

Zveza med preoblikovalnostjo nizkoogljiknih jekel in vsebnostjo aluminija in dušika

1. del

Prvi del članka opisuje praktično reševanje perečega problema trganja površine valjanca med vročim valjanjem. Navedene so najbolj občutljive vrste jekla, glede na trganje, vplivi kemične sestave in aluminijevega nitrida ter nitridotvornih elementov, Ti, V in Nb. Narejena je analiza slabih šarž. Opisani so poskusi ogrevanja pri visoki temperaturi in z mrzlim zakladanjem. Jekla z visokim Al in N, ki so občutljiva na trganje, se ne trgajo, če jih mrzle založimo. Trgajo se tudi ne jekla, ki so izdelana po enožilndrnem postopku, kljub visokemu aluminiju, ker normalno vsebujejo manj dušika kot jekla, izdelana z dvema žilndrama.

(»Članek je razširjeno predavanje avtorjev na simpoziju septembra 1970 v Velenju.)

1. SPLOŠNO

Trganje površine valjanca med vročo predelavo je eden najbolj neprijetnih pojavov, ki spremljajo vroče valjanje. Trganje se začne na površini, ki je obremenjena na nateg in sega lahko globoko v notranjost.

Vzroki za trganje še do danes niso popolnoma razjasnjeni. Vsekakor pa značaj teh raztrganin nima nič skupnega z lomom v rdečem, z zažgano površino, s slabo površino bloka ali pečno atmosfero.

Posebno močno so nagnjena k trganju mehka nelegirana jekla z ogljikom od 0,10 do 0,25 %, ki so pomirjena z aluminijem. Posebno občutljiva so jekla z višjo vsebnostjo aluminija, to so proti staranju odporna in fino-zrnata konstrukcijska jekla. Aluminij se tem jeklom dodaja v večji meri kot je za dezoksidacijo potrebno, zato da veže dušik v jeklu in tako zmanjša nagnjenje k staranju. Izločeni aluminijevi nitridi pa povzročijo, da ima jeklo fino-zrnato strukturo, s čimer se izboljšajo mehanske lastnosti.

Z naraščajočim ogljikom občutljivost za trganje pada. Poleg tega je trganje odvisno tudi od načina izdelave jekla. Jekla, izdelana v elektro peči, se mnogo bolj trgajo kakor SM jekla.

Med najbolj občutljive vrste jekla spadajo pri nas fino-zrnata konstrukcijska jekla kvalitete

Č 0560, Č 0561 in Č 0562, proti staranju odporna jekla Č 1203, Č 1205 in jekla za ladijsko pločevino LR-C, LR-D in LR-E, če so izdelana v električni peči.

Izgled raztrgane površine kaže slika 1, slika 2 pa kaže raztrganine v prerezu.



Slika 1
Videz raztrgane površine valjanca



Slika 2
Prečni prerez skozi raztrgano mesto na valjancu

2. VPLIV KEMIČNE SESTAVE JEKLA

Praktične izkušnje v valjarni kažejo, da nagnjenje k trganju v vročem narašča z naraščanjem aluminija v jeklu. Podobno vpliva dušik. Čim več ga je v jeklu, večja je nevarnost za trganje.

Ogljik vpliva pozitivno. Čim več ga je, manj se jeklo trga v vročem. Drugi spremljajoči elementi, posebno pa vsebnost žvepla in razmerje Mn:S ne vplivajo na trganje v vročem. 1).

Aluminij lahko vpliva na trganje v vročem na dva načina:

1. Vpliva na obliko, sestavo in razporeditev sulfidnih vključkov, tako da se ti lahko porazdelijo po mejah primarnih zrn v obliki verige. Aluminij prav tako znižuje tališče in površinsko napetost sulfidnih vključkov.

2. Aluminij tvori z dušikom aluminijev nitrid. Tega je tem več, čim več je dušika in aluminija v jeklu. V električni peči izdelano jeklo ima lahko 2 ali 3 krat več dušika kot SM jeklo. Zato so k trganju površine nagnjena predvsem v električnih pečeh izdelana jekla ali z dušikom legirana jekla.

3. VPLIV ALUMINIJEVEGA NITRIDA

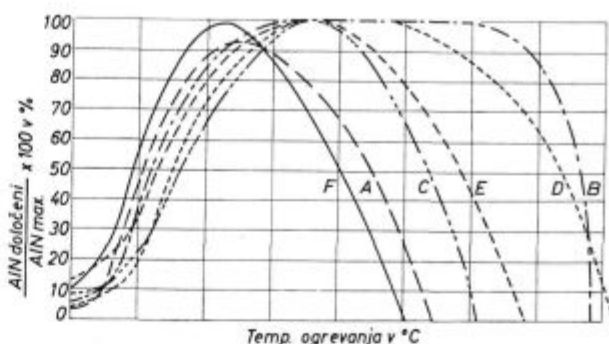
V pričujočem delu bomo obravnavali le vpliv aluminija, vezanega kot aluminijev nitrid.

V dosednji praksi smo namreč lahko potrdili le en sam primer, da se je jeklo trgalo zaradi neugodne razporeditve sulfidnih vključkov tipa II po mejah primarnih zrn.

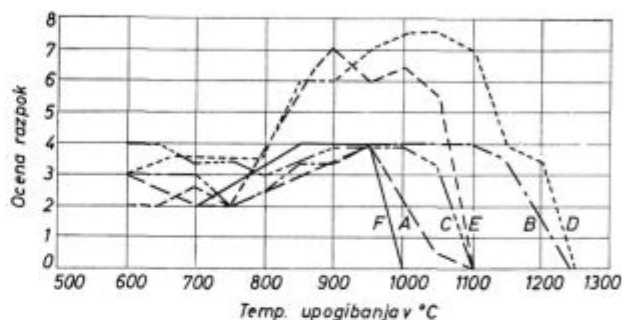
V litem stanju je količina dušika, ki je vezan na aluminij, zelo majhna. Dušik je v jeklu v glavnem raztopljen. Med segrevanjem se od 700 do 1100°C hitro tvori AlN, če je na razpolago dovolj aluminija za vezanje. V naslednjih dveh slikah in tabeli navajamo podatke W. Dahla in Hengstenberga²⁾ o vplivu aluminija in dušika na temperaturo raztapljanja AlN in na trganje v vročem. Iz slike 3 je razvidno, da je temperatura raztapljanja AlN tem višja, čim višja je količina aluminija in dušika v jeklu.

Slika 4 pa kaže, da se jeklo najbolj trga pri temperaturi največjega izločanja AlN, če sta Al in N dovolj visoka. Primer jeklo D in E, kar se tudi popolnoma sklada z našimi izkušnjami.

Na osnovi oblike krivulj v grafikonih 3 in 4 sta prišla Dahl in Hengstenberg do sklepa, da se jeklo ne trga, če so nitridi v jeklu popolnoma izločeni ali če so popolnoma raztopljeni. Nasprotno pa, če se nitridi med vročim valjanjem izločajo ali raztapljajo, se jeklo trga na površini. Na ta sklep se bomo povrnil, ko bomo analizirali mehanizem trganja v drugem delu članka.



Slika 3
Vpliv aluminija in dušika na temperaturo raztapljanja AlN



Slika 4
Vpliv aluminija in dušika na trganje v vročem

Tabela 1 — Sestava jekel iz slike 3 in 4

Jeklo	Al topni %	N skupni ppm	Temp. topnosti aluminijevega nitrida	
			izračunana °C	določena s poskusi °C
A	0,023	52	990	1030
B	0,127	58	1185	1280
C	0,017	154	1065	1100
D	0,053	143	1190	1300
E	0,038	80	1080	1150
F	0,009	110	970	1000

4. VPLIV TITANA, VANADIJA IN NIOBA

Aluminij je iz mnogih ozirov kot dezoksidant in kot element, ki daje jeklu določene tehnološke lastnosti, cenen in uporaben element. Zato so metalurgi iskali možnosti, kako jeklu z višjo vsebnostjo aluminija zagotoviti dobro preoblikovalnost v vročem. Najboljša rešitev je ta, da se dušik v jeklih z višjo vsebnostjo aluminija z močnimi nitridotvornimi elementi veže v obliko, ki ne vpliva na predelavnost jekla v vročem.

Znano je, da titan tvori zelo stabilne nitride, ki se raztopijo šele blizu tališča jekla. Tako znaša temperatura raztapljanja za titannitrid po Gureviču 3) pri 0,010 % N in 0,001 % Ti približno 1357°C, pri 0,01 % Ti približno 1497°C in 0,1 % Ti

1660° C. To pomeni, da se že pri najmanjših dodatkih titana tvorijo titanovi nitridi, ki se pri toplotni predelavi ali obdelavi več ne raztopijo. Zaradi visoke tvorbenne energije titanovega nitrida je jasno, da se, če je dodatek Ti zadosten, ves dušik veže na titan. Za vezanje dušika je torej treba 4 krat toliko titana. Če predpostavimo, da je v našem elektro jeklu 0,0100 % N, potem zadoštuje za vezanje N 0,04 % titana. Pri dodatku titana so nitridi med ogrevanjem in valjanjem ves čas izločeni in ne vplivajo na poslabšanje predelovalnosti v vročem. To nam dokazuje tudi naše jeklo Č 0562 Q z dodatkom titana, ki se praktično nikoli ne trga.

Le nekaj manjšo afiniteto do dušika ima vanadij. Iz ravnotežne konstante za vanadijev nitrid izračunane temperature raztapljanja pri 0,010 % N so pri 0,01 % V približno 850° C, pri 0,1 % V približno 1070° in pri 1 % V približno 1380° C. Kakor se vidi iz navedenih podatkov, so temperature raztapljanja vanadijevega nitrida mnogo nižje od aluminijevega nitrida. Pri temperaturah vročega valjanja so vanadijevi nitridi raztopljeni v gama fazi in tako *izboljšujejo* plastičnost jekla pri valjanju nad 1000° C.

Niob je znan dodatek za izboljšanje plastičnosti v vročem. Niobov nitrid se tvori že v staljenem jeklu, ker ima pri tej temperaturi večjo tvorbeno energijo kot aluminijev nitrid. Zato ostane manj dušika za vezanje aluminija. Pri temperaturi vroče predelave so niobovi nitridi izločeni in se tako jeklo, ki je mikrolegirano z Nb, ne trga pri vročem valjanju. Najboljši dokaz za to je naše jeklo St 52 Cb, ki ima po podatkih statistične analize

70 % vseh vrednosti nad 80 ppm N₂ in 80 % vseh vrednosti nad 0,030 % topnega aluminija in Nb v mejah od 0,04 do 0,02 %, pa se pri valjanju nikoli ne trga.

5. PREISKAVA SLABIH ŠARŽ KVALITETE Č 0562, IZDELANIH NA ELEKTRIČNI PEČI

S problemom trganja površine nizkoogljičnih konstrukcijskih jekel pri vročem valjanju smo se prvič srečali, ko sta začeli obratovati obe veliki električni peči in ko smo ob enem začeli tudi vlivati velike bloke. Od takrat pa do danes se je pogosto dogajalo, kakor sta pač slučajno sovpadala visok aluminij in dušik, da smo imeli večji ali manjši izmeček zaradi raztrgane površine. Preobremenjena pa je bila tudi naša čistilnica, kjer te napake, če niso pregloboko, odstranjujemo s flemanjem.

V tabeli 2 navajamo nekaj šarž s podatki o sestavi jekla, o analizi valjanja (slaba) na N cel, AlN in topni Al in o ogrevanju ingotov in bram v globinskih pečeh.

Vse šarže so bile po valjanju na blumingu močno raztrgane, da so šle v izmeček.

Iz analize lahko ugotovimo, da sta aluminij in dušik razmeroma visoka in da je 80 ppm dušika po naših izkušnjah spodnja meja, pri kateri se jeklo še trga. Aluminijev nitrid, analiziran v slabih, je zelo visok, saj je 80 do 100 % skupnega dušika vezanega na Al.

Ogrevanje bram je bilo normalno in razmeroma kratko, vendar za tako sestavo jekla prav gotovo ne pravilno.

Tabela 2

Št. šarže	Kval.	Kemična sestava								Analiza valjanca				Čas v h		Temp. °C		Čas v h	
		C	Si	Mn	P	S	Sn	Cu	Al	N	AlN	NAI	Al ₂	TT	hom.	prič.	ogr.	izen.	ogr.
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
EL 1855	Č 0562	15	42	118	11	8	31	26	52	86	225	77	48	4 ³⁰	0 ⁵⁰	1050	1250	3 ⁴⁰	4 ⁵⁰
EL 1856	Č 0562	15	35	110	15	20	46	24	47	116	279	85	40	4 ⁴⁵	1	1070	1300	2 ³⁰	4 ³⁰
EL 1849	Č 0560	22	35	130	22	17	35	27	55	107	306	104	44	5 ⁴⁵	1	880	1300	2 ³⁰	6
Ve																			
EA 4967	Č 0560	21	29	120	13	9	27	24	36	100	259	88	32	5 ³⁵	0 ⁴⁵	920	1300	2 ³⁰	4 ⁵⁰
Ve																			
EA 4972	Č 0562	16	39	125	20	16	35	26	46	96	215	73	37	4 ³⁰	0 ⁴⁵	1070	1300	3 ⁴⁰	5 ³⁰
EA 4976	Č 1206	16	19	68	11	9	40	27	43	77	123	42	34	5 ²⁰	—	900	1300	2 ⁰⁵	3 ⁵⁵
EA 4978	Č 0562	16	38	129	15	14	33	29	40	107	200	79	36	5 ³⁵	1	960	1300	2 ⁴⁵	4 ⁴⁰
EA 5208	Č 0562	17	39	127	13	10	27	21	36	112	190	65	23	5 ³⁰	—	850	1300	0 ³⁵	4 ¹⁵
EL 2110	Č 0562	15	35	109	11	23	—	28	46	105	88	31	36	5 ²⁵	—	950	1300	3 ²⁰	6 ²⁵

Vrednosti za C, Si, Mn in Cu so v % X 10—2

Vrednosti za P, S, Sn in Al so v % X 10—3

9 skupni dušik

10 aluminijev nitrid

11 dušik vezan na aluminij

12 topni aluminij

13 TT — čas od preboda do zkladanja v peč

14 čas homogenizacije na začetni temperaturi

15 temp. na začetku ogrevanja

16 temp. ogrevanja

17 čas izenačevanja na temp. ogrevanja

18 skupni čas blokov v peči

6. VPLIV NAČINA OGREVANJA NA TRGANJE POVRŠINE PRI VROČEM VALJANJU

6.1. Vroče zakladanje

Vroče zakladanje bram in ingotov v globinske peči je pri nas normalno. Temperatura blokov, ko gredo v peč, se giblje okrog 800° C, včasih več, včasih manj, odvisno od tega, koliko časa preteče od preboda do zakladanja (TT + track time v tabeli 2). Ta čas pa pri nas niha od 4 do 6 ur.

Glede na spoznanje iz četrtega poglavja, da je začetna temperatura valjanja za jekla z visokim aluminijem pri nas **prenizka, smo eno** šaržo z višjo vsebnostjo aluminija namerno ogrevali pri temperaturi komore 1350° C.

Poskusna šarža EL 2057:

Sestava: C 0,14 %, Si 0,33 %, Mn 1,13 %, P 0,017 %, S 0,019 %, Cu 0,32 %, Sn 0,020 %, Al_{top} 0,032 %, N 91 ppm.

Vroče smo založili 4 brame. Brame smo valjali po 2, 4, 6 in 6,5 urnem izenačevanju na temperaturi. V peči pa so bile 3²⁰, 5²⁰, 7²⁰ in 7⁵⁰ ure. Vse brame so bile lepo ogrete. Dve minuti traja, da pride brama iz peči do valjanja. Medtem temperatura na površini hitro pada. Brama se še dalje hladi pod valji. Po četrtem vtiku je bilo že opaziti trganje, približno pol metra od noge navzgor. Od sredine navzgor proti glavi so se trgali le robovi. Njmočnejše je bila raztrgana prva brama, ki je bila valjana po 2 urah izenačevanja. Najmanj napak sta imeli brami po 6 in 6,5 urnem izenačevanju.

Analiza slabov posameznih bram:

Vzorci za analizo skupnega dušika, aluminijevega nitrida in topnega aluminija smo vzeli pri glavi, to je na tistem delu, kjer je bilo najmanj napak in ki se je po valjanju najhitreje hladil. Analizo kaže tabela 3.

Primerjava s tabelo 2 kaže, da se je količina AlN, oziroma vezanega dušika bistveno zmanjšala, ko smo dvignili temperaturo ogrevanja. Vendar je

Tabela 3 — Šarža EL 2057, vroče založene v peč, temp. ogrev. 1350° C, raztrgane

Štev. brame	Al topni %	AlN ppm	N cel. ppm	NAI ppm	% vezan. dušika	dobitek %
1	0,032	117	93	40	43	27,6
2	0,028	149	91	51	56	41,0
3	0,028	108	91	37	40	55,0
4	0,036	96	84	33	39	55,7
<i>mrzle založene, temp. ogrev. 1300° C, dobre</i>						
5	0,031	155	102	55	54	84,0
6	0,034	123	98	42	43	84,0
7	0,024	149	93	51	55	85,0

bila temperatura ogrevanja, kakor kažejo globoke raztrganine v spodnjem delu brame in slab dobiček, še vedno prenizka. Tudi Wiester¹⁰ navaja, da so dosegli popolno raztopitev AlN šele pri začetni temperaturi valjanja 1360° C. Tako visoke temperature ogrevanja pa praktično ne pridejo v poštev, zato smo iskali ugodnejše rešitve.

6.2. Mrzlo zakladanje

Znano nam je bilo, da nekateri veliki tuji proizvajalci pločevine zakladajo brame v mrzlem stanju, vendar pretežno s flemeno površino in da trganja površine praktično ne poznajo.

Tudi mi smo že zakladali brame z visokim aluminijem in dušikom, mrzle in flemane. Zato smo menili, da je morda vzrok prav v tem, da je površina flemana.

Poskus smo ponovili na preostalih treh bramah šarže EL 2057 (bilo jih je 7), od katerih smo 4 že založili vroče in so se močno trgale. Dve od zadnjih treh bram smo flemali in od njih vzeli tudi vzorce za preiskavo lite strukture. Tretjo bramo smo pustili neflemeno.

Brame smo ogrevali po običajnem režimu za mrzlo zakladanje pri maksimalni temperaturi komore 1300° C in jih pustili 4 ure na tej temperaturi.

Vse tri brame tako flemane kakor neflemene, so se izvajale z brezhibno površino.

Rezultati analize slabov za brame št. 5, 6 in 7 so v tabeli 3.

Poskus smo ponovili še na dveh šaržah EL 2097 in EL 2284, od katerih smo po dve brami založili vroči, ostale pa mrzle. Pri obeh šaržah sta bili vroč založeni raztrgani, mrzlo založene (neflemene) pa ne.

Iz tega lahko zaključimo, da ni flemanje tisti vzrok, da se jeklo med valjanjem ne trga, kakor smo preje domnevali, pač pa ohladitev na navadno temperaturo in ponovno ogrevanje.

7. VPLIV NAČINA IZDELAVE JEKLA NA VSEBNOST DUŠIKA IN NA TRGANJE POVRŠINE MED VROČIM VALJANJEM

Vse doslej obravnavane šarže so bile izdelane po postopku z dvema žlindrama, predvsem zaradi strogih zahtev po nizkem žveplu.

Znano pa je, da imajo jekla, izdelana z dvema žlindrama, splošno višji dušik kakor jekla, ki so izdelana le pod črno žlindro. Dušik namreč naraste po menjavi žlindre v času rafinacije jekla.

Kako izgleda porazdelitev dušika pri naših konstrukcijskih jeklih (Č 0562 in St 52 Cb ter St 52 CbV), odvisno od načina izdelave, kaže slika 5.

V verjetnostnem diagramu je nanesena na ordinati kumulativna frekvenca vrednosti za dušik, na abscisi pa absolutni iznos dušika v ppm.

Po enem in drugem načinu dobimo podobno porazdelitev dušika, le da sta premici vzporedno premaknjeni. Srednja vrednost dušika znaša pri delu s črno žlindro 76,8 ppm, pri delu z dvema žlindrama po 90,9 ppm. Preko 90 % vrednosti je normalno porazdeljenih, okrog 10 % pa jih močnejše odstopa, kar kaže odklon premice v desno. Pri dveh žlindrah so ta odstopanja večja; ali točnejše, raztros je večji, saj dosegajo posamezne vrednosti tudi preko 160 ppm dušika.

Ta velika odstopanja se pri nekaterih šaržah dajo razložiti z nenormalno dolgo rafinacijo, z mehko raztalitvijo in podobno. Večinoma pa se nenormalno velikih odstopanj ne da razložiti in je s tem treba računati.

7.1. Prednosti izdelave konstrukcijskega jekla s črno žlindro

Glavna prednost izdelave jekla s črno žlindro nasploh je v manjši vsebnosti plinov. Kakor kaže porazdelitev na sliki 5, je pri naših konstrukcijskih jeklih, če so izdelana s črno žlindro, 65 % vseh vrednosti pod 80 ppm dušika, pri delu z dvema žlindrama pa je le 23 % vrednosti pod 80 ppm dušika, vse ostale imajo višjo vsebnost dušika.

Z ozirom na spoznanje, da je nivo dušika pri delu z eno žlindro mnogo nižji kot pri delu z dvema žlindrama, smo začeli kvaliteto Č 0561, nato pa tudi Č 0562 namenoma izdelovati le s črno žlindro, če le žveplo ob raztalitvi zagotavlja, da v končni sestavi lahko dosežemo dovoljeno zgornjo mejo 0,045, oziroma 0,035 % S.

Ta ukrep se je močno odrazil na dobitku (izplenu) dobrega materiala, saj je le-ta močno pora-

stel in se giblje sedaj v mejah od 84 do 85 % (mesečno povprečje). Površinskih napak pa praktično ni več.

Jeklo, ki je izdelano pod črno žlindro, ni več občutljivo na trganje kljub visokemu aluminiju.

V tabeli 4 prikazujemo nekaj takih šarž, ki so slučajno padle z višjim aluminijem in so izdelane pod črno žlindro. Iz sestave se vidi, da je dušik na splošno nižji kakor v tabeli 2.

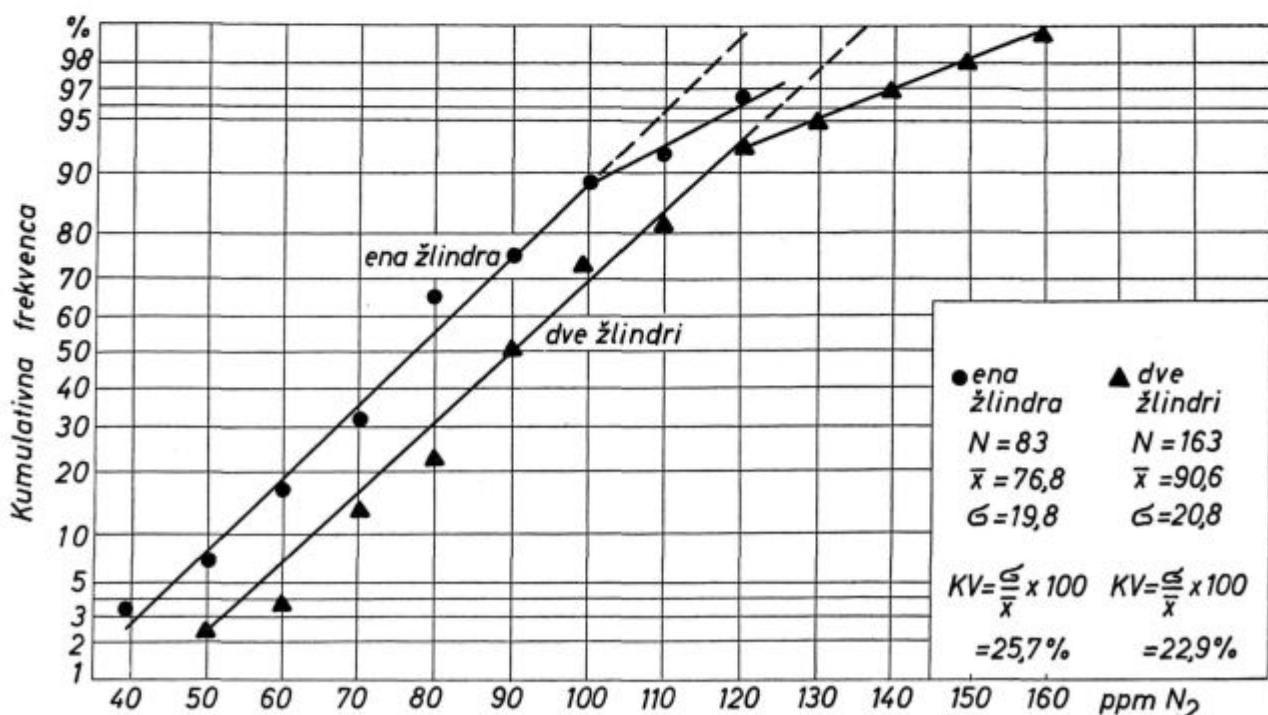
Med temi šaržami sta posebno zanimivi šarži EL 2156 in EL 2266, obe z visokim aluminijem in visokim dušikom; prva dolgo in druga hitro ogre-ta, kar kaže, da čas iznenačevanja in skupni čas ogrevanja pri tako izdelanih šaržah nima nobene vpliva na obnašanje jekla med valjanjem, oziroma na nagnjenost k trganju površine. Prav tako lahko sklepamo iz teh dveh šarž, da jeklo, ki je bilo izdelano pod črno žlindro ni občutljivo na trganje površine pri vročem valjanju, kljub visoki vsebnosti aluminija in dušika in vročem zalaganju.

8. ZAKLJUČKI

Omenjeno delo predstavlja zaključno fazo nekajletnih prizadevanj za rešitev dokaj kočljivega problema trganja površine nizkoogljčnih konstrukcijskih jekel med vročim valjanjem.

Rešitev problema pa je v sledečem:

1. Nevarnost, da se bodo nizkoogljčna konstrukcijska jekla z visoko vsebnostjo dušika ali aluminija, če so izdelana po dvožlindrnem postopku, trgala med vročim valjanjem, odstranimo, če take šarže pustimo ohladiti in jih mrzle zalozimo v ogrevne peči.



Slika 5 Porazdelitev dušika pri eno in dvožlindrnem procesu

Tabela 4

Št. šarže	Kval.	Končna sestava							Al sk.	top.	N ppm	TT h	temp. prič. °C	temp. ogr. °C	čas izen. h	čas ogr. h
		C	Si	Mn	P	S	Sn	Cu								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
EL 2113	Č 0561	15	39	127	15	47	100	34	36	32	58	3 ⁵⁵	870	1300	3 ⁰⁰	5 ⁴⁰
EL 2130	Č 0561	18	40	134	21	28	32	31	61	37	88	5 ³⁵	1000	1300	2 ¹⁵	4 ¹⁵
EL 2148	Č 0561	16	38	113	17	23	29	24	44	33	75	5 ²⁵	920	1300	1 ¹⁰	6 ²⁰
EL 2153	Č 0562	15	33	120	21	18	46	28	33	20	75	9 ²⁵	820	1300	1 ⁵⁰	7 ¹⁰
EL 2155	Č 0562	15	43	122	18	35	25	23	48	33	70	5 ²⁰	1000	1280	3 ⁰⁰	5 ⁰⁰
EL 2156	Č 0562	13	46	118	26	37	41	25	67	41	103	4 ¹⁵	900	1280	5 ⁴⁰	9 ⁰⁰
EL 2196	Č 0561	17	31	116	42	33	81	37	39	26	64	6 ³⁵	700	1250	5 ²⁰	8 ⁰⁰
EL 2198	Č 0561	14	40	117	21	36	36	25	36	31	77	4 ³⁵	1150	1270	3 ⁵⁰	4 ⁵⁰
EL 5361	Č 0561	17	39	131	14	27	18	16	58	41	93	6 ²⁵	800	1300	3 ⁴⁰	7 ⁴⁵
EL 2221	Č 0561	15	36	97	6	19	28	22	33	25	100	4 ⁵⁰	1030	1290	0 ⁴⁰	5 ⁰⁰
EL 2235	Č 0561	16	37	122	40	29	42	26	34	33	80	6 ⁰⁵	860	1290	2 ¹⁰	4 ¹⁵
EL 2263	Č 0561	18	47	124	14	20	24	20	37	28	77		800	1290	3 ³⁰	11 ¹⁵
EL 2265	Č 0561	19	33	98	6	15	25	22	36	34	115	4 ²⁵	960	1300	3 ¹⁰	4 ³⁰
EL 2266	Č 0562	16	42	125	40	35	37	25	57	47	111	3	1110	1290	0	3 ⁵⁰

Vrednosti za C, Si, Mn in Cu so v % X 10⁻²Vrednosti za P, S, Sn in Al so v % X 10⁻³

8 skupni aluminij

9 topni aluminij

10 skupni dušik

11 TT — čas od preboda do zakladanja v peč

12 temperatura na začetku ogrevanja

13 temperatura ogrevanja

14 čas izenačevanja na temp. ogrevanja

15 skupni čas blokov v peči

Tiste vrste nizkoogljčnega konstrukcijskega jekla, ki jih iz različnih razlogov izdelujemo po dvožlindrnem postopku in ki imajo v končni sestavi, slučajno ali pa namenoma, zaradi doseganja posebnih fizikalnih lastnosti visok aluminij, zakladamo mrzle v peč, če je v končni sestavi več kot 0,030 % skupnega, oziroma več kot 0,025 % topnega aluminija.

2. Nevarnost za trganje teh jekel tudi zmanjšamo, oziroma odstranimo, če ta jekla izdelamo le pod črno žlindro.

Zato manj zahtevne vrste jekla, npr. za debelo pločevino, kjer lahko z enožlindrnim postopkom dosegamo zadovoljivo čistočo, ali če nam nizko žveplo ob raztalitvi zagotavlja nizko končno žveplo, izdelujemo le pod črno žlindro, ker nam višji aluminij v končni sestavi v takem primeru ne škoduje.

Rezultati teh ukrepov se neposredno kažejo v povečanju dobitka dobrega materiala in zmanj-

šanju površinskih napak na minimum. Tako tudi pri doslej občutljivih kvalitetah sedaj dosegamo enako dobre rezultate kakor pri ostalih mehkih jeklih.

3. Sposobnost za vročo predelavo nizkoogljč-nih konstrukcijskih jekel izboljšamo in nevarnost trganja odstranimo, če dušik v jeklu vezemo z močnimi nitridotvornimi elementi, kot so titan, niob in vanadij. Nitridi teh elementov se raztapljajo pri višji ali pa pri nižji temperaturi, kot je temp. vročega valjanja. Sem spadajo jekla z visoko mejo raztezanja, ki so mikrolegirana z niobom in vanadijem in imajo zaradi posebnih fizikalnih lastnosti tudi visok delež dušika in aluminija.

Literatura

- 1., 2., 3. Dahl, Hengstenberg: Archiv für das Eisenhüttenwesen, 1964, str. 1129 do 1137.