is not wanted.

Added elements Nb and V even in micro amounts influence the reduction of the critical cooling rate of steel which is in welding controlled by heat transfer or plate thickness.

Influence of the supplied primary and secondary energy was investigated and results showed that correct technology of welding, i.e. sufficient primary supplied energy enables welding of the thickest sheet without material preheating. Welding rate and electrode diameter must be adjusted to the sheet thickness.

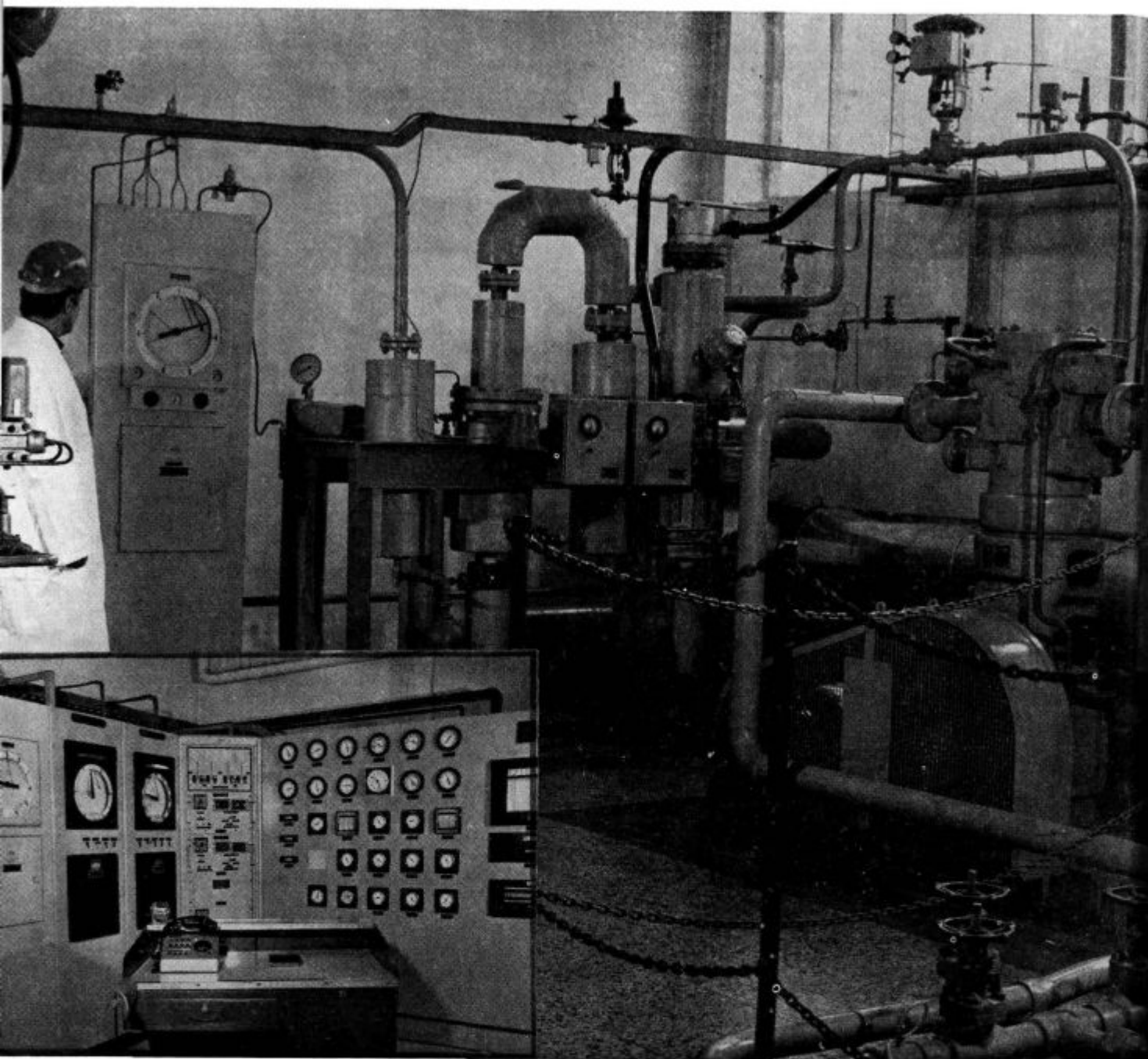
When influence of the supplied energy was investigated the standard for weldability of the material was then as maximal allowed hardness of 300 HV in the weld and corresponding distribution of structure components in the transitional weld zones.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Причина появления бейнитной и мартензитной структуры в переходной зоне сварочного шва состоит в добавке микролегирующих элементов. Несмотря на то, что мартензит при низкой концентрации углерода имеет ещё определённую вязкость его наличие в высоко нагруженных сварочных конструкциях нежелательно.

Добавочные элементы Nb и V даже в микроколичествах влияют на уменьшения скорости охлаждения стали что зависит от отвода теплоты соответственно от толщины жести во время сварки.

Исследованием доказано, что при точном выполнении предназначенной технологии сварки т.е. при достаточной подаче первичной энергии можно сваривать и более толстую жести без подогрева. При этом необходимо быстроту сварки и диаметр электрода согласовать с толщиной жести. При этом исследованию влияния введённой энергии масштаб оценки свариваемости материала была ограничена на максимально 300 Hv и соответствующим распределением компонент в переходных зонах сварочного шва.



ZDRUŽENO PODJETJE SLOVENSKE ŽELEZARNE ● LJUBLJANA

**ŽELEZARNA JESENICE** JESENICE SRS JUGOSLAVIJA

**NOVO!**

ARGON — čistoče 99.99 %

ARGON za varjenje nerjavih jekel  
ARGON za rezanje s plazmo  
ARGON za spektografijo  
ARGON za proizvodnjo polprevodnikov  
ARGON za proizvodnjo žarnic  
ARGON kot zaščitni interni plin



## Vzroki slabe plastičnosti jekel tipa 18/8

### UVOD

Pri valjanju nerjavnih jekel tipa 18/8 na bluming ogrodju smo ugotavljali na površini blokov številne raztrganine. Vzroke za nastanek teh napak smo iskali v slabi plastičnosti jekla. V ta namen smo izdelali preiskave torzije in trganja v temperaturnem območju 800–1250° C, preiskave vpliva temperature in časa ogrevanja na naraščanje avstenitnega zrna in predvsem preiskave vpliva različnih vsebnosti kisika in SO<sub>2</sub> na stopnjo oksidacije. Globino in potek oksidacije smo določevali metalografsko.

### SPLOŠNO

Po stari tehnologiji smo nerjavna jekla tipa 18/8 valjali na težki progi Ø 750 iz 1000 kg blokov. Bloki so se ogrevali v potisnih pečeh, kurjenih z generatorskim plinom. Valjanje je potekalo brez težav, površina valjancev pa je bila lepa, brez površinskih napak.

Pri osvajanju nove tehnologije valjanja na novi bluming valjarni smo naleteli na številne težave, ki so se kazale predvsem v slabi površini valjancev. Bloke, oziroma ingote, težke cca 5,4 t, in brame, težke cca 4,2 in 9,2 t smo pred valjanjem ogrevali v globinskih pečeh, ki so bile kurjene z mazutom.

Pri očni kontroli valjancev med valjanjem smo ugotavljali, da so nastajale na površini blokov razpoke že po prvih odvzemih, in to pri temperaturah nad 1150° C. Te razpoke so bile več

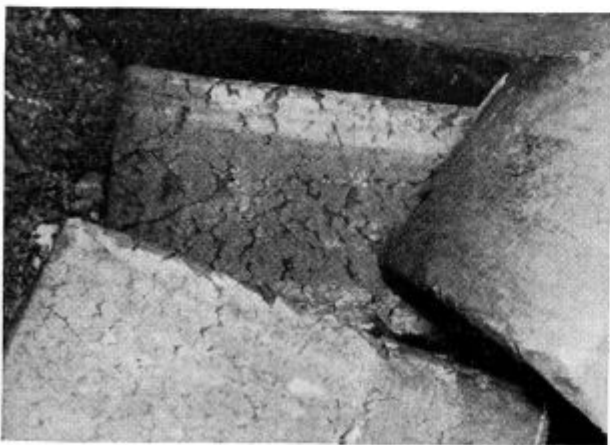
ali manj globoke. V začetku so bile te razpoke neizrazite in maloštevilne, s povečano stopnjo deformacije pa so postajale vedno bolj izrazite in številnejše. (Slika 1 in 2.) Razpoke so se začele pojavljati najprej na robovih in na glavah blokov.



Slika 2  
Raztrganine na površini slaba

Opazovanja so nam tudi pokazala, da so bili bloki iz iste komore globinske peči več ali manj podvrženi enaki razpokljivosti, seveda ob enaki stopnji deformacije. Izjema so bili le tisti bloki, ki so ležali tik ob gorilcu.

Intenziteta teh površinskih napak ni bila vedno enaka. Pri nekaterih blokkih, oziroma šaržah smo zasledili razpoke po celi površini, kot je raz-



Slika 1  
Raztrganine na površini bloka



Slika 3  
Raztrganine na površini slaba

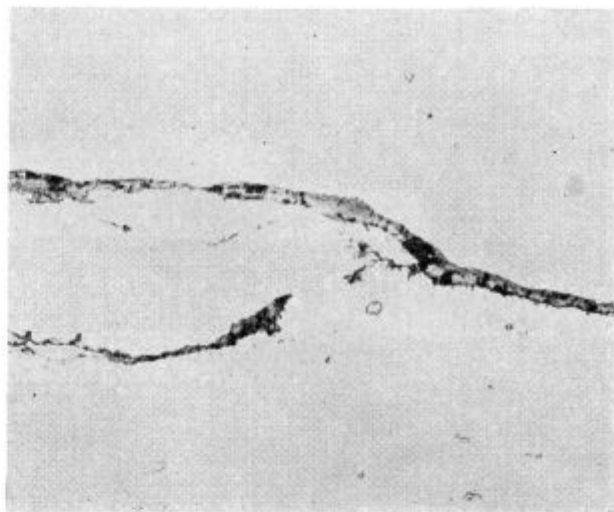
vidno na sliki 1 in 2, pri drugih pa samo na robovih, oziroma na robovih in v sredini valjancev. (Slika 3.)

Mesta raztrganin smo metalografsko analizirali in ugotovili številne razpoke, ki so se proti sredini tanjšale. Te razpoke so običajno potekale več ali manj poševno, odvisno od stopnje deformacije. (Glej sliko 5 in 6.)

Pretežna večina valjancev pa je imela ne glede na obsežnost napak skoraj vedno raztrgane robove. (Slika 4.)

Druge razpoke pa so bile močno razvejane. (Slika 7.)

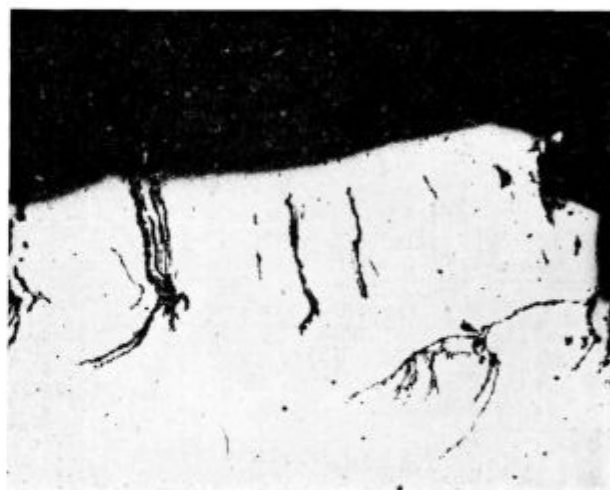
Vzroke za omenjeno razpokljivost smo najprej iskali v neugodni liti strukturi in v temperaturni nehomogenosti blokov. Problem smo poskušali rešiti z rekristalizacijo po deformaciji. V ta namen smo bloke iste šarže, ki so bili istočasno ogreti pod enakimi pogoji, različno deformirali, s tem da smo izvedli večje ali manjše začetne odvzeme, vendar brez vsakršnega uspeha. Tudi ponovno



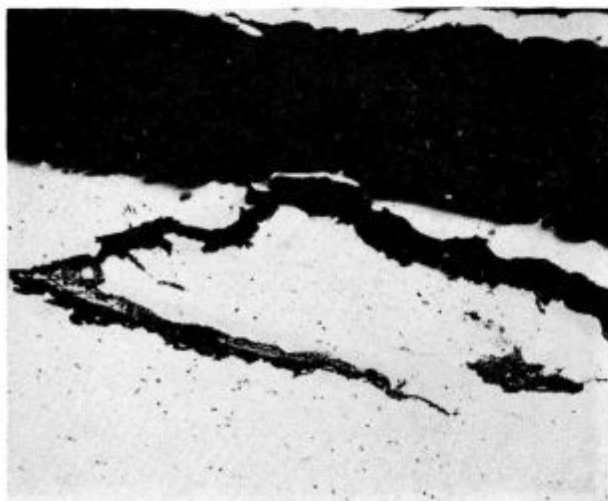
Slika 6  
100 × — Raztrganine



Slika 4  
Raztrgani robovi na slabih



Slika 7  
100 × — Raztrganine



Slika 5  
100 × — Raztrganine

ogrevanje po izvršeni deformaciji ni dalo pozitivnega rezultata.

Ker nam zgoraj navedene preiskave niso prinesle zaželenega uspeha, smo pristopili k drugim preiskavam za ugotavljanje plastičnosti jekla. V ta namen smo v laboratorijskem merilu izdelali preiskave torzije in trdnosti materiala, in to v temperaturnem območju med 800—1250° C. Bloke, ki smo jih izdelali v laboratorijski 5 kg VF peči, smo prekovali v preizkušance primernih dimenzij. Da bi delo poenostavili, smo izdelali preiskave le na kvaliteti Č 4582, katere okvirna analiza je razvidna na tabeli 1.

Izbrali smo si torej sestavo z visoko vsebnostjo niklja, da bi se izognili feritno-avstenitni strukturi in njenemu morebitnemu vplivu na plastičnost jekla. Struktura tega jekla v kovanem in gašenem stanju je razvidna na sliki 8.

Tabela 1

Kemična analiza: %

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Nb	Al	Mo
0,05 — 0,07	0,50 — 0,60	1,30 — 1,50	max. 0,025	max. 0,015	19—20	10,5 — 11,5	10 × C	0,020 — 0,050	sledi

Slika 8  
100 × — Struktura gašenega preizkušanca

### Trgalni preizkus

Trgalne preizkuse smo izdelali na kovanih in nato mehansko obdelanih trgalnih palicah. Dimenzija palic je bila naslednja:

Celotna dolžina trgalne palice	200 mm
Merna dolžina trgalne palice	60 mm
Delovni premer trgalne palice	8 mm

Ogrevanje smo vršili v posebni peči. Temperaturo smo merili z navadnim milivoltmetrom z natančnostjo  $\pm 5^\circ\text{C}$ . Čas ogrevanja (na temperaturi) je znašal 15 minut. Na trgalnih palicah smo ugotavljali vrednosti za trdnost, mejo raztezosti, raztezke in kontrakcije ter stanje površine po pretrganju.

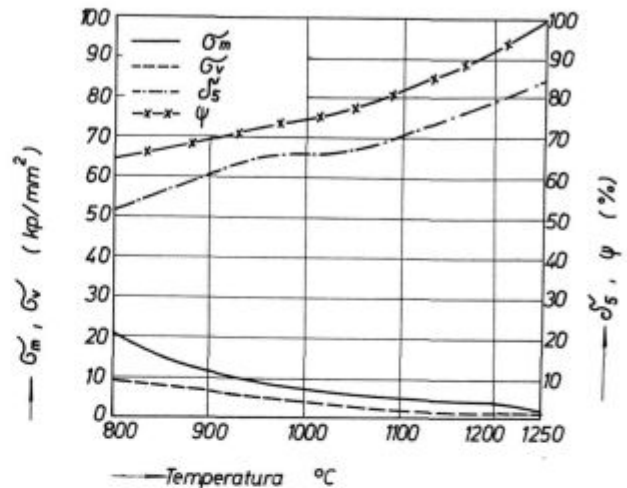
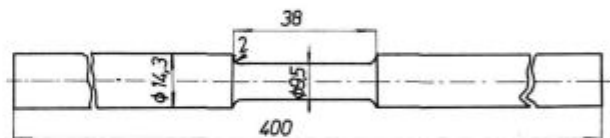
Izkušnje kažejo, da imajo podatki o trdnosti omejeno vrednost za ocenjevanje kovnosti, oziroma plastičnosti jekla, vendar smo te podatke vzeli vseeno v obravnavo, ker nismo mogli meriti vrtilnih momentov pri torziji. Trganje smo izvedli na navadnem trgalnem stroju, pri hitrosti porušitve 2 sek./1 kp.

Slika 9 nam prikazuje dosežene vrednosti. Trdnost je pri temp. nad  $1100^\circ\text{C}$  nizka, vrednosti raztezkov in posebno kontrakcije pa so visoke.

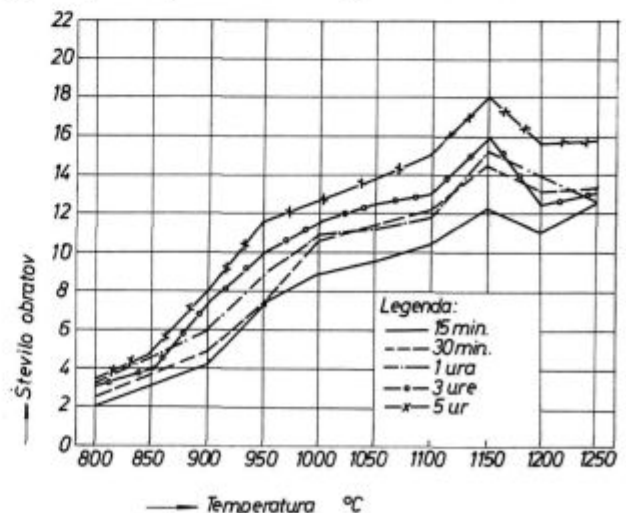
Pregled površine trgalnih palic nam ni odkril nobenih površinskih razpok ali drugih napak.

### Torzijski preizkus

Torzijske preiskave smo izdelali ravno tako na kovanih in mehansko obdelanih preizkušancih, katerih dimenzije so razvidne na sliki 10.

Slika 9  
Mehanske lastnosti v temperaturnem intervalu med 800 do  $1250^\circ\text{C}$ Slika 10  
Oblika preizkušanca za preiskavo torzije

Preizkušance smo ogrevali v silitni peči, v atmosferi dušika in vodika (razmerje 80:20) in v temp. intervalu  $800\text{--}1250^\circ\text{C}$ . Da bi se čimbolj približali pogojem ogrevanja blokov v globinskih pečeh, smo preizkušance ogrevali v časovnem in-

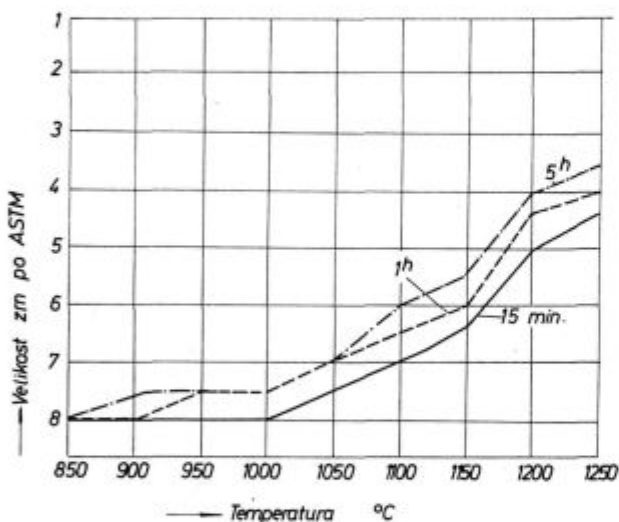
Slika 11  
Rezultati torzijskih preiskav

tervalu od 15 min. do 5 h. Iz rezultatov, ki so razvidni na diagramu slike 11, je jasno, da plastičnost jekla močno narašča z naraščajočo temperaturo in da je čas ogrevanja, oziroma čas temperaturne homogenizacije samo ugodno vplival na plastičnost jekla. Plastičnost jekla je pri temperaturi nad 1150° C najvišja. Površina preizkušancev po prelomu ni imela razpoka, vidnih s prostim očesom.

### VPLIV TEMPERATURE IN ČASA NA NARAŠČANJE ZRN

Da bi ugotovili vpliv temperature in časa ogrevanja na naraščanje avstenitnih zrn in s tem vpliv velikosti zrn na plastičnost jekla, smo izdelali še preiskave velikosti kristalnih zrn in to v istem temperaturnem in časovnem intervalu kot torzijo, oziroma mehanske lastnosti.

Vse preiskave smo vršili na kovanih vzorcih. Rezultati, ki smo jih dosegli, so razvidni na diagramu slike 12.



Slika 12

Velikost zrn v odvisnosti od časa in temperature ogrevanja

Na podlagi doseženih rezultatov lahko sklepamo, da naraščanje zrna ni tako veliko, da bi lahko občutno vplivalo na plastičnost jekla. Zrno začenja počasi naraščati šele pri temperaturah nad 1000° C. Čas ogrevanja nima bistvenega vpliva, vsaj pri zgoraj navedenih pogojih, na naraščanje zrna.

Na podlagi rezultatov trganja, torzijskih preiskav in deloma na podlagi metalografske analize velikosti zrn smo prišli do zaključka, da razpoke pri valjanju blokov niso nastale zaradi slabe plastičnosti jekla, zato smo vse preiskave usmerili k študiju tehnologije ogrevanja, predvsem pa k študiju vpliva atmosfere peči na stopnjo oksidacije.

### VPLIV ATMOSFERE NA STOPNJO OKSIDACIJE

Številni avtorji so se že ukvarjali z vplivom temperature, časa ogrevanja in atmosfere peči na nastanek napak na površini blokov, slabov itd. in s posledicami, ki jih taka površina ima na plastičnost jekla. Posebno problematična je postala predelava valjancev avstenitnih in avstenitnoferitnih jekel s prehodom na mazutno ogrevanje zaradi visoke vsebnosti žvepla v gorivu.

Ker smo tudi naše globinske peči kurili z mazutom, nas je zanimal vpliv atmosfere in v njej prisotnega žvepla in kisika na stopnjo oksidacije, oziroma na razpokljivost valjancev pri valjanju.

Jekla tipa 18/8 so zlitine, ki vsebujejo v glavnem železo, krom in nikelj in je zato njihova škaja sestavljena pretežno iz oksidov teh treh elementov, to je iz FeO, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> in NiO, odnosno iz kombiniranih oksidov. Ta jekla vsebujejo poleg omenjenih elementov še manjše količine silicija in mangana, ki tudi tvorita okside.

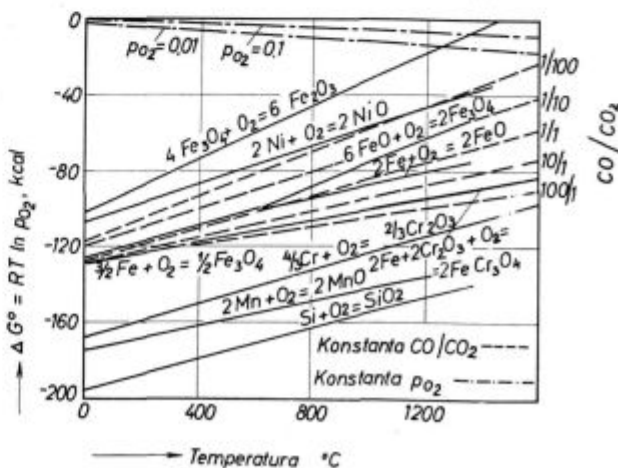
Kakor je razvidno na sliki 13, ima Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nizek parcialni pritisk in razen SiO<sub>2</sub> in MnO je to najbolj stabilen oksid od vseh zgoraj navedenih.

NiO je z druge strani neobstoje. Parcialni pritisk kisika v Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> in FeO je manjši kot pri NiO. To pomeni, da je malo možnosti, da bi se NiO nahajal v notranjem sloju oksidne plasti. Železo oksidira prvo in nikelj ostane kot kovinska faza. Nikelj pa lahko nastopa v zunanji plasti škaje kot kompleksna spojina NiCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub>.

Transport mase skozi oksidne faze je zelo pomemben. Skozi wüstit in magnetit poteka difuzija ionov železa, skozi hematit pa difuzija kisika.

### Vpliv žvepla na proces oksidacije

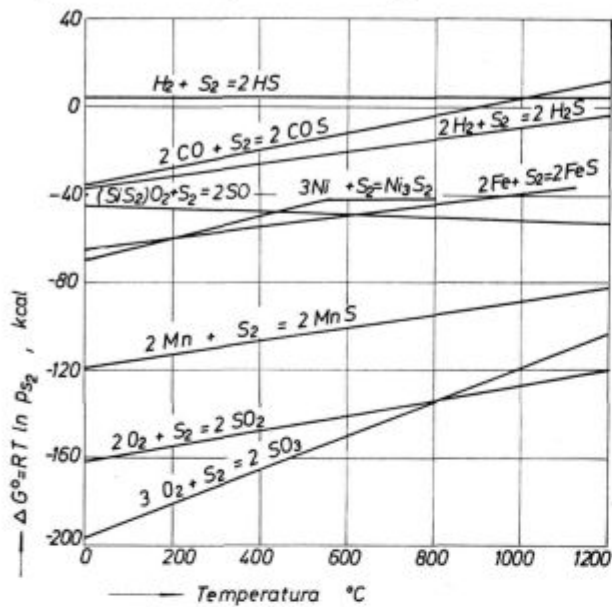
SO<sub>2</sub> ima glede na prisotnost O<sub>2</sub> in CO v dimnih plinih odločujoč vpliv na nastanek škaje. Nastanek sulfidov na kovinski površini je odvisen od parcialnega pritiska žvepljenih hlapov v atmo-



Slika 13

Diagram potencialov kisika

sferi. Vsak sulfid je pri določeni temperaturi v ravnatežju z določenim parcialnim pritiskom žvepla. Tako kakor diagram potencialov kisika lahko narišemo tudi diagram potencialov žvepla. Diagram na sliki 14 nam prikazuje potenciale žvepla v trdih in plinastih komponentah.



Slika 14  
Diagram potencialov žvepla

Pri atmosferah, ki vsebujejo žveplo, je tendenca nastanka sulfidov ali oksisulfidnih komponent. Te komponente, ki imajo pogostokrat zelo nizka tališča, lahko preprečujejo tvorbo zaščitnega oksidnega sloja. Komponente niklja z žveplom imajo posebno nizka tališča. Sulfid  $\text{Ni}_3\text{S}_2$  ima tališče pri  $787^\circ\text{C}$ , medtem ko tvori komponenta  $\text{Ni-Ni}_3\text{S}_2$  eutektik s tališčem pri  $645^\circ\text{C}$ .

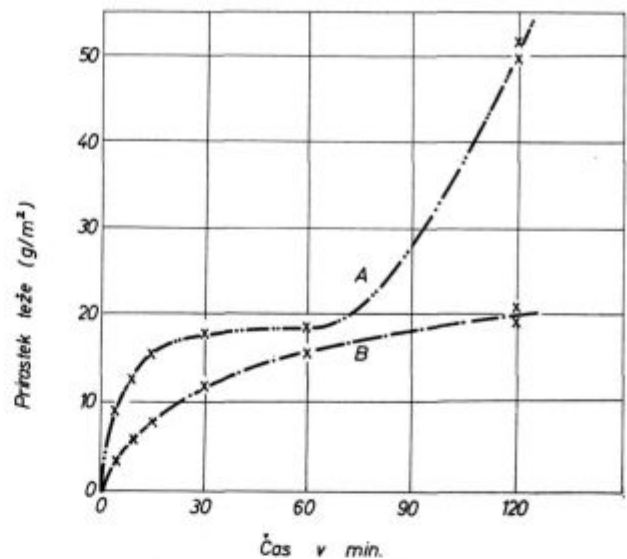
Z naraščajočo vsebnostjo  $\text{FeS}$  v nikljevem sulfidu temperaturna točka tališča sicer nekoliko naraste, tako da ima spojina  $2\text{FeS}\cdot\text{Ni}_3\text{S}_2$  tališče pri  $880^\circ\text{C}$ .

Iz diagrama na sliki 15 je razvidno, da je pri plinskih atmosferah, ki ne vsebujejo žvepla, stopnja oksidacije pri temperaturi  $1050^\circ\text{C}$  višja, če te vsebujejo kisik (krivulja A), manjše pa, če vsebujejo  $\text{CO}$  (krivulja B). Večjo stopnjo oksidacije si tolmačimo s krhkostjo škaje, ki nima za to zaščitne funkcije odnosno vloge.

Iz diagrama na sliki 16 pa je razvidno, da je stopnja oksidacije pri  $1050^\circ\text{C}$  v atmosferah, ki vsebujejo  $\text{SO}_2$ , zelo visoka, če v atmosferi ni prisotnega kisika in majhna, če ta vsebuje kisik.

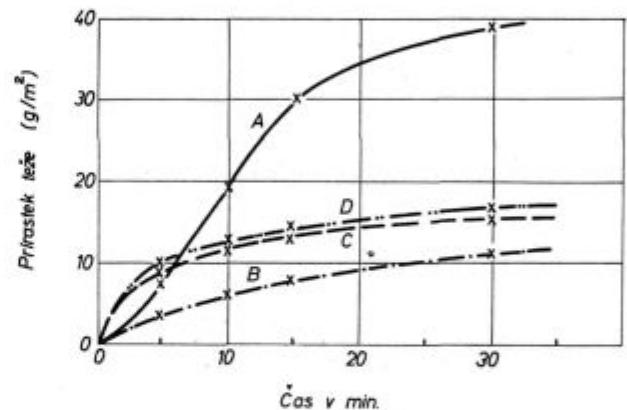
Iz vsega zgoraj navedenega je torej razvidno, da je prisotnost  $\text{SO}_2$  v dimnih plinih zelo škodljiva. Izpremembe v stopnji oksidacije zaradi prisotnosti žvepla v atmosferah, ki vsebujejo  $\text{CO}$ , je združena s popolno spremembo strukture škaje. Ta škaja ni točno definirana. Začenja se tvoriti s penetracijo vzdolž meja zrn.

Vplivi različne vsebnosti  $\text{SO}_2$  na stopnjo oksidacije v rahlo redukativni atmosferi (krivulja A)



Slika 15

Stopnja oksidacije jekla pri  $1050^\circ\text{C}$ : krivulja A — 16 %  $\text{CO}_2$ , 1,5 %  $\text{O}_2$ , 82 %  $\text{N}_2$ ; krivulja B — 15 %  $\text{CO}_2$ , 1,0 %  $\text{CO}_2$ , 84 %  $\text{N}_2$



Slika 16

Stopnja oksidacije jekla pri  $1050^\circ\text{C}$ : krivulja A — 15 %  $\text{CO}_2$ , 1,5 %  $\text{CO}$ , 0,1 %  $\text{SO}_2$ , 83 %  $\text{N}_2$ ; krivulja B — 15 %  $\text{CO}_2$ , 1,5 %  $\text{CO}$ , 84 %  $\text{N}_2$ ; krivulja C — 16 %  $\text{CO}_2$ , 1,5 %  $\text{O}_2$ , 0,1 %  $\text{SO}_2$ , 82 %  $\text{N}_2$ ; krivulja D — 16 %  $\text{CO}_2$ , 1,5 %  $\text{O}_2$ , 82 %  $\text{N}_2$

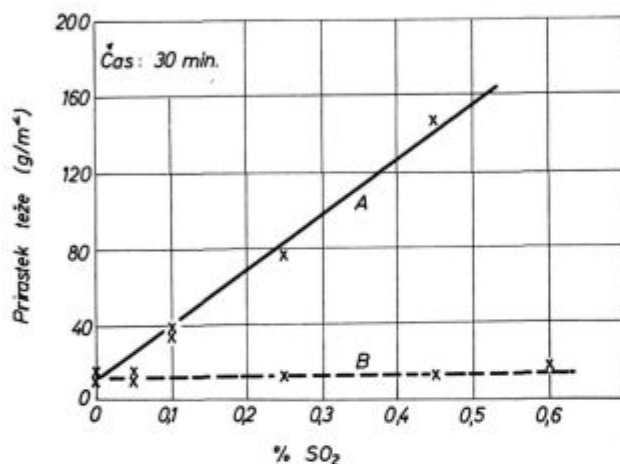
in v rahlo oksidativni atmosferi (krivulja B) pri temperaturi  $1050^\circ\text{C}$  prikazuje slika 17. V atmosferi, vsebujoči 1,5 %  $\text{O}_2$ , je stopnja oksidacije praktično neodvisna od vsebnosti  $\text{SO}_2$ . V redukcijski atmosferi pa je stopnja oksidacije močno odvisna od vsebnosti  $\text{SO}_2$ .

Različen vpliv žvepla na oksidacijske procese v oksidacijskih in redukcijskih atmosferah si tolmačimo s pomočjo parcialnega pritiska žveplnih hlapov v različnih plinskih mešaninah in temperaturah. V redukativnih atmosferah je parcialni pritisk hlapov žvepla dovolj visok, da dovoljuje tvorbo nizkotalečih  $\text{Ni}$  in  $\text{Fe}$  sulfidov. Z druge strani pa je v dimnih plinih, ki nastanejo pri prebitku zraka, oziroma kisika parcialni pritisk hlapov žvepla prenizek, da bi nastali sulfidi.

Številni avtorji so se ukvarjali tudi z vplivi  $\text{H}_2$  in  $\text{H}_2\text{O}$  na stopnjo oksidacije. Kakor je v tabeli 2

Tabela II.

Čas ogrevanja min.	Sestava plinov v %							naraščanje teže gr/m <sup>2</sup>
	CO <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	
5	13.1	3.2	9.9	1.3	—	72.5	—	4
5	9.0	2.1	6.8	0.9	—	81.1	0.1	11
15	14.9	—	12.7	—	1.0	71.4	—	5
15	13.4	—	11.4	—	3.4	71.7	0.1	3
15	11.8	1.0	9.5	0.5	—	77.2	—	4
15	8.7	1.9	6.6	0.8	—	81.9	0.1	31
30	16.7	—	14.2	—	1.5	67.6	—	7
30	14.1	—	12.0	—	1.9	71.9	0.1	6
30	10.1	1.3	7.6	0.5	—	81.5	—	8
30	9.2	1.8	7.0	0.8	—	81.8	0.1	135



Slika 17

Vpliv SO<sub>2</sub> na stopnjo oksidacije pri 1050 °C: krivulja A — 15 % CO<sub>2</sub>, 1,5 % CO; 83 % N<sub>2</sub>, 0,1 do 0,6 % SO<sub>2</sub>; krivulja B — 16 % CO<sub>2</sub>, 1,5 % O<sub>2</sub>, 82 % N<sub>2</sub>, 0,1 do 0,6 % SO<sub>2</sub>

razvidno, nimata H<sub>2</sub> in H<sub>2</sub>O bistvenega vpliva na stopnjo oksidacije niti v oksidativnih niti v redukcijskih atmosferah.

**Izvedba preiskav**

Preden bi pristopili k opisu preiskav vpliva atmosfere na nastanek razpok pri valjanju, bi na kratko opisali tehnologijo ogrevanja nerjavnih jekel avstenitno in avstenitno-feritnega tipa v globinskih pečeh, torej ogrevanje, ki je, kakor bomo kasneje videli, najbolj odločilno vplivalo na potek valjanja, oziroma na nastanek razpok.

Šarže jekla tipa 18/8, torej kvalitete Č 4582, smo izdelovali v 60 t elektropeči in vlivali v 4,2, 5,4 in 9,2 t bloke. Ostali pogoji so bili naslednji:

- Track Time . . . . . 3—4 h
- Temperatura blokov ob zakladanju . . . . . 800—900° C
- Čas ogrevanja . . . . . 20—24 h
- Homogenizacija pri temperaturah . . . . . 800—900°, 1100 in 1250° C
- Flasch burning na 1300° C . . . . . 1 h
- Končna temperatura blokov . . . . . 1280 do 1300° C

Komore smo kurili z mazutom, ki je vseboval od 0,7—2,2 % S. Vsebnost SO<sub>2</sub> v dimnih plinih je nihala med 0,04—0,12 %. Mazut smo razprševali z vodno paro. Komore smo kurili z različnim zračnim prebitkom, tako da je vsebnost kisika v dimnih plinih močno nihala. S pomočjo Orsatovega aparata smo določevali še ostale plinske komponente. Sestava teh komponent je bila naslednja:  
 CO<sub>2</sub> = 12,0—17,0 %  
 CO = 0 %  
 O<sub>2</sub> = 1,5—8 %  
 SO<sub>2</sub> = 0,07—0,12 %

Količina pare v dimnih plinih je bila zelo visoka, in sicer med 14—16 %.

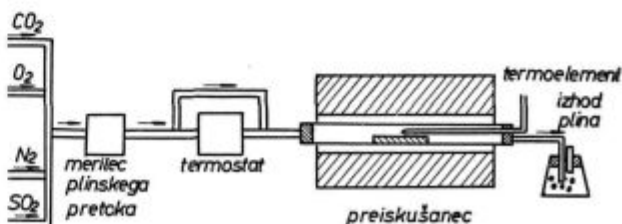
Pri določevanju programa laboratorijskih preiskav smo skušali zajeti vse tiste faktorje, ki naj bi vplivali na nastanek razpokljivosti pri valjanju. Obenem smo se skušali čimbolj približati pogojem dela v globinskih pečeh.

Zadali smo si za nalogo ugotoviti:

1. Vpliv različne vsebnosti kisika na stopnjo oksidacije pri različnih temperaturah in časih
2. Vpliv različne vsebnosti SO<sub>2</sub> na stopnjo oksidacije v nevtralnih in v oksidativnih atmosferah, in to pri različnih temperaturah in časih.

Za preiskave smo si izbrali preizkušance v litem stanju, ki smo jih izrezali iz 5 kg blokov, katerih okvirna analiza je razvidna na tabeli I. Površino preizkušancev smo mehansko obdelali in brusili do papirja, granulacije 400/2 ter končno razmastili v trikloretilenu. Dimenzija preizkušancev je znašala 25 × 15 × 15 mm.

Na sliki 18 je shematsko prikazana naprava za pripravo plinske mešanice z rotametrom in



Slika 18

Shema naprave za tvorbo plinske mešanice s pečico

silitno pečico. V pečici se je nahajala na obeh straneh zatesnjena kvarčna cevka s termoelementom. Preizkušance smo vlagali v sredino cevke tik ob termoelementu.

Pred začetkom ogrevanja smo cevko preprihivali z isto plinsko mešanico, ki je služila za preizkus stopnje oksidacije. V isti atmosferi se je preizkušanec tudi ohlajeval do cca 100°C. Pretok plinov je znašal cca 25 l/h.

Stopnja oksidacije smo preiskovali v naslednjih plinskih mešanicah in pogojih:

- a)  $O_2 = 1.0, 3.0, 5.0 \%$   
 $SO_2 = 0 \%$   
 $N_2 = \text{ostalo}$

Čas ogrevanja: 60 in 180 min.

Temperatura: 1100, 1250 in 1300°C

- b)  $CO_2 = 14 \%$   
 $SO_2 = 0.1, 0.3 \text{ in } 0.6 \%$   
 $O_2 = 0, 1.0, 3.0 \text{ in } 5.0 \%$   
 $N_2 = \text{ostalo}$

Čas ogrevanja: 60, 180 in 300 min.

Temperatura: 1100 in 1250°C

Preiskav v atmosferah, vsebujočih  $H_2O$ , nismo izdelali, ker bodo predmet nadaljnjih raziskav.

Po končanem preizkusu smo na slehernem preizkušancu izdelali metalografsko preiskavo za ugotovitev velikosti stopnje oksidacije. Določevali smo debelino, oziroma globino oksidirane plasti v mm. Preiskavo pri dobivanju teže preizkušanca nismo izdelali, ker nas je zanimal poleg globine tudi potek oksidacije. Rezultati, ki smo jih dosegli, so podani v diagramih in slikah.

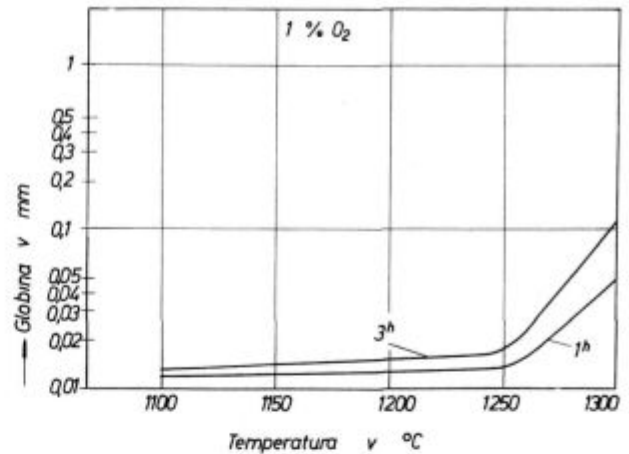
### Vpliv $O_2$ na stopnjo oksidacije

Preiskave stopnje oksidacije smo izdelali pri različnih temperaturah in časih ogrevanja ter pri različnih vsebnostih kisika. Kakor je iz diagramov na sliki 19, 20 in 21 razvidno, je bila stopnja oksidacije pri 1%  $O_2$  minimalna, do 1250°C, pri 5%  $O_2$  pa velika, posebno pri temperaturah nad 1250°C. Maksimalno globino oksidacije 1.2 mm smo dosegli pri temperaturi 1300°C in času 180 min.

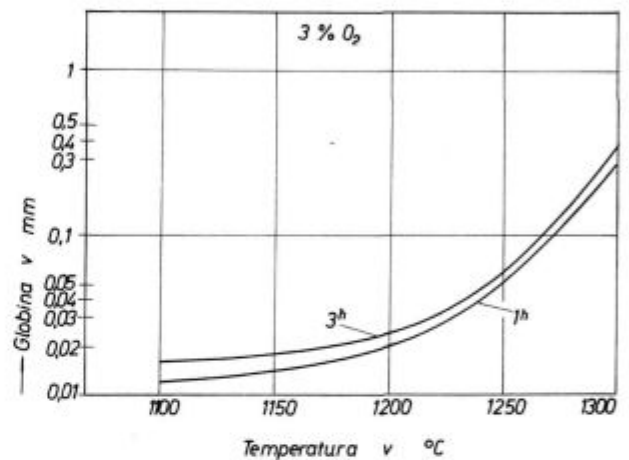
Na preizkušancih, ki so bili izpostavljeni vplivu različnih %  $O_2$ , smo izdelali še metalografske preiskave, da bi ugotovili velikost in obliko oksidirane plasti. Slika 22 nam prikazuje stopnjo oksidacije v atmosferi 1%  $O_2$  (ostalo  $N_2$ ), pri temperaturi 1200°C in času 1 h. Vidna je zelo tanka oksidna plast in rahlo oksidirane meje zrn.

Slika 23 nam prikazuje presek preizkušanca, ki je bil izpostavljen atmosferi 1%  $O_2$  (ostalo  $N_2$ ), pri temperaturi 1200°C in času 3 h. Lepo je vidna nekoliko močnejša oksidiranost meja zrn.

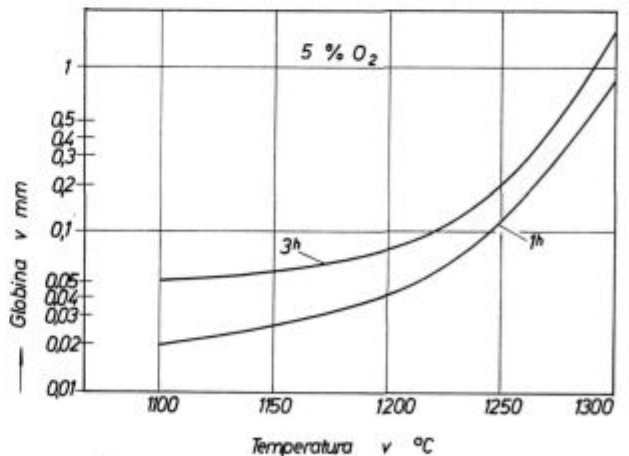
Slika 24 pa nam prikazuje presek preizkušanca, ki je bil izpostavljen atmosferi 5%  $O_2$  (ostalo  $N_2$ ), pri temperaturi 1300°C in času 1 h.



Slika 19  
Globina oksidacije pri 1%  $O_2$



Slika 20  
Globina oksidacije pri 3%  $O_2$



Slika 21  
Globina oksidacije pri 5%  $O_2$

Zelo lepo je vidna izredno močna oksidacija površine. Oblika plasti nam kaže, da je oksidacija potekala istočasno frontalno in po mejah zrn.

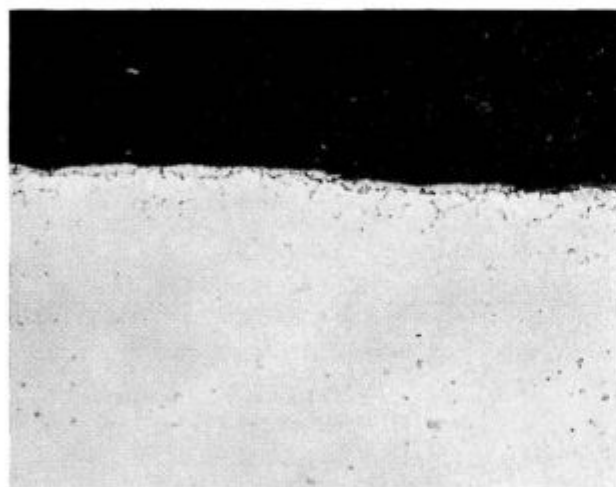
Iz vsega zgoraj navedenega je razvidno, da nevarnost oksidacije v atmosferah  $O_2$  in  $N_2$  močno

narašča z naraščajočo vsebnostjo kisika, temperature in časa ogrevanja. Ta oksidacija postaja posebno intenzivna pri temperaturah nad 1250° C. Stopnja oksidacije, ki je razvidna na sliki 24, lahko povzroča lomljivost valjancev pri valjanju.

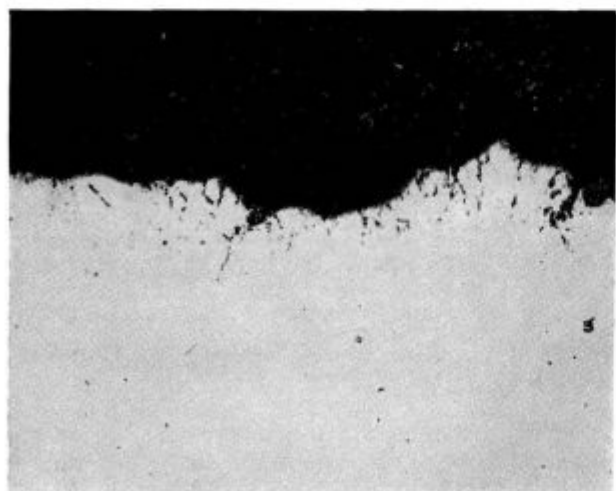
### Vpliv SO<sub>2</sub> in O<sub>2</sub> na stopnjo oksidacije

V naslednjih preiskavah nas je predvsem zanimal vpliv različne vsebnosti SO<sub>2</sub>, v atmosferah, vsebujočih cca 14 % CO<sub>2</sub> in od 0 do 6 % O<sub>2</sub>, na debelino oksidnega sloja in na potek oksidacije. Preiskave smo izvedli pri temperaturah 1100 in 1250° C. Čas ogrevanja pa je nihal v intervalu od 60–300 min.

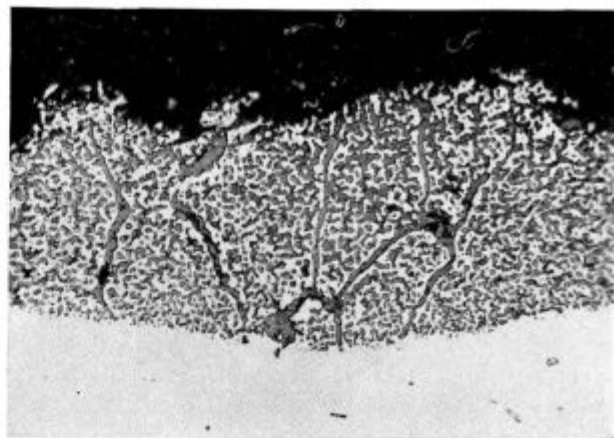
Diagram slike 25 nam prikazuje vpliv različne vsebnosti SO<sub>2</sub> na stopnjo oksidacije pri 0 % O<sub>2</sub> in enournem ogrevanju. Stopnja oksidacije, ki je pri 1100° C neznatna, postaja nekoliko večja pri temperaturah nad 1250° C, posebno pri višjih vsebnostih SO<sub>2</sub>.



Slika 22  
100 × — Stopnja oksidacije pri vsebnosti 1 % O<sub>2</sub>



Slika 23  
100 × — Stopnja oksidacije pri vsebnosti 1 % O<sub>2</sub>

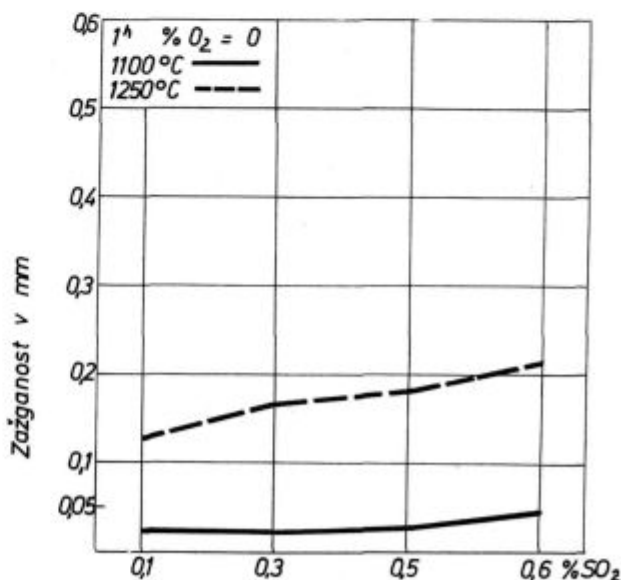


Slika 24  
100 × — Stopnja oksidacije pri vsebnosti 5 % O<sub>2</sub>

Diagram na sliki 26 nam prikazuje stopnjo oksidacije pri 1 % O<sub>2</sub> in enournem ogrevanju v odvisnosti od vsebnosti SO<sub>2</sub>. Oksidacija je pri 1100° C kakor tudi pri 1250° C majhna, ne glede na vsebnost SO<sub>2</sub>.

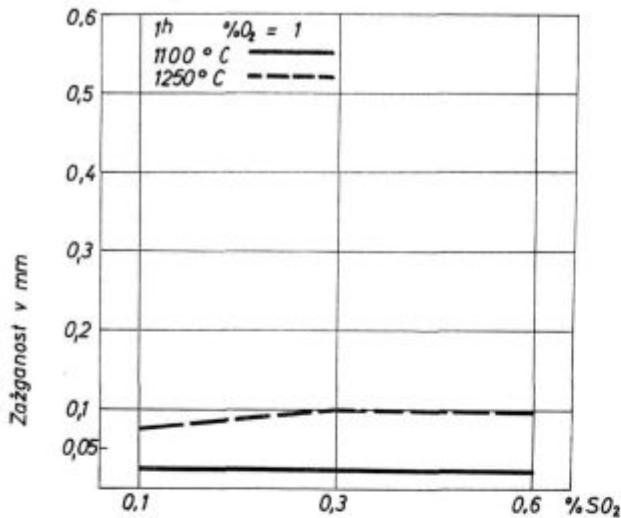
Diagram na sliki 27 pa nam prikazuje stopnjo oksidacije pri 5 % O<sub>2</sub> in pri enournem ogrevanju. Stopnja oksidacije je še manjša kot pri 0 %, oziroma pri 1 % O<sub>2</sub>.

Diagram na sliki 28 nam podaja rezime rezultatov vpliva O<sub>2</sub> in SO<sub>2</sub> na stopnjo oksidacije pri temperaturi 1250° C in času 1 ure. Kakor je iz diagramov razvidno, je v atmosferah, ki vsebujejo SO<sub>2</sub>, stopnja oksidacije večja, čim manjša je vsebnost kisika, čim večja je vsebnost SO<sub>2</sub> in čim daljši je čas ogrevanja. Največja nevarnost oksidacije obstoja v atmosferah, ki so brez kisika.



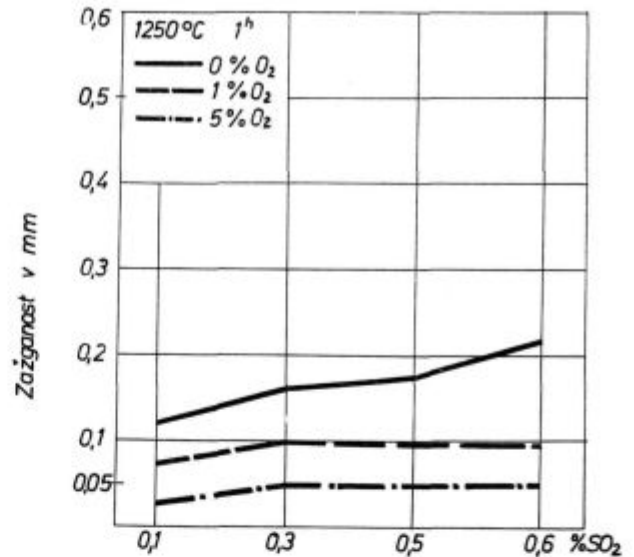
Slika 25  
Stopnja oksidacije v odvisnosti od vsebnosti SO<sub>2</sub>. Atmosfera: 14 % CO<sub>2</sub>; 0 % O<sub>2</sub>; 0,1 do 0,6 % SO<sub>2</sub>, ostalo N<sub>2</sub>





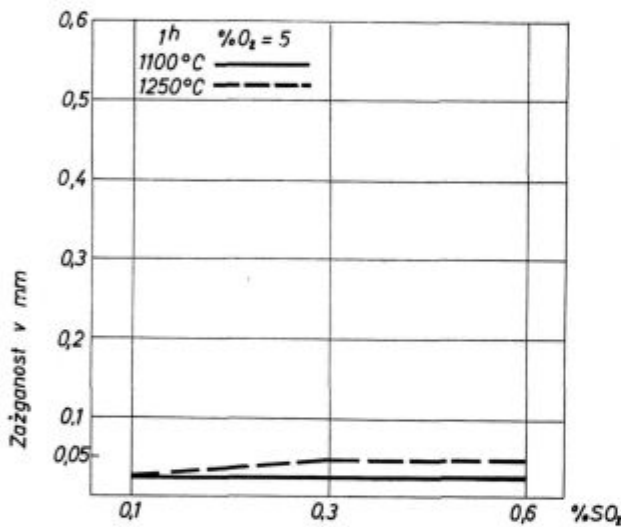
Slika 26

Stopnja oksidacije v odvisnosti od vsebnosti SO<sub>2</sub> — Atmosfera: 14 % CO<sub>2</sub>; 1 % O<sub>2</sub>; 0,1 do 0,6 % SO<sub>2</sub>, ostalo N<sub>2</sub>



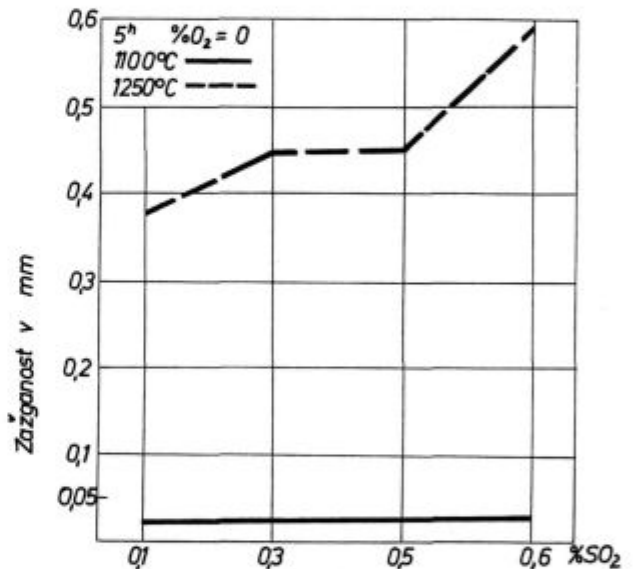
Slika 28

Vpliv O<sub>2</sub> in SO<sub>2</sub> na stopnjo oksidacije pri 1250°C in enournem ogrevanju



Slika 27

Stopnja oksidacije v odvisnosti od vsebnosti SO<sub>2</sub> — Atmosfera: 14 % CO<sub>2</sub>; 5 % O<sub>2</sub>; 0,1 do 0,5 % SO<sub>2</sub>, ostalo N<sub>2</sub>



Slika 29

Stopnja oksidacije v odvisnosti od vsebnosti SO<sub>2</sub> — Atmosfera: 14 % CO<sub>2</sub>; 0 % O<sub>2</sub>; 0,1 do 0,6 % SO<sub>2</sub>, ostalo N<sub>2</sub>

Kljub navedenemu pa je stopnja oksidacije v zgoraj navedenih pogojih tako majhna, da ne more poškodovati površine izkušanca, in to v takšni meri, da bi bila zmanjšana njegova plastičnost.

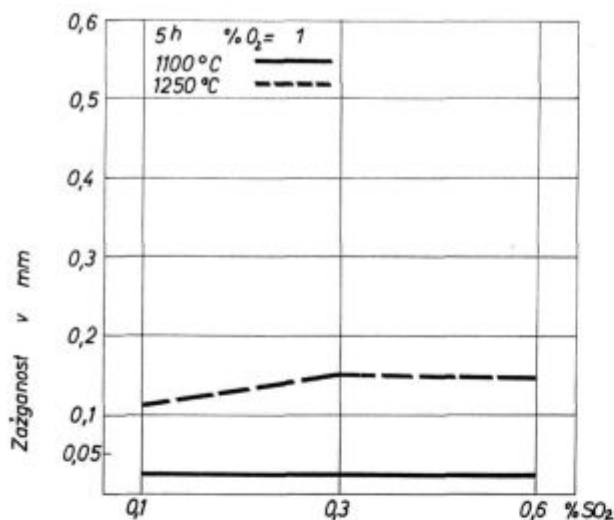
Izdelali smo še preiskave vpliva različnih vsebnosti kisika in SO<sub>2</sub> na stopnjo oksidacije pri 1100 in 1250°C ter pri 5 urah ogrevanja. S temi preiskavami smo se skušali približati časovnim pogojem in vsebnosti kisika v globinskih pečeh. Rezultati, ki smo jih dosegli, so razvidni na diagramih.

Na sliki 29 je razviden vpliv SO<sub>2</sub> na stopnjo oksidacije v atmosferah, ki so brez kisika. Ta stopnja oksidacije je zelo visoka pri 1250°C, neznatna pa pri temperaturi 1100°C.

Slika 30 nam prikazuje rezultate, ki smo jih dosegli pri 1 % O<sub>2</sub>. Stopnja oksidacije je pri 1100°C majhna, pri 1250°C pa nekoliko večja, vendar občutno manjša kot v atmosferi, ki ne vsebuje kisika.

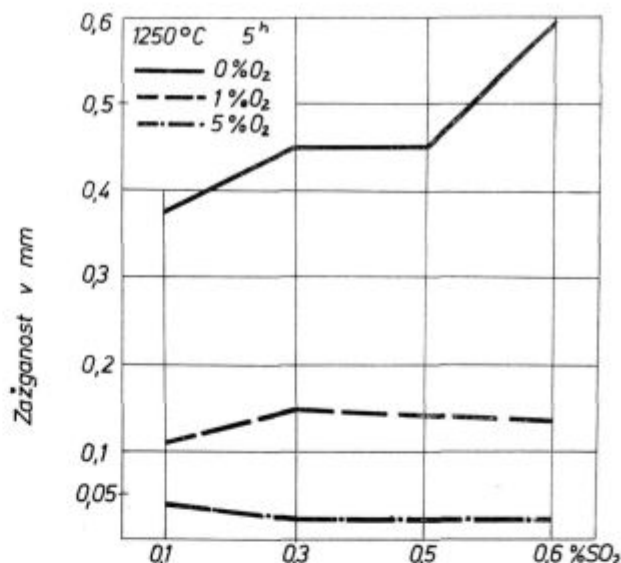
Rezultate stopnje oksidacije v odvisnosti od vsebnosti SO<sub>2</sub> pri 5 % O<sub>2</sub> pa nam podaja slika 31. Stopnja oksidacije je zelo majhna, ne glede na temperaturo ogrevanja.

Diagram na sliki 32 pa nam podaja rezime rezultatov vpliva različnih vsebnosti O<sub>2</sub> in SO<sub>2</sub> na stopnjo oksidacije pri 1250°C in času ogrevanja 5 ur. Iz diagrama je razvidno, da je stopnja oksidacije pri 0 % O<sub>2</sub> izredno visoka in odvisna od vsebnosti SO<sub>2</sub>. Taka stopnja oksidacije povzroča



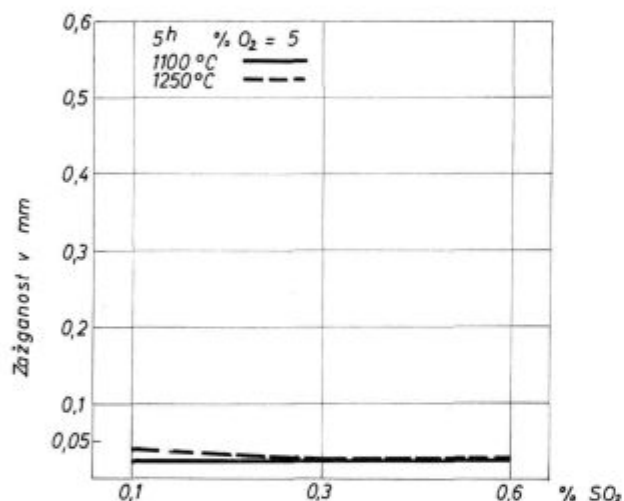
Slika 30

Stopnja oksidacije v odvisnosti od vsebnosti SO<sub>2</sub> — Atmosfera: 14 % CO; 1 % O<sub>2</sub>; 0,1 do 0,6 % SO<sub>2</sub>, ostalo N<sub>2</sub>



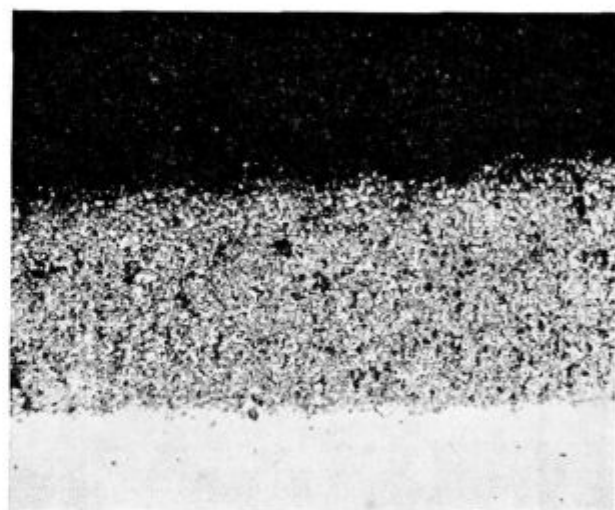
Slika 32

Stopnja oksidacije v odvisnosti od vsebnosti SO<sub>2</sub> in O<sub>2</sub> pri 1250°C in 5-urnem ogrevanju



Slika 31

Stopnja oksidacije v odvisnosti od vsebnosti SO<sub>2</sub> — Atmosfera: 14 % CO; 5 % O<sub>2</sub>; 0,1 do 0,6 % SO<sub>2</sub>, ostalo N<sub>2</sub>



Slika 33

100 × — Stopnja oksidacije — Atmosfera: 14 % CO; 0 % O<sub>2</sub>; 0,1 % SO<sub>2</sub>, ostalo N<sub>2</sub>

močno poškodovanje površine, kar nedvomno vpliva na poslabšanje plastičnosti jekla in na nastanek razpokljivosti pri valjanju. Stopnja oksidacije v atmosferah, ki vsebujejo O<sub>2</sub> pa je majhna in nima praktičnega vpliva na plastičnost.

Na preizkušancih, ki so bili izpostavljeni atmosferam, ki vsebujejo različne količine SO<sub>2</sub> in O<sub>2</sub> smo izdelali še metalografske preiskave. Na sliki 33 je razviden presek površine preizkušanca, ki je bil izpostavljen 5 ur temperaturi 1250°C, in to v atmosferi z 0,1 % SO<sub>2</sub> in 0 % O<sub>2</sub>. Lepo je vidna močna stopnja oksidacije.

Na sliki 34 pa je razviden presek površine preizkušanca, ki je bil izpostavljen 5 ur temperaturi 1250°C, in to v atmosferi, ki vsebuje 0,6 % SO<sub>2</sub> in 0 % O<sub>2</sub>. Stopnja oksidacije je izredno napredovala. Zelo pogosta so temna mesta, kjer je prišlo do sublimacije nikljevih sulfidov.

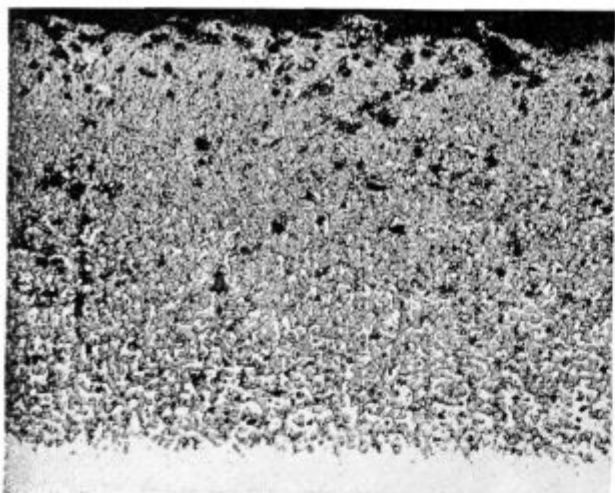
Iz vsega navedenega lahko sklepamo, da SO<sub>2</sub> v oksidativnih atmosferah nima bistvenega vpliva na stopnjo oksidacije, v nevtralnih atmosferah pa povzroča nastanek nizko talečih sulfidov in izredno močno stopnjo oksidacije.

### ZAKLJUČKI

1. Preiskave torzije in mehanskih lastnosti so nam pokazale, da je plastičnost jekla v temperaturnem območju 800—1250°C zadovoljiva.

2. Plastičnost jekla (torzija) narašča z naraščajočo temperaturo vse do 1150°C, ko doseže svoj maksimum.

3. Temperatura homogenizacije vpliva ugodno na plastičnost jekla.



Slika 34

100 × — Stopnja oksidacije — Atmosfera: 14 % CO<sub>2</sub>; 0 % O<sub>2</sub>; 0,6 % SO<sub>2</sub>, ostalo N<sub>2</sub>

4. Zrno je podvrženo počasnemu naraščanju v odvisnosti temperature. Sele nad 1050° C zabeležimo večjo rast zrna.

5. V atmosferah, ki vsebujejo cca 1 % O<sub>2</sub>, (ostalo N<sub>2</sub>) je jeklo podvrženo močnejši oksidaciji le pri temperaturah nad 1250° C.

6. Stopnja oksidacije začenja močno naraščati pri vsebnosti kisika nad 3 % (ostalo N<sub>2</sub>) in pri temperaturah nad 1200° C.

7. V atmosferah z nizko vsebnostjo O<sub>2</sub> (ostalo N<sub>2</sub>) poteka oksidacija po mejah zrn, v atmosferah z višjo vsebnostjo O<sub>2</sub> pa frontalno in po mejah.

8. Atmosfere z vsebnostjo O<sub>2</sub> nad 5 %, (ostalo N<sub>2</sub>) nam pri temperaturah nad 1250° C poškodujejo površino v takšni meri, da je plastičnost jekla občutno manjša.

9. SO<sub>2</sub> odlojučno vpliva na nastanek škaje v nevtralnih atmosferah. Ta vpliv pa je v oksidativnih atmosferah neprimerno manjši.

10. Za preprečitev kvarnega vpliva SO<sub>2</sub> je dovolj mali prebitek zraka, oziroma kisika v dimnih plinih.

11. Z naraščajočo temperaturo in časom ogrevanja in z naraščajočo vsebnostjo SO<sub>2</sub> narašča v nevtralnih atmosferah debelina oksidne plasti.

12. SO<sub>2</sub> v nevtralnih atmosferah poškoduje površino preizkušanca v takšni meri, da je njegova plastičnost občutno prizadeta.

#### Literatura:

1. John Olaf Edström: »Scaling of 18—8 Stainless Steel in Reheating Furnace Atmospheres«  
Journal of the Iron and Steel Institute, april 1957
2. A. Gueussier: »Étude expérimentale de la déformation à chaud des aciers et alliages«  
Revue de Metallurgie, november 1958
3. W. McDowell: »The Hot Working of the Austenitic Stainless Steel«  
Blast Furnace and Steel Plant, november 1965

### ZUSAMMENFASSUNG

Beim Walzen der nichtrostenden Stähle des Types 18/8, besonders aber beim walzen der Blöcke, kam oftmals zum reissen der Blockoberfläche. Die Risse waren mehr oder weniger tief und sind quer zu der Blockachse entstanden. Die Ursachen für diese Rissigkeit suchten wir in der Plastizität des Stahles in der Technologie der Aufwärmung und vor allem in der Zusammensetzung der Ofenabgase.

Die Plastizität des Stahles haben wir mittels der Warmtorsionsversuche im Temperaturinterwal von 800 bis 1250° C untersucht. Diese Untersuchungen zeigten, dass der Stahl bei der Temperatur über 1100° C eine genügende Plastizität besitzt.

Den Einfluss der Ofenabgase auf die Rissigkeit beim walzen haben wir in den Gasgemischen mit einer Zusam-

mensetzung von 0 bis 5 % Sauerstoff und 0 bis 0,6 % SO<sub>2</sub> untersucht. Die Untersuchungen sind bei den Temperaturen 1000°, 1250° und 1300° C, und in einem Zeitabstand von 60 bis 300 Minuten durchgeführt worden. Die Dicke der oxydierten Schicht bzw. die Einbrandtiefe ist metallografisch bestimmt worden.

Die Untersuchungen zeigten, dass ein steigender Gehalt an Sauerstoff in einer Sauerstoff-Stickstoff Atmosphäre einen grossen Einfluss auf die Entstehung des Zunders und die Art der Oxydation ausübt. Der Einfluss des SO<sub>2</sub> ist sehr stark in neutralen Abgasen, in welchen eine intensive Oxydation auf den Korngrenzen verläuft. Der Einfluss des SO<sub>2</sub> ist unbedeutend in oxydischen Abgasen, wenn die auch nur einen geringen Sauerstoffüberschuss enthalten.

### SUMMARY

In rolling 18/8 stainless steel, especially in rolling ingots, often more or less deep cracks perpendicular to the direction of deformation were found. Reasons for the mentioned cracking was sought in steel plasticity, heating technology, and above all in composition of stack gases.

Steel plasticity was determined by torsion and by tension tests in temperature range 800 to 1250° C. These tests showed that steel has enough high plasticity at 1100° C.

Influence of the atmosphere on oxidation of the surface or cracking during rolling was checked in gas mixtures with oxygen content 0 to 5 % and SO<sub>2</sub> content 0 to

0,6 %. Investigations were made at 1000, 1250 and 1300° C. Times of heating ranged from 60 to 300 minutes.

Thickness of the oxide layer or the depth of burnt surface was determined metallographically.

Results of investigations showed that increasing oxygen content together nitrogen has great influence on scale formation and on the form of oxydation. Influence of SO<sub>2</sub> is very high in neutral atmospheres in which intensive oxydation on grain boundaries takes place. Influence of SO<sub>2</sub> is negligible in oxidizing atmospheres though slight oxygen excess is present.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При прокатки нержавеющей стали марки 18/8, в особенности при прокатки слитков, часто на поверхности прокатного изделия обнаружены менее или более глубокие трещины которые находятся под прямым углом направления прокатывания. Причины происхождения упомянутых трещин искали в пластичности стали, в технологии нагревания и, в особенности, в составе дымовых газов.

Пластичность стали определена при помощи кручения и разрыванию при темп-ах между 800—1250° Ц. Это исследование указало, что при темп-ре свыше 1100° Ц сталь имеет достаточно хорошую способность пластичной формовки. Влияние атмосферы на появление трещин от пережога исследовали в смеси

газов с содержанием кислорода в пределах 0—5% и CO<sub>2</sub> в пределах 0—0.6%. Это исследование велось при темп-ах от 1000, 1250 и 1300° Ц а длительность разогрева была между 60 и 300 мин-ми. Толщина оксидного слоя т. э. глубина пережога определена металлографическим способом. Результаты исследования показали, что на появление отжиговой окалин и на форму окисления имеет повышенное содержание кислорода в том случае когда параллельно с этим обнаружено повышение азота. Влияние CO<sub>2</sub> весьма значительно в нейтральной атмосфере при которой происходит интенсивное окисление на границах зёрен. В окислительной атмосфере влияние CO<sub>2</sub> незначительно, также если в газе небольшой избыток кислорода.

## Uporabnost in način varjenja s specialno bazično oplaščeno elektrodo B-KOR Tifon

Raziskovalni oddelek Železarne Jesenice je razvil novo visoko kvalitetno specialno bazično oplaščeno elektrodo B-KOR Tifon, ki je namenjena za varjenje korenov in kotnih zvarov v smeri od zgoraj navzdol. Elektroda B-KOR Tifon lepo vari v smeri od zgoraj navzdol v vseh legah (ležeče in nadglavno), od navpične lege do lege mesta varjenja pod kotom  $45^\circ$ . Pri varjenju ležeče, če je mesto varjenja v vodoravni legi, je priporočljivo narediti le en sloj (koren), za nadglavno varjenje v vodoravni legi mesta varjenja pa je ta elektroda neprimerna (obešanje taline).

Elektroda B-KOR Tifon se uporablja običajno v kombinaciji z elektrodama EVB 50 in EVB 60 — koren ter po potrebi še dva do tri sloje zavarimo z elektrodo B-KOR Tifon v smeri od zgoraj navzdol, za tem pa zapolnimo »V« zvar z elektrodo EVB 50, oziroma EVB 60 v smeri od spodaj navzgor. Elektroda B-KOR Tifon služi predvsem kot pripomoček, ki poenostavi in poceni varjenje (enostavno, hitro in kvalitetno varjenje korenov in kotnih zvarov v smeri od zgoraj navzdol ter zelo ekonomično varjenje »V« zvarov — dobro pretaljenje korena že pri odprtini kota »V« zvara  $50^\circ$ ).

Elektroda B-KOR Tifon je uporabna za varjenje drobnozrnatih in konstrukcijskih jekel, kotlovske in ladijske pločevine ter jeklene litine.

Vsebnost  $H_2$  pod 5 ml/100 g zvara, kemična analiza in dobre mehanske vrednosti čistih varov elektrode B-KOR Tifon so poleg že omenjenih odlik, ki poenostavijo in pocenijo varjenje (enostavno, hitro, kvalitetno ter ekonomično varjenje), lastnosti, ki dajejo tej elektrodi zelo široke možnosti uporabe, industriji pa bolj ekonomičen in sodobnejši način varjenja.

### UVOD

Raziskovalni oddelek Železarne Jesenice je na osnovi potreb in želja uporabnikov varilnih elektrod prevzel nalogo razviti bazično oplaščeno elektrodo, ki bo specialno namenjena za varjenje korenov in kotnih zvarov v smeri od zgoraj navzdol. Povpraševanje po taki domači bazično oplaščeni elektrodi je bilo zelo veliko tudi zato, ker so takrat pri montažah že pričeli uporabljati nekatere tuje bazično oplaščene elektrode za varjenje v smeri od zgoraj navzdol (Novocitobasica, Siderotermica

— Italija; LB 26 V, KOBE STEEL — Japonska) ter so bile prednosti uporabe omenjenih varilnih elektrod očitne.

Varjenje korenov v smeri od spodaj navzgor je zelo zahtevno delo, ki mu je kos le izurjen varilec. Pri takem načinu varjenja korenov je jakost toka nizka (na spodnji meji), zato je tudi varjenje počasno ter je težko doseči dobro pretaljenje korena — kot »V« zvara mora biti  $60-70^\circ$ . Tako varjeni korenski zvari so sorazmerno kratki, število spojev med zvari, ki so nevarna mesta za nastanek por, je zato veliko. Pri varjenju v smeri od spodaj navzgor si varilec z elektrodo delno zakriva mesto varjenja, to pa povečuje možnost nastanka varilnih napak v korenu.

Varjenje korenov v smeri od zgoraj navzdol je v primerjavi s prej opisanim varjenjem korenov od spodaj navzgor enostavno, hitro in kvalitetno. Ker je pri tem načinu varjenja korenov jakost toka visoka (na zgornji meji), je zato varjenje hitro ter je tudi pretaljenje korena sorazmerno lahko doseči. Tako varjeni korenski zvari so dolgi, število spojev med zvari pa majhno. Pri varjenju v smeri od zgoraj navzdol varilec lepo vidi mesto varjenja ter lahko napake med varjenjem odpravlja — verjetnost nastanka varilnih napak v korenu je pri tem načinu varjenja majhna.

Iz opisane primerjave med varjenjem v smeri od spodaj navzgor in varjenjem v smeri od zgoraj navzdol, je očitno, da je morala Železarna Jesenice svoj proizvodni program oplaščenih varilnih elektrod izpopolniti. To ji je uspelo z razvojem visokokvalitetne specialne bazične elektrode B-KOR Tifon.

### I. VARJENJE Z ELEKTRODO B-KOR TIFON

#### 1. Položaji varjenja z elektrodo B-KOR Tifon

Specialna bazično oplaščena elektroda B-KOR Tifon je namenjena predvsem za varjenje korenov in kotnih zvarov v smeri od zgoraj navzdol. Njen izkoristek varjenja je ca. 100 %. Vrsta in jakost toka, s katerim moramo variti, pa je odvisna od dimenzije elektrod (glej tabelo št. 1).

Z dvema elektrodama EVB 50  $\varnothing$  3,25 mm zavarimo v smeri od spodaj navzdol pri jakosti toka ca. 120 A koren dolžine ca. 180 mm v ca. 180 s.

Tabela št. 1:

Ø elektrode mm	L elektrode mm	G elektr. gr	I (A)	Vrsta toka
3,25	350	30	140—150	izmenični in enosmerni tok (+ pol)
4	450	60	170—180	izmenični in enosmerni tok (+ pol)
5	450	95	220—230	izmenični tok
6	450	135	250—260	izmenični tok

Elektrodo B-KOR Tifon odlikujejo sledeče lastnosti:

Enostavno varjenje korenov — varjenje korenov v smeri od zgoraj navzdol je znatno enostavnejše od zelo zahtevnega varjenja korenov v smeri od spodaj navzgor

Velika hitrost varjenja — v smeri od zgoraj navzdol varimo s sorazmerno visoko jakostjo toka (glej tabelo št. 2)

Tabela št. 2:

Ø elektr. mm	I (A)	t varjenja 1 elektr. (s)	L zvara mm
3,25	140—150	40—50	ca. 200
4	170—180	65—75	ca. 350

Varjenje korenov z elektrodo B-KOR Tifon v smeri od zgoraj navzdol je torej približno 4 krat hitrejše od varjenja korenov v smeri od spodaj navzgor z elektrodo EVB 50.

Kvalitetni korenski zvari — za varjenje korenov z elektrodo B-KOR Tifon v smeri od zgoraj navzdol je značilno dobro prevarjenje korenov in majhno število spojev med korenskimi zvari, ki so dolgi in gladki.

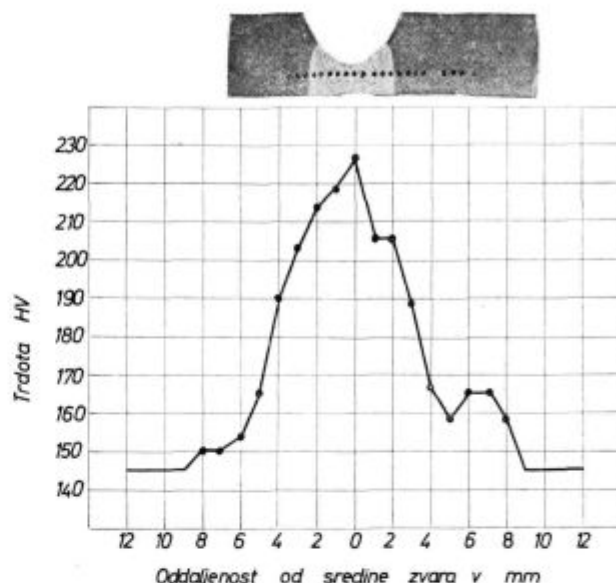
Ekonomičnost varjenja — z elektrodo B-KOR Tifon dosežemo dobro prevarjenje korena že pri odprtini kota »V« zvara 50°. S tem prihranimo na času in materialu; pri zmanjšanju kota »V« zvara od 60 na 50° za ca. 15 %, pri spremembi kota »V« zvara od 70 na 50° pa celo za ca. 32 %.

a) Varjenje v smeri od zgoraj navzdol — mesto varjenja je v navpični legi (→↓)

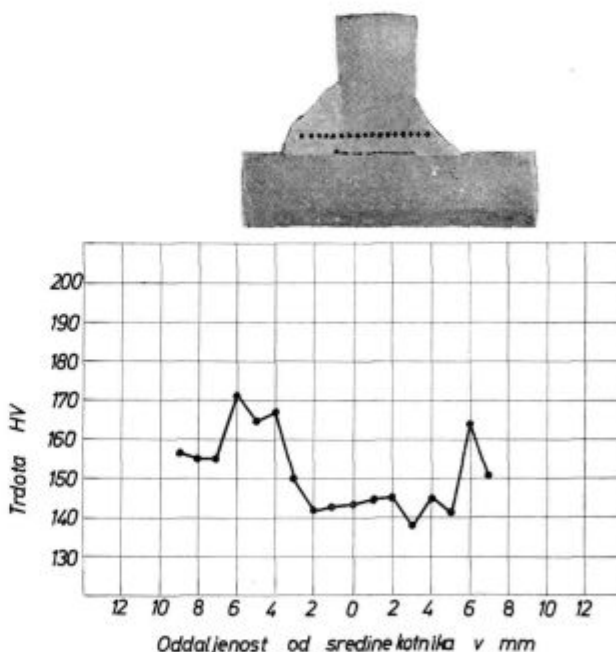
Pogoji varjenja so bili sledeči: »V« zvar in kotnik sta bila pripravljena iz pločevine jekla St 37, debeline 10 mm. Odprtina kota V zvara je bila 50°, širina špranje ca. 3 mm, robovi pa posneti

za ca. 2 mm. Varili smo z elektrodo B-KOR Tifon Ø 4 mm z izmeničnim tokom jakosti 170 A.

Videz in kvaliteta zvarov, zavarjenih v smeri od zgoraj navzdol, če je mesto varjenja v navpični legi, sta razvidna iz slik št. 1 in št. 2.



Slika 1  
Metalografski obrus korenskega zvara in diagram mikrotrdot — B-KOR Tifon Ø 4 mm, St 37 (10 mm), navpična lega, izmenični tok




Slika 2  
Metalografski obrus kotnega zvara in diagram mikrotrdot — B-KOR Tifon Ø 4 mm, St 37 (10 mm), navpična lega, izmenični tok

Korenski (sl. št. 1) in kotni zvari (sl. št. 2), zavarjeni v navpični legi v smeri od zgoraj navzdol z elektrodo B-KOR Tifon, so dolgi in gladki, žilindro zlahka odstranimo — sama odstopa od

zvara. Debelina korenkega zvara na najožjem mestu preseka je ca. 3 mm, višina kotnega zvara — en sloj (desna stran metalografskega obrusa na sliki št. 2) pa ca. 4 mm, tako da je ploščina preseka kotnega zvara (samo dodani material) ca. 0,165 cm<sup>2</sup>. Globina zvara je ca. 1 mm, dolžina zvara, zavarjenega z eno elektrodo, pa ca. 350 mm.

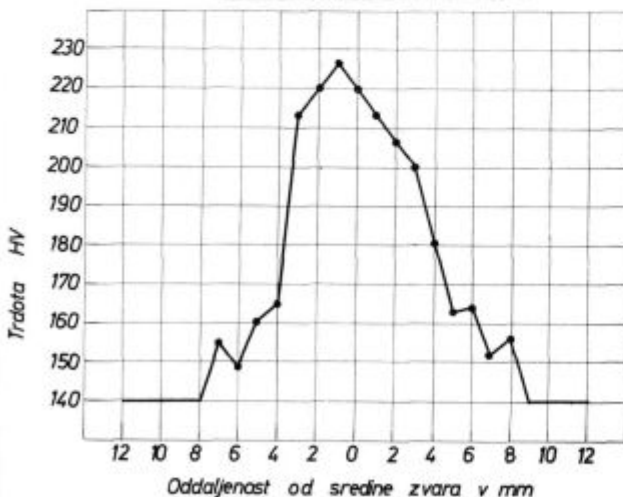
Iz metalografskih obrusov zvarov je razvidno, da je koren kljub odprtini kota »V« zvara 50° dobro prevarjen in da je uvar kljub varjenju v navpični legi v smeri od zgoraj navzdol soliden. Diagrami mikrotrdot (merjene točke so na metalografskem obrusu in diagramu označene s točkami) pa kažejo, da je zvar nekoliko trši od osnovnega materiala (jeklo St 37) ter da je elektroda B-KOR Tifon primerna za varjenje te vrste jekel.

Levo stran kotnika (metalografski obrus na sliki št. 2) smo v navpični legi mesta varjenja zavarili v smeri od zgoraj navzdol dvoslojno — prvi sloj brez izrazitega nihanja, drugega pa z nihanjem.

b) Varjenje ležeče v smeri od zgoraj navzdol — mesto varjenja je pod kotom 45° (  )

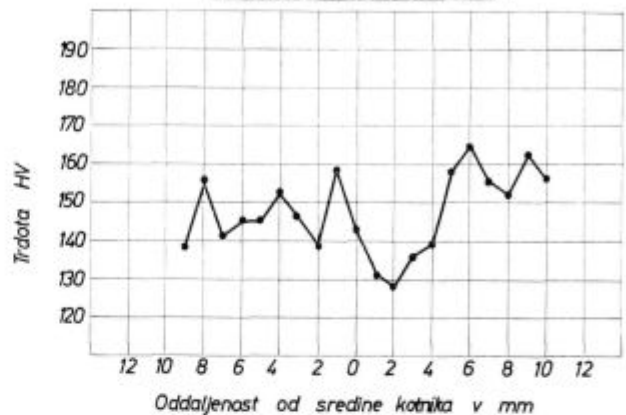
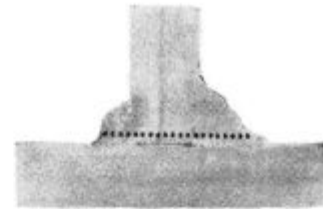
Ležeče pod kotom 45° smo v smeri od zgoraj navzdol varili pod popolnoma enakimi pogoji kot v navpični legi v smeri od zgoraj navzdol (10 mm debela pločevina jekla St 37, kot »V« zvara 50°, širina špranje ca. 3 mm, robovi pa posneti za ca. 2 mm. Varjeno z B-KOR Tifon Ø 4 mm z izmeničnim tokom I = 170 A).

Videz in kvaliteta zvarov, zavarjenih ležeče v smeri od zgoraj navzdol, če je mesto varjenja pod kotom 45°, sta razvidna iz slik št. 3 in št. 4.



Slika 3

Metalografski obrus korenkega zvara in diagram mikrotrdot — B-KOR Tifon Ø 4 mm, St 37 (10 mm), ležeče (45°), izmenični tok




Slika 4

Metalografski obrus kotnega zvara in diagram mikrotrdot — B-KOR Tifon Ø 4 mm, St 37 (10 mm), ležeče (45°), izmenični tok

Korenski (sl. št. 3) in kotni zvari (sl. št. 4), varjeni ležeče v legi mesta varjenja pod kotom 45° v smeri od zgoraj navzdol, so nekoliko krajši in bolj grobi kot zvari, ki so varjeni v navpični legi tudi v smeri od zgoraj navzdol, vendar so še vedno lepi in žindra tudi lepo odstopa od zvara. Debelina korenkega zvara na najožjem mestu preseka je ca. 5 mm, višina kotnega zvara — en sloj (leva stran metalografskega obrusa na sliki št. 4) pa tudi ca. 5 mm, tako da je ploščina preseka zvara ca. 0,255 cm<sup>2</sup>. Globina uvara je ca. 1—2 mm, dolžina zvara, zavarjenega z eno elektrodo, pa ca. 220 mm.

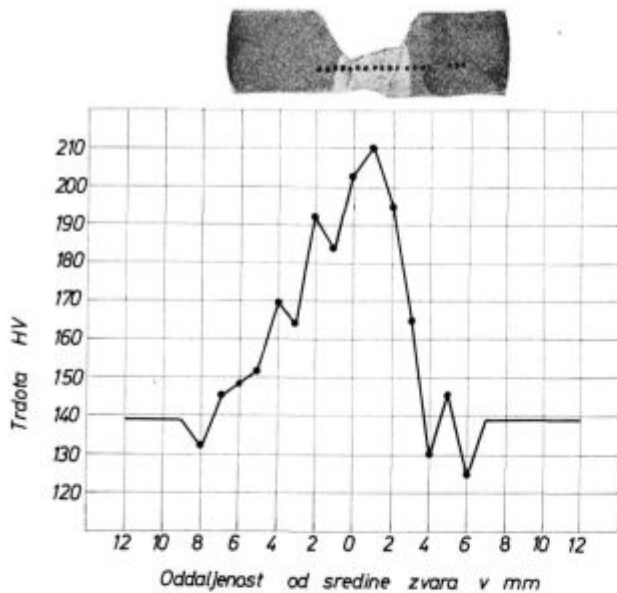
Desno stran kotnika (metalografski obrus na sliki št. 4) smo zavarili ležeče v legi mesta varjenja pod kotom 45° v smeri od zgoraj navzdol troslojno (vse sloje približno enako — brez izrazitega nihanja).

c) Varjenje nadglavno v smeri od zgoraj navzdol — mesto varjenja je pod kotom 45° (  )

Varjenje nadglavno pod kotom 45° smo v smeri od zgoraj navzdol izvedli pod popolnoma enakimi pogoji kot varjenje v navpični legi v smeri od zgoraj navzdol (10 mm debela pločevina jekla St 37, kot »V« zvara 50°, širina špranje ca. 3 mm, robovi pa posneti za ca. 2 mm. Varjeno z B-KOR Tifon Ø 4 mm z izmeničnim tokom I = 170 A).

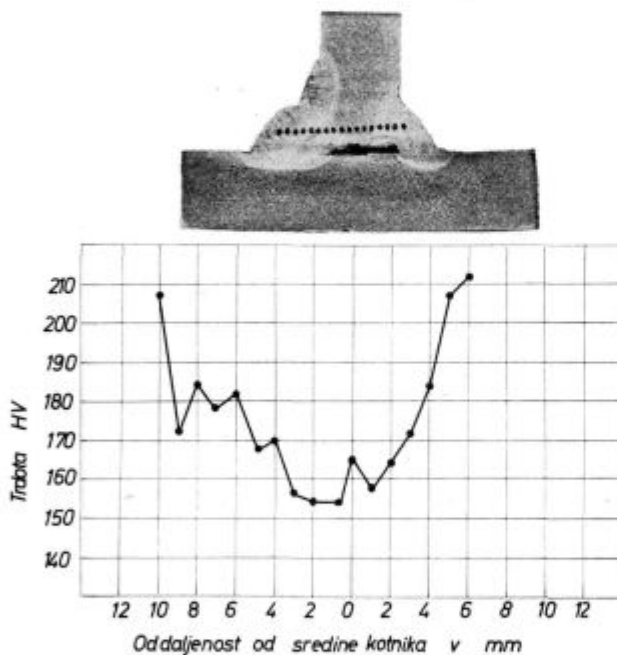
Videz in kvaliteta zvarov, zavarjenih nadglavno v smeri od zgoraj navzdol, če je mesto varjenja pod kotom 45°, sta razvidna iz slik št. 5 in št. 6.

Korenski (sl. št. 5) in kotni zvari (slika št. 6), varjeni nadglavno v legi mesta varjenja pod kotom 45° v smeri od zgoraj navzdol so slični



Slika 5

Metalografski obrus korenkega zvara in diagram mikrotrdot — B-KOR Tifon  $\varnothing$  4 mm, St 37 (10 mm), nadglavno (45°), izmenični tok



Slika 6

Metalografski obrus kotnega zvara in diagram mikrotrdot — B-KOR Tifon  $\varnothing$  4 mm, St 37 (10 mm), nadglavno (45°), izmenični tok

zvarom, ki so varjeni ležeče v legi mesta varjenja pod kot 45°, tudi v smeri od zgoraj navzdol. Debelina korenkega zvara na najožjem mestu preseka je ca. 4 mm, višina kotnega zvara — en sloj (desna stran metalografskega obrusa na sl. št. 6) pa ca. 4,5 mm, tako da je ploščina preseka zvara ca. 0,214 cm<sup>2</sup>. Globina uvara je ca. 1–2 mm, dolžina zvara, zavarjenega z 1 elektrodo, pa ca. 260 mm.

Levo stran kotnika (metalografski obrus na sl. št. 6) smo zavarili nadglavno v legi mesta varjenja pod kotom 45° v smeri od zgoraj navzdol troslojno (vse sloje približno enako — brez izrazitega nihanja).

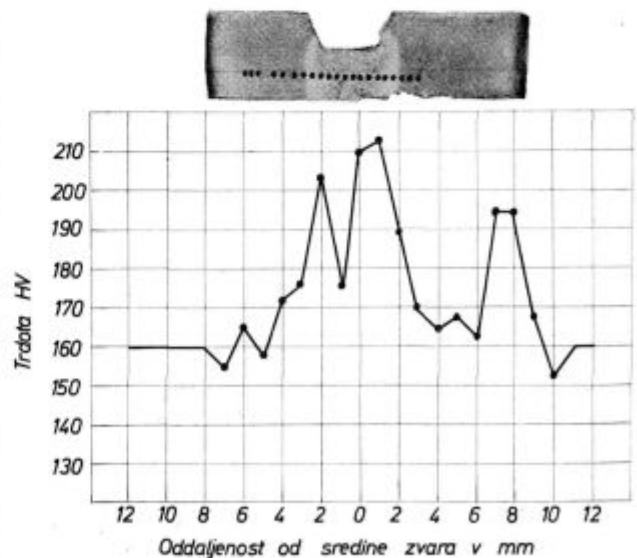
d.) Varjenje ležeče — mesto varjenja je v vodoravni legi ( $\rightarrow$ )

Varjenje ležeče v vodoravni legi smo izvedli pod sličnimi pogoji kot varjenje v navpični legi v smeri od zgoraj navzdol (10 mm debela pločevina jekla St 37, kot »V« zvara 50°, širina špranje ca. 2 mm, robovi pa posneti za ca. 2 mm. Varjeno z B-KOR Tifon  $\varnothing$  4 mm z izmeničnim tokom, I = 170 A). Pri varjenju ležeče v vodoravni legi mesta varjenja mora biti zaradi močnejšega uvarjanja širina špranje »V« zvara ožja (ca. 2 mm) kot pri prej opisanih, varjenih v smeri od zgoraj navzdol, pri katerih mora biti širina špranje »V« zvara ca. 3 mm.

Videz in kvaliteta zvarov, zavarjenih ležeče v vodoravni legi mesta varjenja, sta razvidna iz slik št. 7 in št. 8.

Za varjenje ležeče v vodoravni legi mesta varjenja je elektroda EVB 50 primernejša od elektrode B-KOR Tifon. V tem položaju zavarjeni zvari z elektrodo B-KOR Tifon so grobi in visoki. Debelina korenkega zvara na najožjem mestu preseka je ca. 5,5 mm, višina kotnega zvara — en sloj (leva stran metalografskega obrusa na sl. št. 8) pa ca. 5 mm, tako da je ploščina preseka zvara ca. 0,265 cm<sup>2</sup>. Globina uvara je ca. 2 mm, dolžina zvara, zavarjenega z eno elektrodo, pa ca. 210 mm.

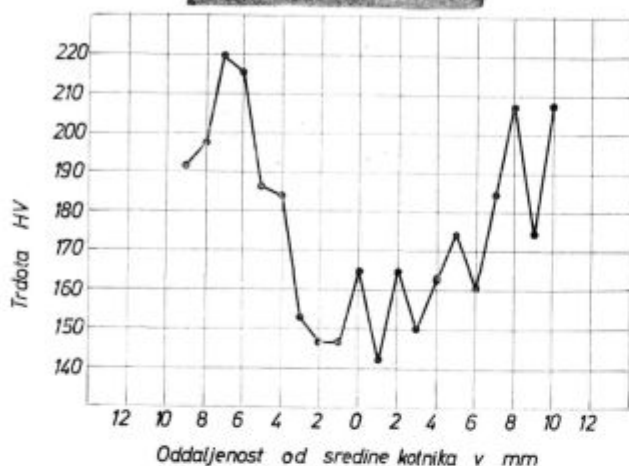
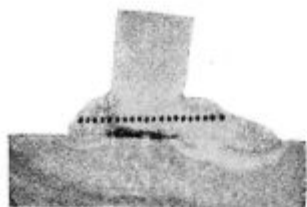
Večslojno varjenje v tem položaju z elektrodo B-KOR Tifon ni priporočljivo — zaradi večje debeline slojev in težko taljive žilindre se poveča nevarnost vključkov in por v zvaru.



Slika 7

Metalografski obrus korenkega zvara in diagram mikrotrdot — B-KOR Tifon  $\varnothing$  4 mm, St 37 (10 mm), ležeče vodoravno, izmenični tok





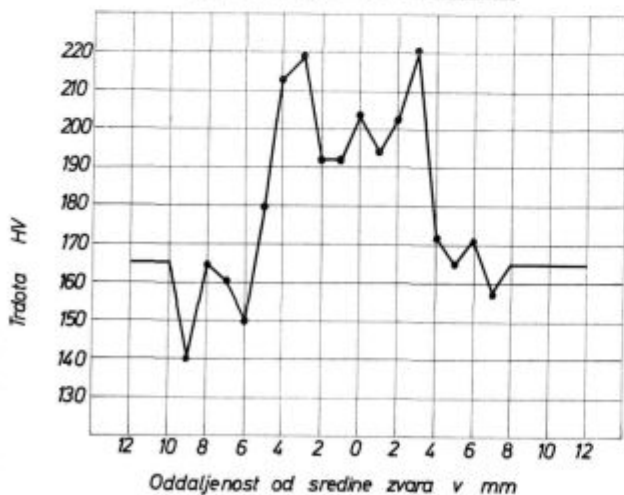
Slika 8

Metalografski obrus kotnega zvara in diagram mikrotrdot — B-KOR Tifon  $\varnothing$  4 mm, St 37 (10 mm), ležeče vodoravno, izmenični tok

e) Varjenje nadglavno — mesto varjenja je v vodoravni legi ( $\overrightarrow{\leftarrow}$ )

Varjenje je bilo tudi v tem primeru izvedeno pod enakimi pogoji kot v prej opisanih primerih (širina špranje »V« zvara je ca. 3 mm).

Elektroda B-KOR Tifon za nadglavno varjenje v vodoravni legi mesta varjenja ni primerna — obešanje taline (glej sliko št. 9 — metalografski obrus).



Slika 9

Metalografski obrus korenskega zvara in diagram mikrotrdot — B-KOR Tifon  $\varnothing$  4 mm, St 37 (10 mm), nadglavno vodoravno, izmenični tok

## 2. Uporabnost elektrod B-KOR Tifon

Elektroda B-KOR Tifon je uporabna za varjenje v smeri od zgoraj navzdol v vseh legah (ležeče in nadglavno) od navpične lege do lege mesta varjenja pod kotom  $45^\circ$  v kombinaciji z elektrodama EVB 50 in EVB 60. Elektroda B-KOR Tifon služi predvsem kot pripomoček, ki poenostavi in poceni varjenje (enostavno, hitro in kvalitetno varjenje korenov in kotnih zvarov ter zelo ekonomično varjenje »V« zvarov — dobro pretaljenje korena že pri odprtini kota »V« zvara  $50^\circ$ ).

Način kombiniranega varjenja (B-KOR Tifon + EVB 50 oz. EVB 60) je sledeč:

z elektrodo B-KOR Tifon zavarimo koren ter po potrebi še 2—3 sloje v smeri od zgoraj navzdol, z elektrodo EVB 50, oz. EVB 60 pa zatem zapolnimo zvar v smeri od spodaj navzgor.

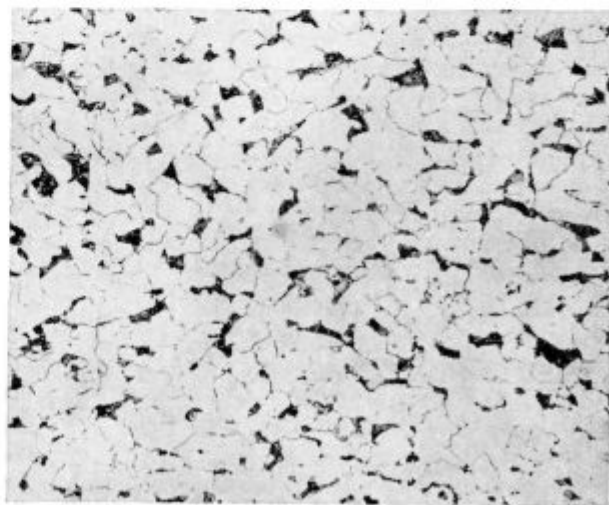
Elektroda B-KOR Tifon je primerna za varjenje:

- drobnozrnatih jekel (St 52 Cb)
- konstrukcijskih jekel (St 37 — St 60)
- jekel za varilne konstrukcije (St 37 — St 52-3)
- jekel za ladjedelnštvo po predpisih LR: A, B, C, D in E
- kotlovske pločevine (H I, H II, H III, H IV)
- jeklene litine (GS 38 — GS 52-3)

Način varjenja z elektrodo B-KOR Tifon je razviden iz primerov varjenja jekel St 37, St 52-3 in St 52 Cb.

### a. Varjenje jekla St 37

Koren »V« zvara (sl. št. 1) in kotni zvar (sl. št. 2) — leva stran je zavarjena troslojno, desna pa enoslojno) smo zavarili z elektrodo B-KOR Tifon  $\varnothing$  4 mm na izmenični tok, jakosti ca. 170 A v na-



Slika 10

Feritnoperlitna struktura osnovnega materiala — jeklo St 37;  $200\times$  povečava

vpični legi v smeri od zgoraj navzdol (debelina pločevine jekla St 37 je bila 10 mm, kot »V« zvara pa 50°).

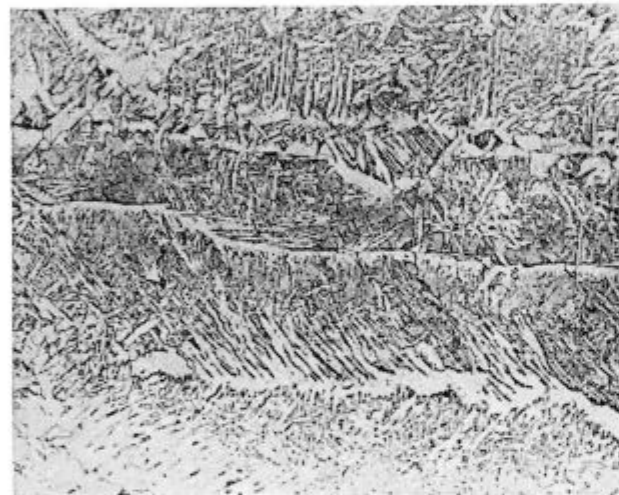
Osnovni material (jeklo St 37) ima normalno feritno perlitno strukturo (glej sliko št. 10).

Struktura zgornjega sloja vara in vara po enoslojnem varjenju je značilna za lito stanje — usmerjeni feritni pasovi (glej sliko št. 11).

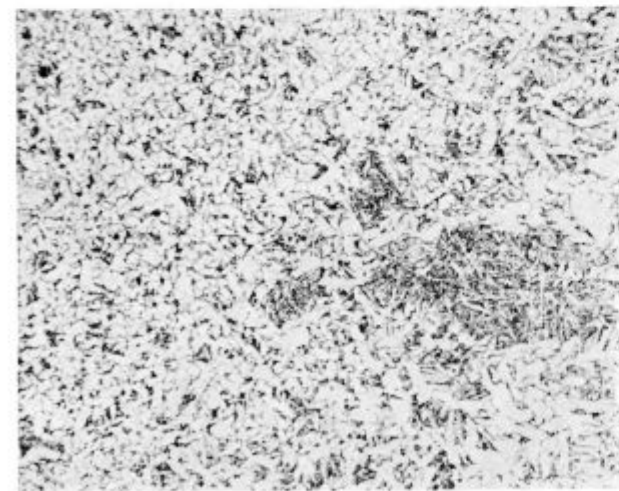
Struktura vara po troslojnem varjenju (drugi in tretji sloj sta bila varjena takoj brez ohlajanja po varjenju prvega, oziroma drugega sloja) je razen zgornjega sloja dobro prekristalizirana in sestoji iz ferita in perlita (glej sliko št. 12).

Struktura prehodne cone je ob zgornjem sloju vara bainitno feritna z nekaj zrni martenzita (glej sliko št. 13).

Ostali del prehodne zone — ob sredini in spodnjem delu vara — pa zaradi prekristalizacije, oz.



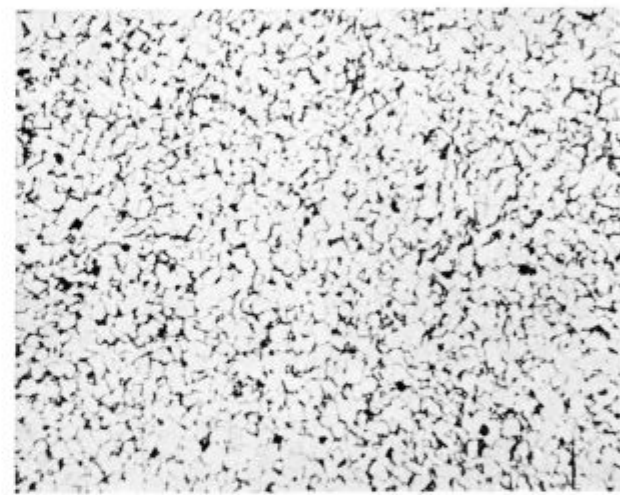
Slika 11  
Lita struktura vara z usmerjenimi feritnimi pasovi; 100 × povečava



Slika 12  
Prekristalizirana struktura vara — ferit in perlit; 100 × povečava



Slika 13  
Bainitno feritna struktura prehodne zone; 200 × povečava



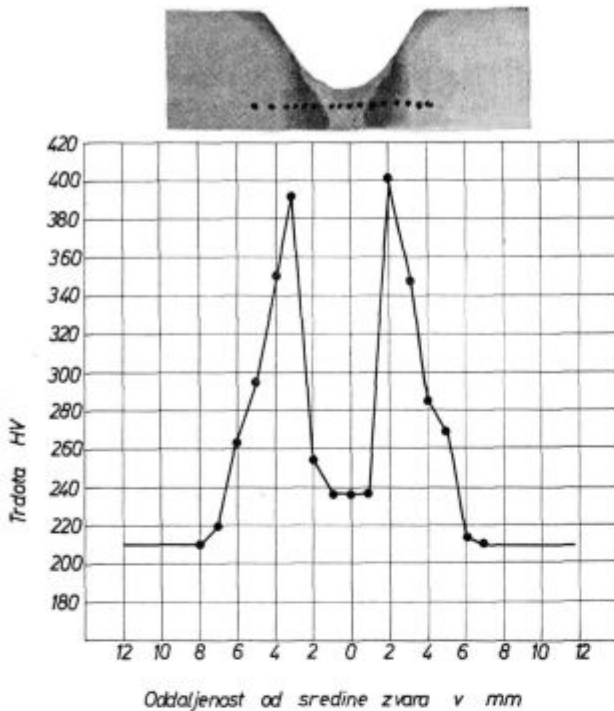
Slika 14  
Prekristalizirana struktura prehodne zone — ferit in perlit  
200 × povečava

normalizacije sestoji iz zelo drobnih feritnih zrn z malo perlita (glej sliko št. 14).

Iz opisanih struktur vara, prehodne cone in osnovnega materiala ter iz diagramov mikrotrdot (slika št. 1 in slika št. 2) je razvidno, da je elektroda B-KOR Tifon primerna za varjenje jekla St 37. Samo varjenje, pa naj bo to enoslojno ali pa troslojno brez vmesnega hlajenja, pri varjenju jekla St 37 ne vpliva bistveno na kvaliteto zvarov, ki so nekoliko trši od osnovnega materiala.

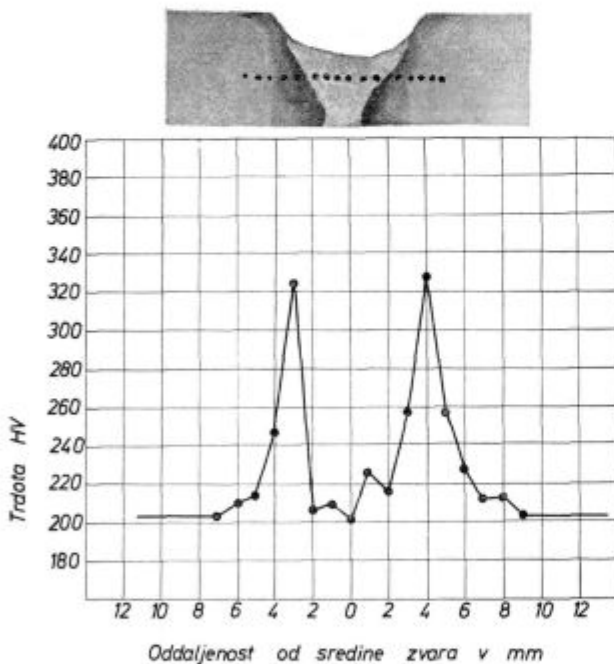
#### b.) Varjenje jekla St 52-3

»V« zvara (sl. št. 15 — koren, sl. št. 16 — koren + 2 sloja) in kotni zvar (sl. št. 17 — leva stran je zavarjena troslojno, desna pa enoslojno) smo zavarili z elektrodo B-KOR Tifon Ø 4 mm na izmenični tok, jakosti ca. 170 A v navpični legi v smeri od zgoraj navzdol (debelina pločevine jekla St 52 — 3 je bila 10 mm, kot »V« zvara 60°, širina špranje ca. 3 mm in robovi posneti za ca. 2 mm).



Slika 15

Metalografski obrus korenskega zvara in diagram mikrotrdot — B-KOR Tifon  $\varnothing$  4 mm, St 52-3 (10 mm), navpična lega, izmenični tok



Slika 16

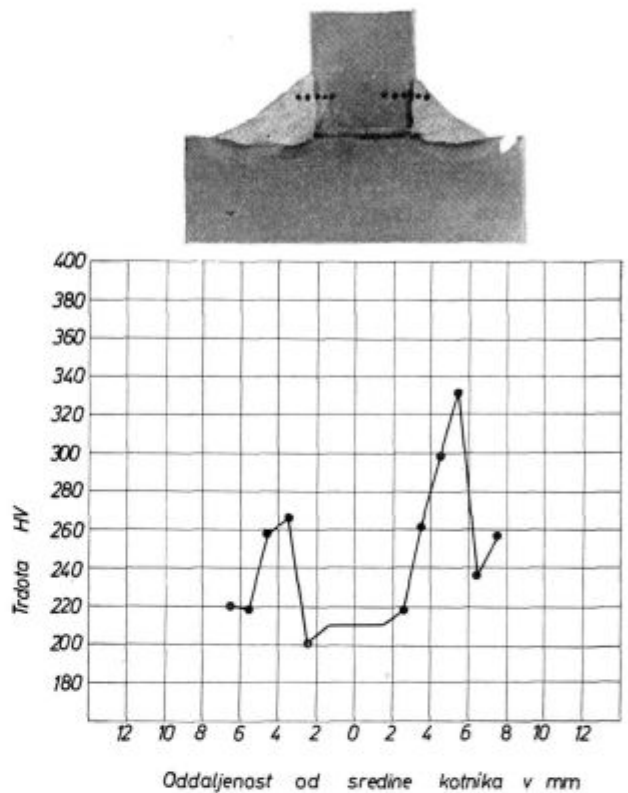
Metalografski obrus »V« zvara (koren + 2 sloja) in diagram mikrotrdot — B-KOR Tifon  $\varnothing$  4 mm, St 52-3 (10 mm), navpična lega, izmenični tok

Osnovni material (jeklo St 52-3) ima zelo drobno zrnato feritno perlitno strukturo (glej sliko št. 18).

Struktura vara po enoslojnem varjenju in zgornjega sloja vara po troslojnem varjenju (brez

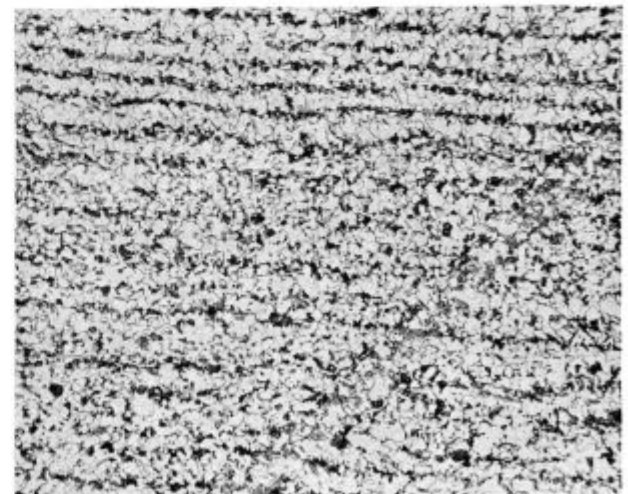
vmesnega ohlajanja) je značilna za lito stanje, ostali del vara po troslojnem varjenju (brez vmesnega ohlajanja) pa je dobro prekrystaliziran — enako kot pri varjenju jekla St 37 (slika št. 11 — lita struktura vara z usmerjenimi feritnimi pasovi, slika št. 12 — prekrystalizirana struktura vara — ferit in perlit).

Struktura prehodne cone pa je pri varjenju jekla St 52-3 zelo odvisna od načina varjenja —



Slika 17

Metalografski obrus kotnega zvara in diagram mikrotrdot — B-KOR Tifon  $\varnothing$  4 mm, St 52-3 (10 mm), navpična lega, izmenični tok



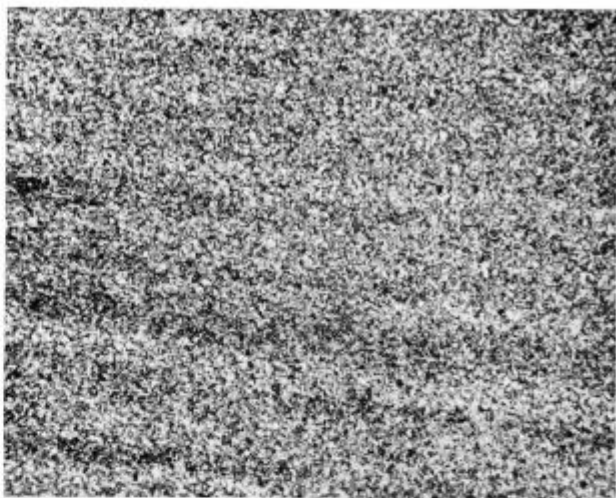
Slika 18

Drobno zrnata ferit perlitna struktura osnovnega materiala — jeklo St 52-3; 200  $\times$  povečava

pri enoslojnem varjenju (slika št. 15 in slika št. 17 — desna stran metalografskega obrusa kotnika) nastane tik ob varu močno zakaljen pas, debeline ca. 1–2 mm s trdoto okoli 350–400 HV, ki ima martenzitno strukturo (glej sliko št. 19).

Pri troslojnem varjenju jekla St 52-3 brez vmesnega ohlajanja (sl. št. 16 in sl. št. 17 — leva stran metalografskega obrusa kotnika) pa nastane ob zgornjem delu vara slabo zakaljen pas, debeline ca. 1 mm s trdoto okoli 300 HV, ki ima na najbolj zakaljenem delu martenzitno bainitno strukturo (glej sliko št. 20 — z varjenjem prvega sloja osnovni material pregrejemo).

Ostali del prehodne cone (brez zakaljenega pasu) je v obeh primerih (pri enoslojnem in troslojnem varjenju) dobro prekristaliziran, oziroma normaliziran ter ima zelo drobno zrnato feritno-perlitno strukturo (glej sliko št. 21).



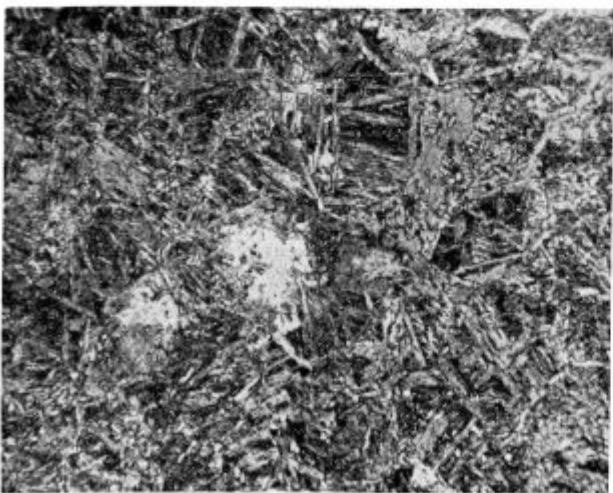
Slika 21

**Prekristalizirana drobno zrnata ferit perlitna struktura prehodne zone; 200 × povečava**



Slika 19

**Martenzitna struktura močno zakaljenega pasu prehodne zone; 200 × povečava**



Slika 20

**Martenzitno bainitna struktura najbolj zakaljenega dela prehodne zone; 200 × povečava**

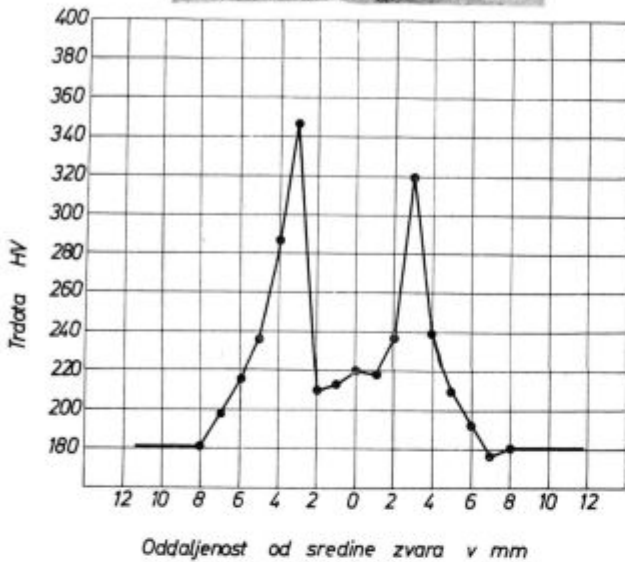
Iz opisanih struktur vara, prehodne cone in osnovnega materiala ter iz diagramov mikrotrdot (slika št. 15, št. 16, št. 17) se lepo vidi, da je elektroda B-KOR Tifon primerna za varjenje pločevin iz jekla St 52-3, vendar morajo biti te prehodno pregrete. Pri troslojnem varjenju (brez vmesnega ohlajanja) 10 mm debelih pločevin iz jekla St 52-3 z elektrodo B-KOR Tifon  $\varnothing$  4 mm v navpični legi v smeri od zgoraj navzdol zadostuje za pregretje osnovnega materiala že varjenje prvega sloja.

Pri opisanem troslojnem varjenju jekla St 52-3 (10 mm) z elektrodo B-KOR Tifon  $\varnothing$  4 mm so pri varjenju »V« zvarov z odprtino kota 60° trdnosti zakaljenega pasu okoli 330 HV (izgube toplote s sevanjem so zaradi sorazmerno zelo odprtega kota »V« zvara zelo velike — korenski zvar je tanek in širok ter seva na zgornji in spodnji strani korena), pri varjenju kotnih zvarov (izgube toplote s sevanjem so pri varjenju prvega sloja manjše kot pri prej opisanem varjenju korena »V« zvara — sevanje je le na zgornji strani zvara) pa so trdnosti zakaljenega pasu nižje (ca. 270 HV). Pregretje osnovnega materiala z varjenjem prvega sloja je pri varjenju kotnih zvarov boljše kot pri varjenju »V« zvarov, ki imajo odprtino kota 60°.

#### 6. Varjenje jekla St 52-Cb

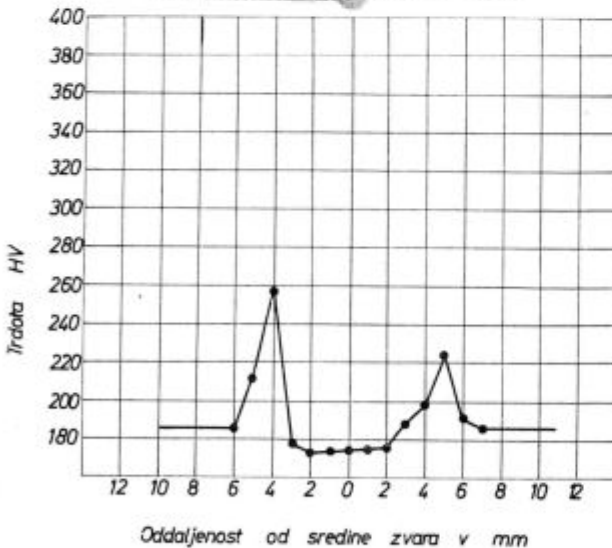
»V« zvara (sl. št. 22 — koren, sl. št. 23 — koren + 2 sloja) in kotni zvar (sl. št. 24 — leva stran je zavarjena enoslojno, desna pa troslojno) smo zavarili z elektrodo B-KOR Tifon  $\varnothing$  4 mm na izmenični tok, jakosti ca. 170 A v navpični legi v smeri od zgoraj navzdol (debelina pločevine jekla St 52 Cb je bila 10 mm, kot »V« zvara 50°, širina špranje ca. 3 mm robovi pa posneti za ca. 2 mm).

Osnovni material (jeklo St 52 Cb) ima zelo drobno zrnato ferit-perlitno strukturo (glej sliko št. 25).



Slika 22

Metalografski obrus korenskega zvara in diagram mikrotrdot — B-KOR Tifon  $\varnothing$  4 mm, St 52 Cb (10 mm), navpična lega, izmenični tok



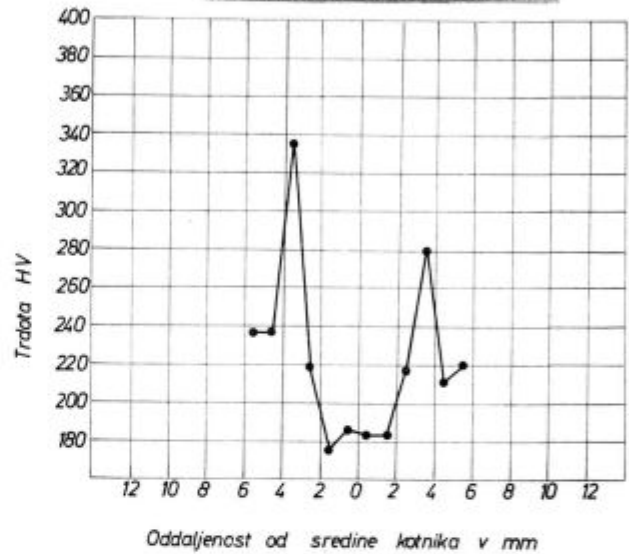
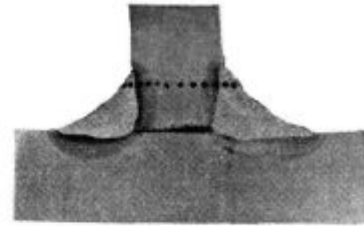
Slika 23

Metalografski obrus »V« zvara (koren + 2 sloja) in diagram mikrotrdot — B-KOR Tifon  $\varnothing$  4 mm, St 52 Cb (10 mm), navpična lega, izmenični tok

Struktura varov je enaka kot pri varjenju jekel St 37 in St 52-3 — enoslojni var in zgornji sloj vara po troslojnem varjenju ima strukturo litega stanja z usmerjenimi feritnimi pasovi (glej

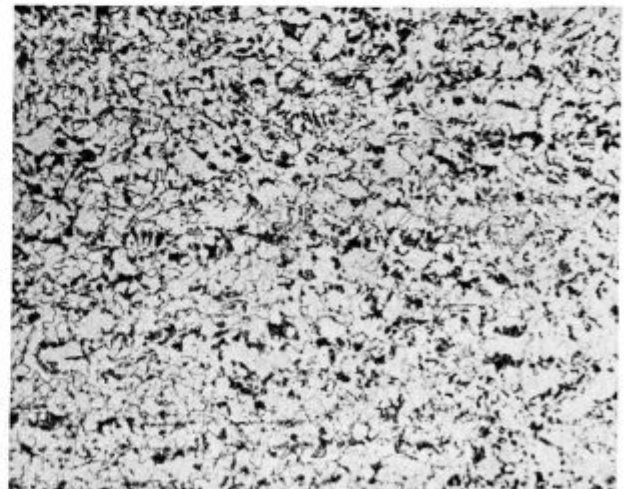
slika št. 11), ostali del troslojnega vara (varjeno brez vmesnega ohlajanja) pa je dobro prekristaliziran (glej sliko št. 12 — prekristalizirana struktura vara — ferit in perlit).

Struktura prehodne cone je pri varjenju jekla St 52 Cb podobna kot pri prej opisanem varjenju jekla St 52-3. Pri enoslojnem varjenju (slika št. 22



Slika 24

Metalografski obrus kotnega zvara in diagram mikrotrdot — B-KOR Tifon  $\varnothing$  4 mm, St 52 Cb (10 mm), navpična lega, izmenični tok



Slika 25

Drobno zrnata ferit perlitna struktura osnovnega materiala — jeklo St 52 Cb; 200 $\times$  povečava

in slika št. 23 — leva stran metalografskega obrusa kotnika) nastane tik ob zvaru močno zakaljen pas, debeline 1—2 mm s trdoto okoli 350 HV, ki ima martenzitno strukturo (glej sliko št. 19). Pri troslojnim varjenju brez vmesnega ohlajanja (slika št. 23 in slika št. 24 — desna stran metalografskega obrusa kotnika) pa nastane ob zgornjem delu vara le nekoliko zakaljen pas (stopnja zakaljenja je manjša zaradi pregretja osnovnega materiala z varjenjem prvega sloja, oziroma korena), debeline ca. 1 mm s trdoto okoli 270 HV, ki ima na najbolj zakaljenem delu martenzitno bainitno strukturo (glej sliko št. 20). Ostali del prehodne cone (brez zakaljenega pasu), pa je dobro prekristaliziran, oziroma normaliziran (glej sliko št. 21 — prekristalizirana dobro zrnata feritno perlitna struktura prehodne cone).

Iz opisanih struktur vara, prehodne zone in osnovnega materiala ter iz diagramov mikrotrdot (slika št. 22, št. 23 in št. 24) je razvidno, da je elektroda B-KOR Tifon primerna za varjenje pločevin iz jekla St 52 Cb, vendar morajo biti te predhodno pregrete tako kot pri varjenju jekla St 52-3. Pri troslojnim varjenju 10 mm debele pločevine St 52 Cb v navpični legi v smeri od zgoraj navzdol z elektrodo B-KOR Tifon  $\varnothing$  4 mm zadostuje za pregretje osnovnega materiala že varjenje prvega sloja (enako kot pri varjenju jekla St 52-3).

Pri varjenju kotnih zvarov med varjenjem jekla St 52-3 in jekla St 52 Cb ni bistvenih razlik, trdota zakaljenega pasu je v obeh primerih po enoslojnim varjenju ca. 350 HV, po troslojnim varjenju pa ca. 280 HV. Pri varjenju »V« zvarov pa je opazen vpliv večje odprtine kota »V« zvara pri varjenju jekla St 52-3 (izgube toplote sevanja so pri večji odprtini kota »V« zvara večje in osnovni material se z varjenjem korena slabše pregreje). Zaradi slabšega pregretja osnovnega materiala pri varjenju korenov »V« zvarov z bolj odprtimi koti so trdote zakaljenega pasu prehodne cone pri »V« zvarih z odprtino kota  $60^\circ$  (St 52-3) višje kot pri »V« zvarih z odprtino kota  $50^\circ$  (St 52 Cb).

Pri varjenju jekla St 52-3 (kot »V« zvara je  $60^\circ$ ) so bile trdote zakaljenega pasu prehodne cone sledeče:

Korenski zvar — ca. 400 HV

Koren + 2 sloja — ca. 330 HV

Pri varjenju jekla St 52 Cb (kot »V« zvara je  $50^\circ$ ) pa sledeče:

Korenski zvar — ca. 350 HV

Koren + 2 sloja — ca. 260 HV

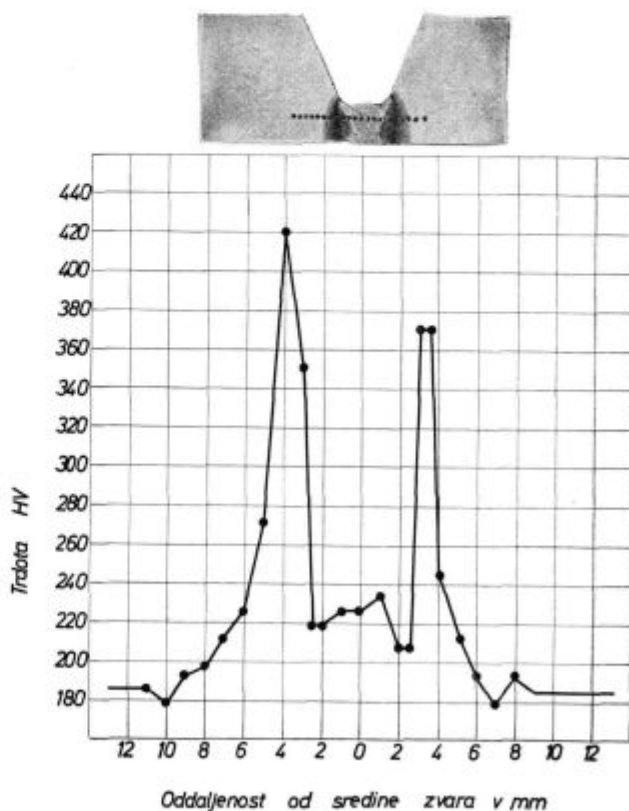
d. *Vpliv vrste toka, debeline pločevine in dimenzije elektrod na varjenje z elektrodami B-KOR Tifon v smeri od zgoraj navzdol*

Pri varjenju z enosmernim tokom (+ pol) nastopata dva pojava, ki negativno vplivata na varjenje. Zaradi usmerjenega električnega toka nastane pri varjenju stalno magnetno polje, ki povzroča odklanjanje električnega obloka. Elek-

troni, ki se pri varjenju na + pol gibljejo iz osnovnega materiala na elektrodo, pa na osnovnem materialu ustvarjajo nekoliko hladnejše mesto — katodno pego. Posledica tega pojava je, da pri varjenju površin, ki niso popolnoma ravne, oblok zelo nerad sledi elektrodi — elektroni lažje izstopajo iz vzpetin na osnovnem materialu.

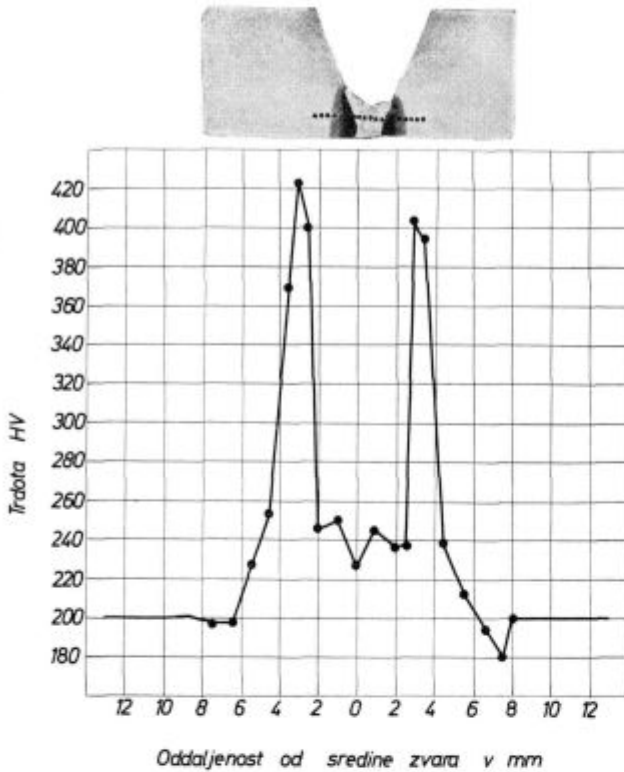
Oba opisana pojava varjenja z enosmernim tokom na + pol (nastanek stalnega magnetnega polja in katodne pege) zelo neugodno vplivata, predvsem pri varjenju korenov »V« zvarov, posebno še, če so pripravljene iz manjših komadov tanjših pločevin. Z izbiro tanjše elektrode se v takem primeru delno izognemo opisanim problemom (jakost magnetnega polja se zmanjša, če zmanjšamo jakost električnega toka). Posledica izbora tanjše elektrode je tudi hitrejše ohlajanje taline in žilindre, kar je pomembno pri varjenju v smeri od zgoraj navzdol — elektrodo je lažje obvladati ter zato pri nihanju ob vsaki steni »V« zvara tudi nekoliko zastati, da je uvar boljši.

»V« zvara, pripravljene iz 20 mm debelih pločevin smo varili z elektrodo B-KOR Tifon, dimenzije  $\varnothing$  4 mm v navpični legi v smeri od zgoraj navzdol z izmeničnim in enosmernim tokom na + pol (jakost toka je bila 170—180 A, mere »V« zvara, pripravljene iz 20 mm debele pločevine jekla St 52 Cb pa: kot »V« zvara je bil  $50^\circ$ , širina špranje 4 mm, robovi pa posneti za ca. 2 mm).



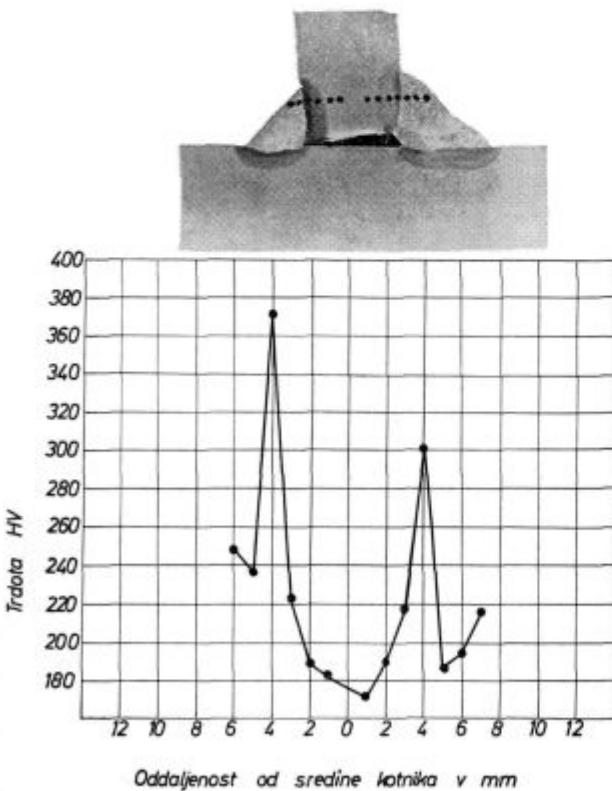
Slika 26

Metalografski obrus korenskega zvara in diagram mikrotrdot — B-KOR Tifon  $\varnothing$  4 mm, St 52 Cb (20 mm), navpična lega, izmenični tok



Oddaljenost od sredine zvara v mm  
Slika 27

Metalografski obrus korenskega zvara in diagram mikrotrdot — B-KOR Tifon  $\varnothing$  4 mm, St 52 Cb (20 mm), navpična lega, enosmerni tok (+ pol)



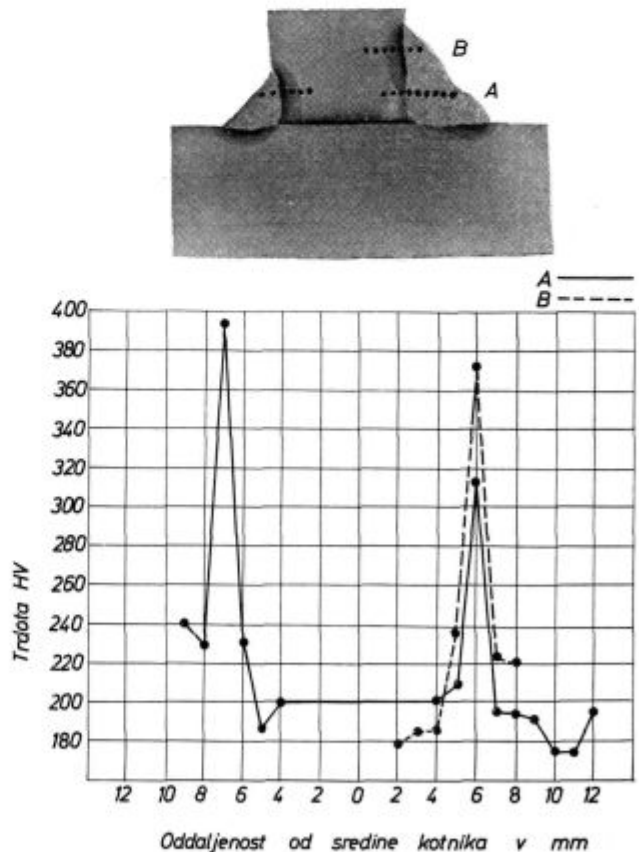
Slika 28

Metalografski obrus kotnega zvara in diagram mikrotrdot — B-KOR Tifon  $\varnothing$  3,25 mm, St 52 Cb (10 mm), navpična lega, enosmerni tok (+ pol)

Iz metalografskega obrusa na sliki št. 27 je razvidno, da je pri varjenju z enosmernim tokom na + pol uvar v stene »V« zvara bolj neenakomeren kot pri varjenju z izmeničnim tokom (slika št. 26). Diagrami mikrotrdot pa kažejo, da v pogledu termičnih efektov in kvalitete varjenja (razen neenakomernosti uvarjanja v stene »V« zvara pri varjenju z enosmernim tokom na + pol) ni bistvenih razlik med varjenjem z izmeničnim in enosmernim tokom (jekla, ki rada zakalijo, moramo variti ne glede na vrsto toka večšojno ali pa predhodno pregreta).

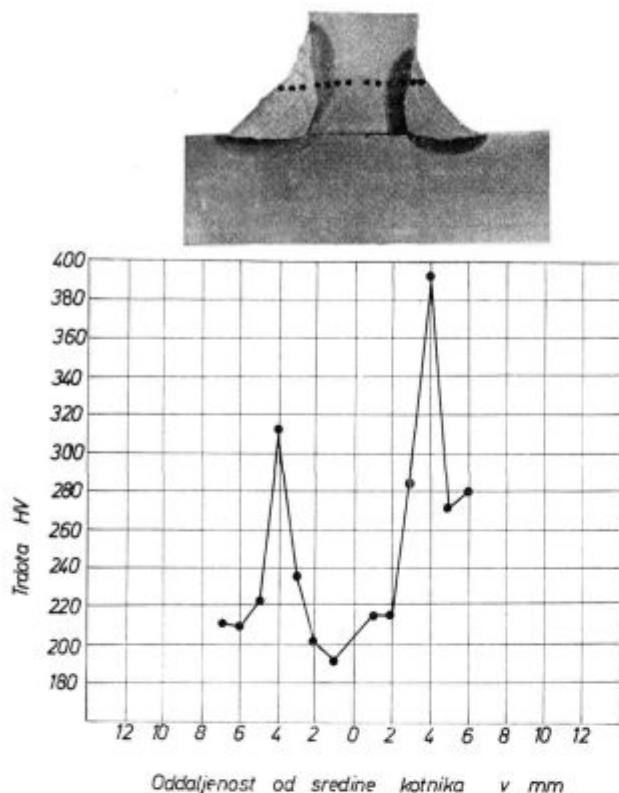
Varjenje kotnih zvarov v navpični legi v smeri od zgoraj navzdol je bilo z elektrodami B-KOR Tifon, dimenzij  $\varnothing$  3,25 in  $\varnothing$  4 mm enostavno, tudi ko smo varili z enosmernim tokom na + pol. Pogoji varjenja so bili sledeči: kotni zvari so bili pripravljene iz pločevine jekla St 52 Cb, debeline 10 mm (sl. št. 28 in št. 30) in 15 mm (sl. št. 29 in št. 31). Varjeni so bili enoslojno in troslojno z elektrodo B-KOR Tifon, dimenzije  $\varnothing$  3,25 mm (slika št. 28 in sl. št. 29) in  $\varnothing$  4 mm (sl. št. 30 in št. 31) v navpični legi v smeri od zgoraj navzdol z enosmernim tokom jakosti 150 A (elektroda  $\varnothing$  3,25 mm) in 170–180 A (elektroda  $\varnothing$  4 mm).

Iz slike št. 29 se vidi, da se pri troslojnem varjenju z elektrodo B-KOR Tifon, dimenzije



Slika 29

Metalografski obrus kotnega zvara in diagram mikrotrdot — B-KOR Tifon  $\varnothing$  3,25 mm, St 52 Cb (15 mm), navpična lega, enosmerni tok (+ pol)



Slika 30

Metalografski obris kotnega zvara in diagram mikrotrdot — B-KOR Tifon  $\varnothing$  4 mm, St 52 Cb (10 mm), navpična lega, enosmerni tok (+ pol)

$\varnothing$  3,25 mm po varjenju prvega sloja pločevina debeline 15 mm premalo pregreje, zato v tem primeru nastane pri varjenju jekla St 52 Cb ob zgornjem sloju kotnega zvara v prehodni coni zakaljen pas z martenzitno strukturo (trdnost ca. 370 HV — krivulja B v diagramu mikrotrdot). Tri troslojnim varjenju 10 mm debelih pločevin jekla St 52 Cb z elektrodo B-KOR Tifon, dimenzije  $\varnothing$  3,25 mm (slika št. 28) pa pride po varjenju prvega sloja že do zadostnega pregretja osnovnega materiala ter so trdnosti v delno zakaljenem pasu prehodne zone okoli 300 HV.

Podobno pride do zadostnega pregretja tudi pri troslojnim varjenju 10 in 15 mm debelih pločevin iz jekla St 52 Cb, če jih varimo z elektrodo B-KOR Tifon, dimenzije  $\varnothing$  4 mm (slika št. 30 in sl. št. 31).

Ker elektrodo B-KOR Tifon, dimenzije  $\varnothing$  3,25 mm, zelo lahko obvladamo ne glede na vrsto toka, s katerim varimo (izmenični ali pa enosmerni tok + pol), je ta dimenzija elektrode za varjenje korenov v navpični legi v smeri od zgoraj navzdol primernejša od dimenzije elektrode  $\varnothing$  4 mm. Tudi pri varjenju kotnih zvarov v navpični legi v smeri od zgoraj navzdol dobimo z elektrodo B-KOR Tifon, dimenzije  $\varnothing$  3,25 mm pri jakosti toka 150 A, zelo ugodne dimenzije zvarov. Višina kotnega zvara — en sloj (leva stran metalografskega obrusa na sl. št. 28 in št. 29) je ca. 4 mm,

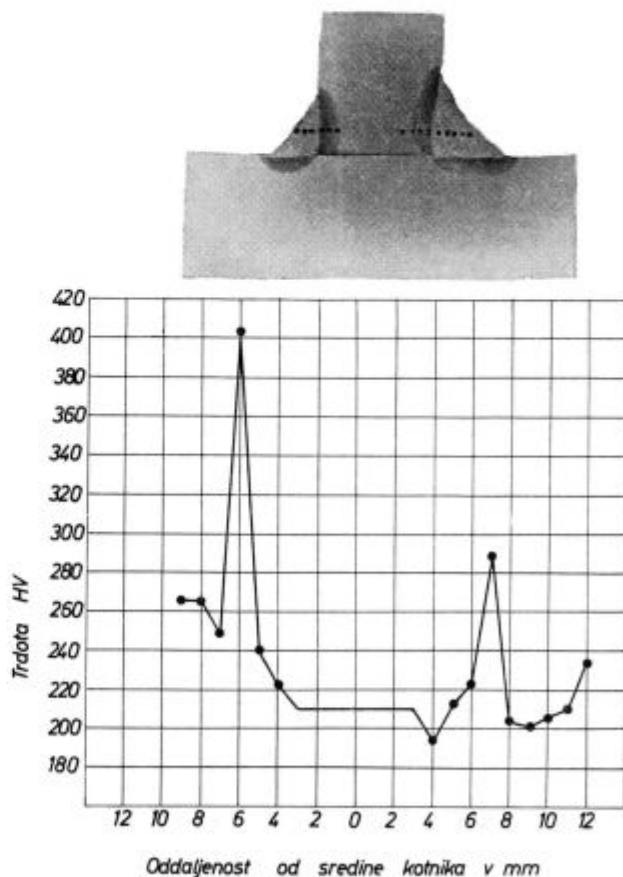
tako da je ploščina preseka kotnega zvara (samo dodani material) ca. 0,150 cm<sup>2</sup>. Globina uvara je ca. 1 mm, dolžina zvara, zavarjenega z eno elektrodo, pa ca. 200 mm.

Elektrodi B-KOR Tifon, dimenzije  $\varnothing$  5 in  $\varnothing$  6 mm, sta za varjenje v navpični legi v smeri od zgoraj navzdol z enosmernim tokom (+ pol) neprimerni (pri varjenju težko obvladamo talino), lepo pa varita na izmenični tok (dimenzija  $\varnothing$  6 mm je primerna predvsem za varjenje debelejših pločevin — nad 15 mm).

e) *Kombinirano varjenje 10 mm debele pločevine (jeklo St 52-3) v navpični legi z elektrodami B-KOR Tifon in EVB 50*

»V« zvar, pripravljen iz 10 mm debele pločevine jekla St 52-3 z odprtino kota 60°, širino špranje 4 mm in posnetimi robovi za ca. 2 mm, smo v navpični legi kombinirano varili na sledeči način:

Korenski zvar smo varili v smeri od zgoraj navzdol z elektrodo B-KOR Tifon, dimenzije  $\varnothing$  4 mm z enosmernim tokom (+ pol), jakosti 170–180 A. Z elektrodami EVB 50, dimenzije  $\varnothing$  3,25 mm pa smo zatem v smeri od spodaj navzgor z varjenjem na enosmerni tok (+ pol) jako-



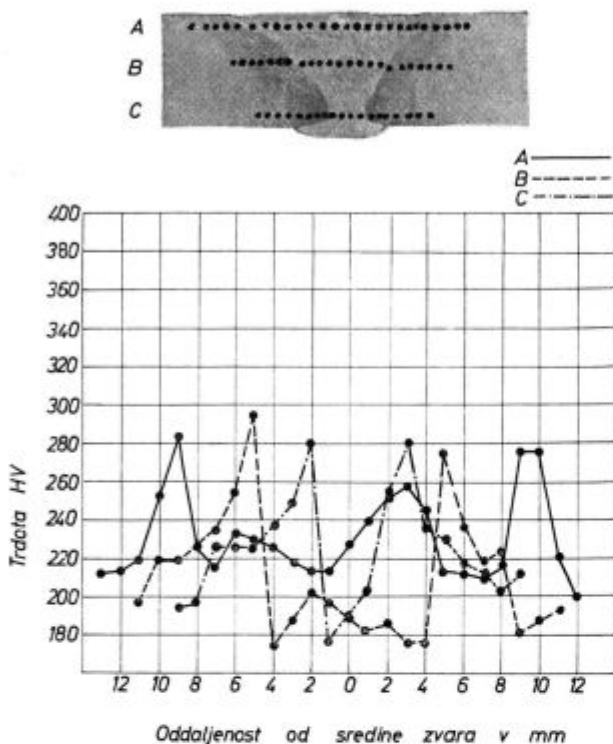
Slika 31

Metalografski obris kotnega zvara in diagram mikrotrdot — B-KOR Tifon  $\varnothing$  4 mm, St 52 Cb (15 mm), navpična lega, enosmerni tok (+ pol)



sti 120 A v treh slojih »V« zvar zapolnili. Na koncu smo korenski zvar še izboljšali — koren smo varili z elektrodo B-KOR Tifon, dimenzije  $\varnothing 4$  mm še z druge strani tudi z enosmernim tokom (+ pol), jakosti 170—180 A v smeri od zgoraj navzdol.

Videz in kvaliteta kombinirano zavarjenega »V« zvara sta razvidna iz slike št. 32.



Slika 32

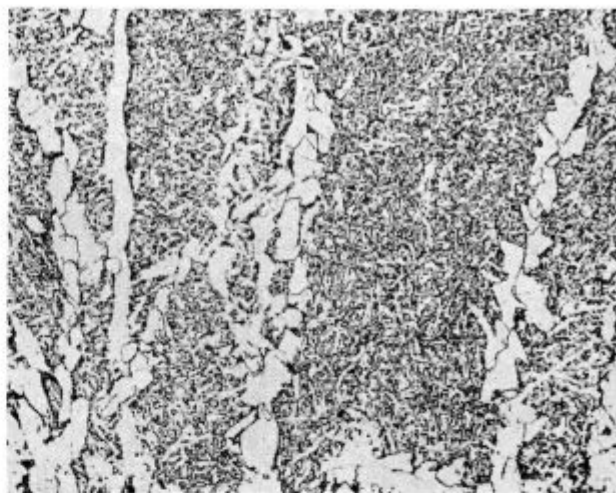
Metalografski obris in diagram mikrotrdot kombinirano zvarjenega »V« zvara — kombinirano varjenje: B-KOR Tifon  $\varnothing 4$  mm + EVB 50  $\varnothing 3,25$  mm, St 52-3 (10 mm), navpična lega, enosmerni tok (+ pol)

Struktura vara (sredina in zgornji del vara je zavarjen z elektrodo EVB 50) je podobna troslojno zavarjenim zvarom, ki smo jih varili z elektrodo B-KOR Tifon.

Zgornji del vara ima značilno lito strukturo z usmerjenimi feritnimi pasovi (glej sliko št. 33).

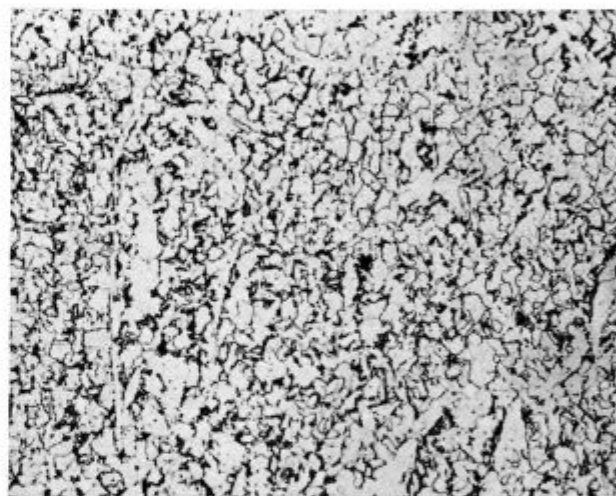
Sredina vara (varjeno z EVB 50) in koren vara (varjeno z B-KOR Tifon) pa imata popolnoma enako strukturo, ki je zelo dobro prekristalizirana (glej sliko št. 34) — zaradi boljšega pregretja (večslojno varjenje) bolj kot pri troslojnem varjenju z elektrodo B-KOR Tifon, kjer so še opazni sledovi igličastega ferita (glej sliko št. 12).

Tudi pri strukturi prehodne cone je opazno zelo dobro pregretje osnovnega materiala (jekla St 52-3) zaradi večslojnega varjenja. Kljub varjenju v kot »V« zvara  $60^\circ$  in zelo široki špranji, ki je bila 4 mm (zaradi sevanja zelo odprt kot »V« zvara in široka špranja neugodno vplivata na pregretje — velike izgube toplote), se je osnovni material pregrel tako, da ima celo najbolj zaka-



Slika 33

Lita struktura vara z usmerjenimi feritnimi pasovi — EVB 50; 200  $\times$  povečava



Slika 34

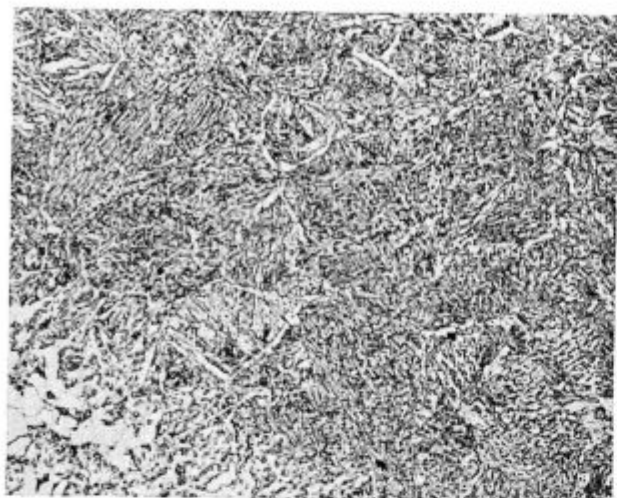
Prekristalizirana struktura vara — ferit in perlit; 200  $\times$  povečava

ljeni del prehodne cone bainitno strukturo (glej sliko št. 35) in trdnosti okoli 280 HV.

Ostali del prehodne cone (brez zakaljenega pasu) je enako kot pri prej opisanih varjenjih samo z elektrodo B-KOR Tifon, dobro prekristaliziran, oz. normaliziran (glej sl. št. 21 — prekristalizirana drobno zrnata feritno perlitna struktura prehodne cone).

Iz opisa struktur kombinirano zvarjenega »V« zvara z elektrodami B-KOR Tifon in EVB 50 ter iz slike metalografskega obrusa in diagram mikrotrdot (slika št. 32) se vidi primernost opisanega, ekonomsko zelo ugodnega (če je kot »V« zvara  $50^\circ$ ), enostavnega in kvalitetnega načina varjenja za »V« zvara v navpični legi.

Elektroda B-KOR Tifon je prav tako primerna tudi za kombinirano varjenje z elektrodo EVB 60. Zelo ugodno je, da z njo lahko varimo na izmenični in enosmerni tok (+ pol).



Slika 35

Bainitna struktura najbolj zakaljenega dela prehodne zone  
200 X povečava

## II. KEMIČNA ANALIZA IN MEHANSKE LASTNOSTI ČISTEGA VARA ELEKTRODE B-KOR TIFON

### 1. Čisti vari elektrode B-KOR Tifon, varjeni v vodoravni legi

#### a) Varjenje z izmeničnim tokom v vodoravni legi

V vodoravni legi moramo z elektrodo B-KOR Tifon variti čiste vare zelo pazljivo. Žlindra elektrode B-KOR Tifon je izbrana tako, da hitro zamrzne — takoj po zamrznjenju taline (ugodno pri varjenju v smeri od zgoraj navzdol) ter moramo zato paziti, da je talina ne zalije. Ker je ta žlindra tudi težko taljiva, jo moramo po vsakem varjenju popolnoma odstraniti ter šele potem variti nov sloj. Paziti moramo tudi, da sloji niso predebeli (pri varjenju v vodoravni legi so sloji zavarjeni z elektrodo B-KOR Tifon visoki), ker bi

Tabela št. 3:

C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)
0,09	0,50	1,15	maks. 0,015	maks. 0,015

Vsebnost H<sub>2</sub> v zvaru je pod 5 ml/100 g zvara.

Tabela št. 4:

Mehanske lastnosti (varjeno v vodoravni legi z izmeničnim tokom)

	trdnost (kp/mm <sup>2</sup> )	meja raztezanja (kp/mm <sup>2</sup> )	raztezek (%)	žilavost po V-Notch (kpm/cm <sup>2</sup> )			
				+ 20	0	- 20	- 40° C
Srednja vrednost	57,5	46,8	25,5	19,2	16,8	14,6	11,2
Mejne vrednosti	52—62	42—52	min. 20	min. 15	min. 10	min. 8	min. 6

to povzročilo nezadostno razplinjenje taline ter nastanek por v zvarih (pri varjenju z B-KOR Tifon se razvija velika količina plinov — CO<sub>2</sub>, ki pri varjenju v smeri od zgoraj navzdol drže talino in žlindro do zamrznjenja ca. 0,5 cm za električnim oblokom).

Kemična analiza in mehanske lastnosti pazljivo varjenega čistega vara elektrode B-KOR Tifon v vodoravni legi z izmeničnim tokom so navedene v tabeli št. 3 in št. 4.

#### b) Varjenje z enosmernim tokom (+ pol) v vodoravni legi

Pri varjenju čistega vara elektrode B-KOR Tifon z enosmernim tokom (+ pol) v vodoravni legi se moramo še bolj paziti kot pri prej opisanem varjenju čistega vara elektrode B-KOR Tifon z izmeničnim tokom. Pri varjenju z enosmernim tokom (+ pol) motita varjenje še stalno magnetno polje in katodna pega.

Mehanske lastnosti pazljivo varjenega čistega vara elektrode B-KOR Tifon v vodoravni legi z enosmernim tokom (+ pol) so sledeče (glej tabelo št. 5):

Odstopanje rezultatov mehanskih lastnosti je pri varjenju čistih varov elektrode B-KOR Tifon z enosmernim tokom (+ pol) znatno manjše kot pri varjenju z izmeničnim tokom. Poleg tega pa pri varjenju z enosmernim tokom (+ pol) dobimo tudi boljše žilavosti.

### 2. Čisti vari elektrode B-KOR Tifon varjeni z izmeničnim tokom v navpični legi

Varjenje čistih varov v navpični legi v smeri od zgoraj navzdol je z elektrodo B-KOR Tifon manj zahtevno (manj možnosti, da talina zalije žlindro, ki tudi lepše odstopa; tanjši sloji ter zato boljše razplinjenje taline) kot varjenje čistih varov elektrode B-KOR Tifon v vodoravni legi.

Mehanske lastnosti čistih varov elektrode B-KOR Tifon, ki so zavarjeni v navpični legi v smeri od zgoraj navzdol z izmeničnim tokom (glej tabelo št. 6) so nekoliko boljše (predvsem glede žilavosti — srednje vrednosti so skoraj tako dobre, kot pri čistih varih, ki so zavarjeni z enosmernim tokom na + pol v vodoravni legi) od mehanskih lastnosti čistih varov, ki so zavarjeni z izmeničnim tokom v vodoravni legi. Rezultati mehanskih lastnosti pa tudi pri čistih varih elektrode B-KOR Tifon, ki so zavarjeni v navpični legi z izmeničnim

Tabela št. 5:

Mehanske lastnosti (varjeno v vodoravni legi z enosmernim tokom na + pol)

	trdnost (kp/mm <sup>2</sup> )	meja raztezanja (kp/mm <sup>2</sup> )	raztezek (%)	žilavost po V-Notch (kpm/cm <sup>2</sup> )			
				+ 20	0	- 20	- 40° C
Srednja vrednost	55,5	45,7	25,3	21,4	20,4	16,6	14,3
Mejne vrednosti	52—62	42—52	min. 23	min. 17	min. 15	min. 13	min. 12

Tabela št. 6:

Mehanske vrednosti (varjeno v navpični legi z izmeničnim tokom)

	trdnost (kp/mm <sup>2</sup> )	meja raztezanja (kp/mm <sup>2</sup> )	raztezek (%)	žilavost po V-Notch (kpm/cm <sup>2</sup> )			
				+ 20	0	- 20	- 40° C
Srednja vrednost	57,8	48,9	25,0	20,4	18,4	16,2	14,5
Mejne vrednosti	52—62	42—52	min. 20	min. 15	min. 13	min. 8	min. 6

tokom, precej odstopajo (odstopanje je približno enako kot pri čistih varih, ki so zvarjeni v vodoravni legi z izmeničnim tokom, in znatno večje kot pri čistih varih, ki so zvarjeni z enosmernim tokom na + pol v vodoravni legi).

Iz minimalnih vrednosti mehanskih lastnosti čistih varov elektrode B-KOR Tifon (glej tabeli št. 4 in št. 6 — varjenje z izmeničnim tokom) je razvidno, da so zvari, ki so zvarjeni z elektrodo B-KOR Tifon na izmenični tok, glede na mehanske lastnosti kvalitetni. Zvari, ki so zvarjeni z elektrodo B-KOR Tifon na enosmerni tok + pol, pa so v pogledu mehanskih lastnosti visoko kvalitetni (glej tabelo št. 5).

### Zaključek

Nova visokokvalitetna specialna bazično opláščena elektroda B-KOR Tifon, ki je namenjena za varjenje korenov in kotnih zvarov v smeri od zgoraj navzdol, lepo vari v vseh legah (ležeče in nadglavno) od navpične lege do lege mesta varjenja pod kotom 45°. Tako zavarjeni zvari so lepi in kvalitetni (zvari, zavarjeni v navpični legi so dolgi in gladki, če so pa zavarjeni v legi mesta varjenja pod kotom 45°, pa nekoliko bolj grobi in krajši). Iz slik metalografskih obrusov je razvidno, da je koren »V« zvara kljub varjenju v navpični legi mesta varjenja in odprtini kota 50° dobro pretaljen, uvar pa soliden (uvar je tako kot debelina vara odvisen od nagiba mesta varjenja). Pri varjenju v navpični legi je višina kotnega zvara — 1 sloj (varjeno z elektrodo dimenzije Ø 4 mm) ca. 4 mm, uvar pa ca. 1 mm. Pri varjenju ležeče v vodoravni legi mesta varjenja pa je višina kotnega zvara — 1 sloj (varjeno tudi z elektrodo dimenzije Ø 4 mm), ca. 5 mm, uvar pa ca. 2 mm. Večslojno varjenje ležeče, v vodoravni legi mesta varjenja z elektrodami B-KOR Tifon ni priporočljivo (zaradi večje debeline slojev in težko taljive žilindre je nevarnost nastanka vključkov

in por v zvaru — za varjenje v tem položaju je primerna elektroda EVB 50). Za nadglavno varjenje v vodoravni legi mesta varjenja je elektroda B-KOR Tifon neprimerna (obešanje taline).

Elektrodo B-KOR Tifon uporabljamo običajno v kombinaciji z elektrodama EVB 50 in EVB 60 — koren ter po potrebi še 2—3 sloje zavarimo z elektrodo B-KOR Tifon v smeri od zgoraj navzdol, zatem pa zapolnimo »V« zvar z elektrodo EVB 50 oz. EVB 60 v smeri od spodaj navzgor. Elektroda B-KOR Tifon služi predvsem kot pripomoček, ki poenostavi in poceni varjenje (enostavno, hitro in kvalitetno varjenje korenov in kotnih zvarov v smeri od zgoraj navzdol ter zelo ekonomično varjenje »V« zvarov — dobro pretaljenje korena že pri odprtini kota »V« zvara 50°).

Dimenziji elektrode B-KOR Tifon Ø 3,25 in Ø 4 mm sta primerni za varjenje z izmeničnim in enosmernim tokom (+ pol), z dimenzijama Ø 5 in Ø 6 mm pa moramo variti le na izmenični tok. Za varjenje korenov sta najprimernejši dimenziji Ø 3,25 in Ø 4 mm, to je pomembno predvsem za varjenje z enosmernim tokom na + pol, kjer je priporočljivo korene »V« zvarov, ki so pripravljene iz tanjših pločevin (pod 20 mm), variti z elektrodo, dimenzije Ø 3,25 mm. Ker to dimenzijo elektrode B-KOR Tifon lahko obvladamo ne glede na vrsto toka, s katerim varimo (izbira tanjše elektrode ima za posledico hitrejše ohlajanje taline in žilindre — pri varjenju v smeri od zgoraj navzdol elektrodo lažje obvladamo ter zato lahko pri nihanju ob steni zaradi boljšega uvara tudi nekoliko zastanemo), je ta dimenzija (Ø 3,25 mm) za varjenje korenov primernejša od dimenzije elektrode Ø 4 mm. Tudi pri varjenju kotnih zvarov v navpični legi v smeri od zgoraj navzdol dobimo z elektrodo B-KOR Tifon, dimenzije Ø 3,25 mm zelo ugodne dimenzije zvarov (višina kotnega zvara je ca. 4 mm). Za varjenje kotnih zvarov so najprimernejše dimenzije elektrod Ø 3,25, Ø 4 in Ø 5 mm ter pri varjenju debelih pločevin (nad 15 mm) še Ø 6 mm.

Elektroda B-KOR Tifon je uporabna za varjenje drobno zrnatih in konstrukcijskih jekel, kotlovske in ladijske pločevine ter jeklene litine. Da pri varjenju jekel, ki rada zakalijo (St 52-3, St 52 Cb) ne dobimo močno zakaljenega pasu prehodne zone z martenzitno strukturo in visoko trdoto (ca. 350—400 HV), jih moramo variti pregrete (večlojno varjenje — z varjenjem prvih slojev osnovni material pregrejemo) — slabo zakaljeni pas prehodne cone ima po večslojnem varjenju bainitno strukturo s trdoto okoli 280 HV.

Vsebnost H<sub>2</sub> pod 5 ml/100 gr zvara, kemična analiza in dobre mehanske vrednosti čistega vara

elektrode B-KOR Tifon so poleg že omenjenih odlik, ki poenostavijo in pocenijo varjenje (enostavno, hitro, kvalitetno in ekonomično varjenje), lastnosti, ki dajejo tej elektrodi zelo široke možnosti uporabe, industriji pa bolj ekonomičen in sodobnejši način varjenja.

#### Literatura

1. Koch: Handbuch der Schweisstechnologie Lichtbogenschweissen (1961)
2. D. Seferijan: Metalurgija zavarivanja (1969)
3. VEM: Handbuch Lichtbogenschweissen (1958)

### ZUSAMMENFASSUNG

In der Forschungsabteilung des Hüttenwerkes Jesenice ist eine neue hochqualitäre spezielle basische Umhüllungselektrode B-KOR-Tifon entwickelt worden. Sie ist vor allem für das Wurzel und Kehlnahtschweissen in der Richtung von oben nach unten bestimmt. Die Elektrode schweisst schön in der Richtung von oben nach unten in allen Lagen (liegend und überköpfig) von der senkrechten Lage bis zu der geneigten unter einem Winkel von 45°. Beim waagerechten Schweissen ist empfehlbar mit der Elektrode B-KOR-Tifon nur eine Schweissraupe die Wurzel zu schweissen. Für das überköpfige Schweissen in horizontaler Position ist diese Elektrode nicht geeignet.

Die Schweisselektrode B-Kor-Tifon wird üblich in der Kombination mit den Schweisselektroden EVB 50 und EVB 60 angewendet. Die Wurzel und nach Bedarf noch zwei bis drei Lagen werden mit der Elektrode B-KOR-Tifon in der Richtung von oben nach unten verschweisst, darauf wird die »V« Fuge mit der Schweisselektrode EVB 50 oder EVB 60 in der Richtung von unten nach oben nachgefüllt.

Die Schweisselektrode B-KOR-Tifon dient vor allem als Hilfsmittel für die Vereinfachung und Verbilligung des Schweissens (einfaches) schnelles und qualitatives Schweissen der Wurzeln und Kehlnähte in der Richtung von oben nach unten und ein sehr ökonomisches Stumpfnahschweissen der »V« Fuge — gute Einbrandtiefe schon bei einem Nahtöffnungswinkel 50°.

Die Schweisselektroden B-KOR-Tifon mit 3,25 und 4 mm Drahtdurchmesser sind für das Schweissen mit Wechselstrom und Gleichstrom geeignet (+ Pol), die

5 und 6 mm Dicken können nur mit Wechselstrom geschweisst werden. Für das Schweissen der Wurzeln sind vor allem die 3,25 und 4 mm Elektroden geeignet, das ist besonders wichtig beim Schweissen mit Gleichstrom auf + Pol, wo das Schweissen der Wurzeln in einer »V« Fuge bei Blechen unter 20 mm mit der 3,25 mm dicken Elektrode empfohlen wird.

Für das Schweissen der Kehlnähte sind am geeignetesten die 3,25 mm, 4 mm und 5 mm Elektroden, und für das Schweissen der dicken Bleche (über 15 mm) noch die Dicke 6 mm.

Die Schweisselektrode B-KOR-Tifon ist für das Schweissen der Feinkornstähle, der Konstruktionsstähle, der Kesselbau und Schiffbaustähle und von Stahlguss bestimmt. Dass beim Schweissen der Stähle welche zum Härten neigen (St 52 — 3, St 52 Cb) in der Übergangzone nicht das Härtegefüge mit einer martensitischen Struktur auftritt (ca 350—400 HV), müssen diese Stähle in mehr Lagen geschweisst werden (das Grundmaterial wird beim Schweissen der ersten Schweissraupen aufgewärmt). Die schwachgehärtete Übergangzone hat nach einer Mehrlagenschweissung bainitisches Gefüge mit einer Härte ca 280 HV. Der H<sub>2</sub> Gehalt unter 5 ml/100 g des Schweissgutes, chemische Zusammensetzung und gute mechanische Eigenschaften des Schweissgutes sind neben der schon erwähnten Vorzüge der Elektrode B-KOR-Tifon (einfaches schnelles, qualitatives und ökonomisches Schweissen) diejenigen Eigenschaften, welche dieser Elektrode einen sehr breiten Anwendungsbereich und der Industrie eine ökonomische und zeitgenössische Schweissart bieten.

### SUMMARY

Research department of Jesenice Ironworks developed a new high quality special basic lined B-KOR Tifon electrode which is intended mainly for welding roots and making fillet welds in the direction from up downwards. The electrode welds well in the direction downwards in all the positions (horizontal and overhead) from vertical position to the inclined welding under angle 45°. In the horizontal welding position, if start of welding is horizontal, only one layer-root is advisable to be made with B-KOR Tifon electrode, but for overhead welding of the horizontal welding this electrode is unsuitable (hanging of the melt).

B-KOR Tifon electrode is used usually in combination with EVB 50 and EVB 60 electrodes. If necessary, root and two or three layers are welded by B-KOR Tifon electrode from up downwards and then »V« weld is filled with EVB 50 or EVB 60 electrode from down upward. B-KOR Tifon electrode is mainly a help which simplifies and makes welding cheaper (simple, fast and quality welding of roots

and angle welds from up downwards and very profitable welding of »V« welds — good melting of the root already at the opening angle 50° of the »V« weld).

Dimensions of B-KOR Tifon electrode  $\varnothing$  3,25 and  $\varnothing$  4 mm are suitable for welding with alternating and direct current (plus pole) while dimensions  $\varnothing$  5 and  $\varnothing$  6 mm are for welding only with alternating current. For root welding dimensions  $\varnothing$  3,25 and  $\varnothing$  4 mm are the most suitable, this is the most important in welding with direct current on the plus pole where it is advisable to weld flat roots prepared from thinner sheets (under 20 mm) with the electrode of  $\varnothing$  3,25 mm. For angle welding dimensions  $\varnothing$  3,25,  $\varnothing$  4, and  $\varnothing$  5 mm of electrodes and for welding thicker plates (over 15 mm) even  $\varnothing$  6 mm are the most suitable.

B-KOR Tifon electrode is usable for welding of fine grained and structural steels, boiler and ship plates, and cast steel. In order not to obtain too hardened transition zone with martensitic structure and high hardnesses (about

350 to 400 HV) with the steels susceptible to hardening (St 52-3, St 52 Cb), these steels must be welded in more layers by the first layers the basic material is heated through — badly hardened zone has after more-layer welding bainitic structure with hardness about 280 HV.

Hydrogen content below 5 ml/100 g of weld, chemical purity and good mechanical properties of pure weld confirm already previously mentioned advantages of B-KOR Tifon electrodes. These properties give very wide usability of the electrode beside more profitable and more modern way of welding.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Отделение лабораторных исследований металлургического завода Есенице (Železarna Jesenice) разработало новый, специальный электрод высокого качества с основной оболочкой B-KOR Tifon. Этот электрод предназначен главным образом для сварки угловых и основных частей конструкций в направлении сверху вниз. Способность сваривания этого электрода очень хорошее во всех положениях такого направления, т. е. в лежащем и вертикальном, при чём в вертикальном до положения сварки под углом от 45°. Если сварку ведут в лежащем положении а место сваривания находится также с горизонтальном положении то советуется с электродом B-KOR Tifon заварить только один слой; между тем сварка потолочным швом при которой плав висит на месте сваривания не рекомендуется с этим электродом.

Электрод B-KOR Tifon употребляют обыкновенно в комбинации с электродами EVB 50 и EVB 60 для основы; а если необходимо, то 2 или 3 слоя заваривают с электродом B-KOR Tifon в направлении сверху вниз. После этого выполняется сварной шов „V” с электродами EVB 50 или EVB 60 в направлении снизу в вверх.

Главное преимущество электрода B-KOR Tifon состоит в том, что благодаря несложности при употреблении, быстрой и качественной сварки основы и выполнению угловых швов в направлении сверху, вниз, весьма экономичной сварки вразруб, хорошей переплавки основы и разубного угла даже при 50°, этот электрод рекомендуется как весьма качественной вспомогательный материал.

Размер электрод B-KOR Tifon  $\varnothing 3,25$  и  $\varnothing 4$  мм в диаметре предпочитают для сварки с переменным и постоянным эл. током. С электродами  $\varnothing 5$  и 6 мм надо выполнять сварку только с переменным током.

Для сварки основы самые подходящие диаметры  $\varnothing 3,25$  и  $\varnothing 4$  мм. Это имеет значение в особенности при сварки основы с постоянным эл. током на + полюс. В этом случае рекомендуется основы разубных швов приготовленных из тонкой жести (менее чем 20 мм) сваривать с электродом диаметра  $\varnothing 3,25$  мм. Для сварки угловых швов (в) самые подходящие электроды  $\varnothing 3,25$ ,  $\varnothing 4$  и  $\varnothing 5$  мм, а сварки толстой жести свыше 15 мм также электрод диаметра 6 мм.

Электрод B-KOR Tifon применяется для сварки мелкозернистой и конструкционной стали, котельных листов и стаального литья. Чтобы при сварки стали марок которые имеют склонность к закаливанию (St 52—3, St 52 Cb) не наступило до появления сильно закалённого пояса переходной зоны мартенситной структуры и высокой твердости (прибл. 350—400 HV) применяется способ многослойной сварки при чём с первым основным слоем наступает перегрев материала а низко закалённый пояс переходной зоны переходит после следующий многослойной сварки в бейнитную структуру твердости прибл. 280 HV. Сварочный слой содержит менее чем 5 мл/100 гр. материала водорода; слой хорошаго химического состава и механических свойств. Это удешевляет и упрощает сварку. Поэтому упомянутые свойства электрод B-KOR Tifon дают возможность широкого употребления этих электрод в промышленности для современной и экономической сварки.

## Vsebina V. letnika »Železarskega zbornika«

Vodopivec Franc, Metalurški inštitut: Sodobne metode metalografske preiskave in smeri njihovega razvoja . . . . .	1	Prešern Alojz, Metalurški inštitut: Vpliv izdelavne tehnologije na dezoksidacijski potencial in intenzivnost razžveplanja . . . . .	121
Kejžar Rajko, Železarna Jesenice: Raziskave uporabnosti boksita in surove gline Brežice pri izdelavi mulitnih opek . . . . .	11	Vodopivec Franc, Metalurški inštitut: Kinetika raztapljanja primarnih karbidnih zrn in tvorbe mrežastega cementita v jeklu za kroglične ležaje 133 . . . . .	133
Grešovnik Ferdo, Železarna Ravne: Izdelava in praktična uporaba TTT diagramov . . . . .	31	Stocca Bogdan, Železarna Jesenice: Razogljčenje hladno valjanih trakov . . . . .	139
Segel Jože, Železarna Ravne: Določevanje potrebnega števila preizkusov pri ugotavljanju udarne upogibne žilavosti orodnih jekel . . . . .	43	Kosec L., F. Vodopivec, B. Wolf, Metalurški inštitut: Primeri iz dela metalografskega laboratorija . . . . .	151
Stocca Bogdan, Železarna Jesenice: Korozija in zaščita cinkove prevleke . . . . .	47	Rozman Rudi, Železarna Jesenice: Analiza zasipa plavža . . . . .	159
Rodič Jože, Železarna Ravne: Metode mrežnega planiranja . . . . .	57	Rodič Jože, J. Pšeničnik, Železarna Ravne: Uporaba PERT metode pri vodenju laboratorijskega dela v Železarni Ravne . . . . .	171
Jože Rodič, A. Rodič, J. Hrastnik, Železarna Ravne: Prispevek k tipizaciji pogojev preizkušanja obrobne kaljivosti cementiranih jekel . . . . .	69	Dobovišek Bogo, Metalurški inštitut: Analiza vpliva reaktivnosti trdnih reducentov na naogljčenje železa med redukcijo železovih oksidov s CO . . . . .	181
Vizjak Ferdo, Železarna Ravne: Sodobna proizvodnja strojnih nožev za potrebe celulozne lesnopredelovalne in grafične industrije . . . . .	83	Dobovišek M., A. Rodič, J. Zunec, V. Macur, Zel. Ravne: Izboljšanje kakovosti jekla za kroglične ležaje s posegi v jeklarski tehnologiji . . . . .	185
Mesec Janez, Železarna Jesenice: Nove elektrode ZVB-Mo, EVB-Cr Mo in EVB-2 Cr Mo za varjenje jekel z garantiranimi mehanskimi lastnostmi pri višjih temperaturah . . . . .	93	Koroušič Blaženko, Metalurški inštitut: Vpliv elektro pretaljevanja pod žlindro na kvaliteto jekla za kroglične ležaje (OCR 4 ex šp) . . . . .	193
Kosec Lado, F. Vodopivec, Metalurški inštitut: Iz dela metalografskega laboratorija . . . . .	107	Segel Jože, Železarna Ravne: Vpliv hrapavosti površine na udarno žilavost orodnega jekla . . . . .	199
Hanžel D., M. Schara, N. Tršan, Inšt. »Jožef Štefan«: Karakterizacija visokolegiranih feritnih jekel z Mössbauerjevo spektroskopijo . . . . .	111	Šipek Mitja, Železarna Ravne: Kontrola površinskih napak na gredicah . . . . .	203
Dular Milan, Fakulteta za naravoslovje in tehnologijo: Določevanje cianida v galvanskih odpadnih vodah . . . . .	117	Vodopivec F., L. Kosec, R. Brifah, B. Wolf, Met. inšt.: Preiskava vzrokov poškodb na lopaticah parne turbine . . . . .	211