

Raziskave vpliva sulfidnih vključkov, mikrostrukture in homogenosti na lastnosti jeklenih plošč v smeri debeline

UDK: 669.14.018,29
ASM/SLA: Q26n, Q26s, M 9—69

Franc Vodopivec, M. Gabrovšek, I. Rak, B. Ralič
in J. Zvokelj

Analiza literature. Opredelitev razmerja med količino žvepla in količino vključkov ter lastnosti jeklenih plošč v smeri debeline. Vpliv mikrostrukture in kemijske homogenosti. Mikrofrakto-grafija lamelarnega preloma jeklenih plošč.

1. UVOD IN NAMEN DELA

Kristalizacija in topla predelava ustvarita v jeklenih izdelkih anizotropijo, zato so lastnosti v smeri debeline in prečno na smer valjanja različne od lastnosti v smeri valjanja. Med kristalizacijo jekla nastajajo blokovne in dendrične izseje legirnih elementov in nečistoč, ki so v trdni raztopini v feritu ali avstenitu, ali pa jih najdemo v jeklu kot različne faze (nekovinski vključki, karbidi in drugo). Pri ohlajanju jekla po vročem valjanju se transformacija avstenita začne pri nekoliko višji temperaturi v področjih, kjer je večja koncentracija alfa-faznih elementov, ki povečujejo aktivnost ogljika. Ta področja so od predelave izoblikovana v plasti, zato prihaja do plastaste prerazdelitve ferita in perlita v valja-

nem jeklu in do mikrostrukture, katero označujemo kot sekundarno trakavost. Trakavost bo torej tem večja, čim manj je bila učinkovita homogenizacija jekla pred toplo predelavo.

Če je temperatura ob koncu predelave pod A_1 točko, med valjanjem nastaja ferit, ki ima pri isti temperaturi večjo plastičnost kot avstenit, zato se pri isti redukciji preseka relativno bolj podaljša. To povečuje plastnost jekla in ustvarja dodatno anizotropijo, s tem da ustvarja teksturo v feritu (1).

Izkušnje in mnogi viri so si enotni v mnenju, da povzročajo pri konvencionalnih pogojih izdelave največjo anizotropnost plastični vključki. V jeklih, ki so pomirjena z aluminijem, so to vključki manganovega sulfida. Čim nižja je temperatura tople predelave jekla, tem večja je plastičnost sulfidnih vključkov v primerjavi s plastičnostjo avstenita. Zato se vključki pri isti redukciji relativno bolj podaljšajo pri nižji kot pri višji temperaturi predelave.

Sodobni postopki predelave kovin težijo k nižjim temperaturam, da bi se tako dosegla mikrostruktura iz čim bolj drobnih zrn, ki ima visoke trdnostne lastnosti, veliko žilavost in nizko temperaturo prehoda iz žilavega v krhki lom. Nizka temperatura valjanja pa ustvarja tudi teksturo ferita. Torej sodobna predelava ustvarja možnost nastanka anizotropije v lastnostih jekla, četudi je to jeklo v začetku homogeno. Še neugodnejše je, če se v maloogljicnih jeklih zaradi nižje temperature predelave cementit začne izločati ne v perlitnih kolonijah, temveč v razpotegnjenih nitih (2) po mejah feritnih zrn.

dr. Franc Vodopivec, dipl. inž. je samostojni raziskovalec na Metalurškem inštitutu v Ljubljani

dr. Marin Gabrovšek, dipl. inž. je direktor TKR v Železarni Jesenice

Inoslav Rak, dipl. inž. je direktor instituta Metalna Maribor

Boško Ralič je višji tehnik na Metalurškem inštitutu v Ljubljani

Janez Zvokelj, dipl. inž. je samostojni raziskovalec na Metalurškem inštitutu v Ljubljani

Anizotropijo, ki je posledica sulfidnih vključkov, je mogoče zmanjšati z zmanjšanjem količine žvepla v jeklu in z vezavo tega elementa v vključke, ki so neplastični ali malo plastični pri temperaturi predelave. To dosegamo z obdelavo jeklene taline z zemeljskimi alkalijami (3). Ukrep pa je umesten le tam, kjer je za gotovo dokazano, da so sulfidni vključki škodljivi za lastnosti jekla.

Med proizvodi, ki so v uporabi najbolj kritični, zato tudi vredni največjega zanimanja, so plošče, ki so namenjene za varjene jeklene konstrukcije, in trakovi, ki so namenjeni za preoblikovanje z globokim vlečenjem. V jeklenih konstrukcijah nosijo plošče često K vare. Ti jeklo obremenjujejo v smeri debeline, to je v smeri, v kateri so lastnosti jekla relativno najslabše. Pri globokem vlečenju se zmanjšuje debelina vlečenca, zato je učinek sulfidnih vključkov izrazit, ker ti vključki najmočneje zmanjšujejo kontrakcijo v smeri debeline (4).

Pri temperaturi ambienta je zveza med sulfidnimi vključki in kovinsko matriko precej šibka, zato hitro popusti, če je smer deformacije pravokotna na ravnino valjanja, v kateri vključki ležijo. To ustvarja posebne pogoje za napredovanje razpoke, ki se širi predvsem v ravnini vključkov (5). Rezultat je posebna oblika prelomne površine, ki jo označujemo kot terasasti ali lamelarni prelom (trganje).

V tem delu smo zbrali nekatere najvažnejše podatke o vplivu sulfidnih vključkov na lastnosti jeklenih plošč v smeri debeline in na lamelarno trganje, preverili občutljivost nekaterih domačih tipičnih jekel za lamelarno trganje in opredelili vpliv homogenosti jekla in trakaste mikrostrukture na lastnosti plošč v smeri debeline.

2. ANALIZA BIBLIOGRAFIJE

V nekem prejšnjem delu smo v večjem obsegu analizirali razpoložljive vire (6), zato se bomo tu omejili le na najpomembnejše ugotovitve in spoznanja. Popolnoma je prevladalo mnenje, da je najbolj objektivno merilo za oceno lastnosti jekla v smeri debeline kontrakcija raztržnih vzorcev, ki se izdelajo z osjo v smeri debeline plošč. Zato je mogoče uspešno preveriti le plošče z zadostno debelino. Naše izkušnje kažejo, da je mogoče tudi v vroče valjanih trakovih zadovoljivo opredeliti vpliv vključkov na plastičnost v smeri debeline z merjenjem zmanjšanja debeline ploščatih preizkušancev (4).

Literaturni podatki navajajo dva osnovna načina za pripravo preizkušancev z osjo v smeri debeline. Eden je, da se na plošče neposredno privarijo nastavki, ki omogočijo, da se izdelata normalni raztržni preizkušanelec, po drugem pa se neposredno iz plošče izdelajo precej komplicirani preizkušanci po Brodeauju (7). Empirično je bilo ugotovljeno, da so varjeni preizkušanci primer-

nejši za oceno jeklenih plošč (8,9). Njihova kontrakcija se dobro ujema s tehnološkimi varilnimi preizkusi, s katerimi se preverja nagnjenost jeklenih plošč k lamelarnemu trganju. Premer raztržnih preizkušancev je različen. Iz povprečja 8 preizkušancev s premerom 3 mm je mogoče dobiti zanesljivo numerično vrednost za kontrakcijo (10), ne da bi bilo potrebno varjenje. Vendar je izdelava takih preizkušancev precej draga, zato prevladuje mnenje, da je primerneje uporabljati varjene preizkušance, pri katerih naj bo debelina večja, da bo raztros med posamičnimi meritvami čim manjši. Če je razmerje med premerom in dolžino valjastega dela d/t najmanj 0,8, so zagotovljeni pogoji za enako kontrakcijo varjenih in nevarjenih preizkušancev.

Kontrakcija preizkušancev z osjo v smeri debeline, v nadaljevanju z kontrakcija, se zmanjšuje z naraščanjem količine žvepla v jeklu (8), oz. točneje povedano, z naraščanjem projekcije sulfidnih vključkov v ravnini valjanja (10). Kontrakcija hitro zraste, ko se žveplo zmanjša pod 0,01 %, vendar je šele pri 0,001 % S z kontrakcija enaka kontrakciji v smeri valjanja (11, 12).

S homogenizacijo jekla se lastnosti v smeri debeline izboljšajo zato, ker se zmanjšajo izceje, ni pa izboljšanja zaradi sferoidizacije sulfidnih vključkov (11, 13). Zaporedje med seboj malo oddaljenih vključkov ima menda podoben učinek kot posamični daljši vključki.

Pri 0,007 % S dosega z kontrakcija 25 %, kar je dovolj, da ni lamelarnega trganja tudi pri zelo togih varih. Nevarnost lamelarnega trganja se pri določeni količini žvepla v jeklu zmanjša s primernimi varilnotehničnimi ukrepi (uporabo dobro posušenih elektrod in praškov, pravilno izbiro varilnih parametrov, predgrevanjem, počasnim ohlajanjem po varjenju, varilnim oplaščenjem čelnih površin, kjer je nevarnost začetka pokanja največja, primerno konstrukcijo varov, da je obremenitev v z smeri manjša in drugo). Z vezavo žvepla z zemeljskimi alkalijami in redkimi zemljami (3, 10, 14 in 17) dosežemo nastanek neplastičnih ali malo plastičnih vključkov in zmanjšamo ali odpravimo nevarnost lamelarnega trganja že pri višjih količinah žvepla v jeklu. Podoben učinek imata v jeklenih trakovih dodatek titana in cirkona (15, 16 in 17). Slaba stran obeh elementov je, da se vežeta tudi z ogljikom, kisikom in dušikom. Prečna žilavost raste v jeklenih ploščah z zmanjševanjem razmerja Mn/S (17). Energija za nastanek razpoke je enaka energiji za njeno širjenje pri približno 0,02 % žvepla, pri zmanjšanju količine žvepla od 0,04 na 0,005 zraste energija, potrebna za širjenje razpoke za 100 % (17).

Lamelarnost zelo močno povečujejo evtektični sulfidni vključki, katere najdemo v jeklih, pomirjenih z aluminijem in brez preje navedenih dodatkov (18). Pri začetnih visokih temperaturah valjanja se ti vključki zavrtijo v ravnino valjanja,

pri nižjih temperaturah ob koncu valjanja pa se podaljšajo. To ustvarja v valjanem jeklu jeklu ravnine, v katerih so si vključki blizu drug drugemu, čeprav je volumski delež sulfidne komponente precej majhen. Tega podaljšanja praktično ni, če je jeklo obdelano z elementi, ki tvorijo malo plastične sulfide. Zato je kontrakcija v debelih ploščah, ki so bile obdelane z zemeljskimi alkalijami, pri isti količini žvepla večja kot z kontrakcijami plošč brez take obdelave (3).

Prevladuje mišljenje, da se lamelnemu trganju izognemo pri kvalitetnem varjenju, če je z kontrakcija najmanj 15 % (6). Specifikacija, ki je bila pripravljena v ZR Nemčiji, predvideva tri kvalitetne razrede s povprečno 15, 25 in 35 % z kontrakcije z minimalnimi vrednostmi v posamičnih razredih 10, 15 in 25 %.

Ne smemo pri tej razpravi zanemariti vpliva izcejanja in nehomogene mikrostrukture pri vrednotenju ev. povzročiteljev anizotropije. Lastnosti jekla kvalitete Č 0562 prečno na smer valjanja so slabše kot v smeri valjanja, zato ker izcejanje mangana pospešuje nastanek bainita v perlitnih plasteh (20). V jeklu torej nastajajo posamične trde plasti z majhno deformacijsko odpornostjo, v kateri se začetek razpoke, ki ga predstavljajo vključki, lažje razširi v makroskopsko razpoko. Podoben vpliv imajo lahko tudi izrazito izoblikovane plasti v trakasti mikrostrukturi.

3. METODIKA DELA IN UPORABLJENA JEKLA

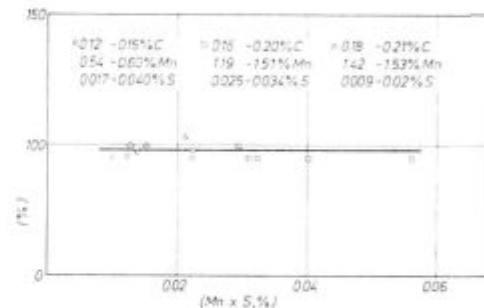
Na osnovi razprave v točki 2 smo se odločili, da pripravimo varjene preizkušance. Nastavke iz istega jekla smo na plošče zavarili ročno in avtomatsko pod praškom. Elektrode in prašek smo pred varjenjem dobro posušili. Temperature predgrevanja pred varjenjem smo izračunali po priporočilu (21), ki upošteva sestavo jekla, debelino plošč in količino vodika v varu. Te nismo posebej določili, temveč smo pri izračunu upoštevali hipotetično vrednost, katero navaja kot največjo možno proizvajalec elektrod s pogojem, da so pred varjenjem elektrode in prašek primerno posušene.

Za preiskavo smo izbrali pločevine, debeline 16 do 40 mm iz jekel Č 1204, Č 0562 in Nioval 47. Ta jekla se med seboj razlikujejo po osnovni sestavi, predvsem po razmerju Mn/S, po pogojih za toplo valjanje in končno tudi po obnašanju pri valjanju. Mislimo, da je mogoče na osnovi rezultatov preiskav teh jekel ovrednotiti tudi druga konstrukcijska jekla, ki se uporabljajo v obliki plošč.

S štetjem in meritvami v optičnem mikroskopu smo določili število vključkov na enoto površine (gostoto vključkov, N) in povprečno dolžino vključkov (L_1). Zmnožek teh dveh podatkov da dolžino vključkov na enoto površine (količino vključkov, L). Pri štetju in meritvi dolžine smo

upoštevali le vključke, daljše od 0,01 mm, razen primerov, ko so manjši vključki ležali v daljših nizih, v katerih je bila medsebojna oddaljenost manjša od 0,01 mm. Iz izkušnje pri raziskavah jeklenih trakov vemo (4), da neupoštevanje vključkov, krajših od 0,01 mm, ne povzroči bistvene napake, vendar pa bistveno skrajša delo. Pri meritvah smo zanemarili debelino vključkov. S tem ni bila storjena kaka napaka, ker je za lastnosti v smeri debeline pomembna le velikost projekcije vključkov v ravnini valjanja (10). Na nekaterih vzorcih smo izmerili tudi širino vključkov na prerezu, pravokotnem na smer valjanja.

S homogenizacijo pri 1250°C smo dosegli sferoidizacijo vključkov, to je zmanjšanje njihove dolžine na enoto površine in izenačitev izcej. Pri tem se seveda ni zmanjšala količina sulfidne mase. Analiza galvanostatskega izolata namreč pokaže (sl. 1), da je v vseh jeklih skoraj vse žveplo vezano v sulfidni fazi, ne glede na količino mangana in žvepla.



Slika 1

Razmerje med velikostjo zmnožka (Mn x S) v jeklu in količino žvepla v galvanostatskem izolatu in v jeklu

Fig. 1

Ratio between the Mn x S product in steel and the amount of sulphur in galvanostatic isolate and in steel

V tabeli 1 so sestave jekel, debeline plošč in osnovni podatki o vključkih v dobavljenem stanju. Količine oksidnih vključkov nismo določili kvantitativno, ker je to nemogoče storiti brez avtomatske priprave. Pri raztržnih preizkusih se je pokazalo, da imajo nekateri preizkušanci v smeri debeline zelo nizke trdnostne lastnosti in kontrakcijo. Iz oblike prelomne površine je bilo mogoče ugotoviti v vseh teh primerih, da gre za dekohezijo preko ravnin, bogatih z zrnatimi, med seboj malo oddaljenimi oksidnimi vključki. Razen pri enem jeklu je bil ta delež prevladujoč samo pri posamičnih preizkušancih, ki jih nismo upoštevali pri opredeljevanju korelacije med lastnostmi jekla v smeri z in količino žvepla, oz. sulfidnih vključkov v jeklu.

4. REZULTATI

4.1. Količina sulfidnih vključkov

Gostota in količina vključkov naraščata linearno z naraščanjem količine žvepla v jeklu

Tabela 1 Sestava jekel in podatki o sulfidnih vključkih

Vrsta jekla	Debelina plošče mm	Elementi v %									Sulfidni vključki		
		C	Mn	Si	P	S	Al	Nb	V	N	LI	L	
1 Č 1204	18	0,13	0,54	0,10	0,012	0,024					28,5	18,6	0,53
2 Č 1204	25	0,12	0,57	0,14	0,014	0,017	0,059				26,2	19,7	0,51
3 Č 1204	32	0,12	0,57	0,18	0,011	0,039	0,007				60	22,7	1,36
4 Č 1204	16	0,12	0,60	0,20	0,016	0,037	0,041				86	21	1,81
5 Č 1204	42	0,13	0,58	0,19	0,016	0,022	0,025				28,5	19,6	0,56
16 Č 1204	18,5	0,13	0,67	0,21	0,022	0,040	0,004				104	24	2,5
7 Č 0562	16	0,17	1,19	0,42	0,014	0,025	0,003				95	20,0	1,90
8 Č 0562	30	0,17	1,41	0,39	0,026	0,035	0,037				92,5	20,1	1,86
9 Č 0562	16	0,17	1,18	0,46	0,040	0,035	0,01				95	31,0	2,94
10 Č 0562	37	0,20	1,10	0,26	0,016	0,030	0,022				103	24,5	2,52
12 Nioval 47	18	0,18	1,43	0,46	0,02	0,018	0,049	0,037	0,07	31	69	2,14	
13 Nioval 47	20	0,18	1,53	0,47	0,016	0,009	0,055	0,055	0,09	17,5	57,8	1,01	
14 Nioval 47	30	0,21	1,42	0,30	0,019	0,020	0,02	0,044	0,07	40	57,3	2,3	
15 Nioval 47	40	0,19	1,38	0,43	0,02	0,009	0,031	0,027	0,06	6,5	42	0,26	

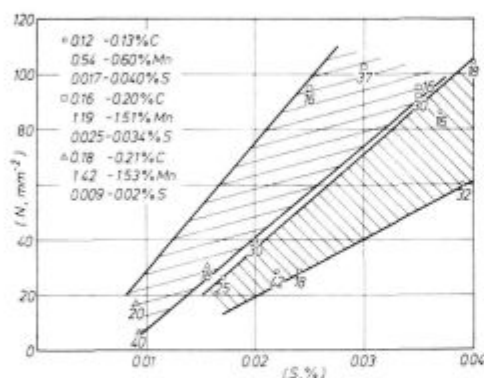
1 — kislinotopni Al

 N — število vključkov na mm² površine obruska

 LI — poprečna dolžina vključkov na vzdolžnem preseku (mm × 10³)

 L — celotna dolžina vključkov na mm² površine obruska

(sl. 2 in 3). Pri isti količini žvepla je največ vključkov v jeklu Nioval 47, sledi jeklo Č 0562 in končno jeklo Č 1204. Raztros med posamičnimi šaržami istega jekla je posledica razlike v predelavi, oz. v debelini plošč. Točnejša analiza tabele 1 namreč pokaže, da je pri določeni količini žvepla tem več vključkov, čim manjša je debelina plošč. Ta zakonitost je najbolj izrazita pri jeklu Nioval 47 in najmanj pri jeklu Č 1204. Zaradi specifičnih pogojev za valjanje je povprečna dolžina vključkov večja v jeklu Nioval 47 kot v drugih dveh

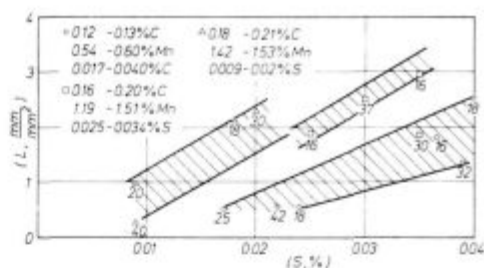


Slika 2

Vpliv količine žvepla v jeklu na gostoto sulfidnih vključkov daljših od 0,01 mm v ploščah. Ob točkah je navedena debelina plošč

Fig. 2

Influence of the density of sulphur in steel on the density of sulphide inclusions longer than 0,001 mm in plates. At the dots, the plate thickness is cited.



Slika 3

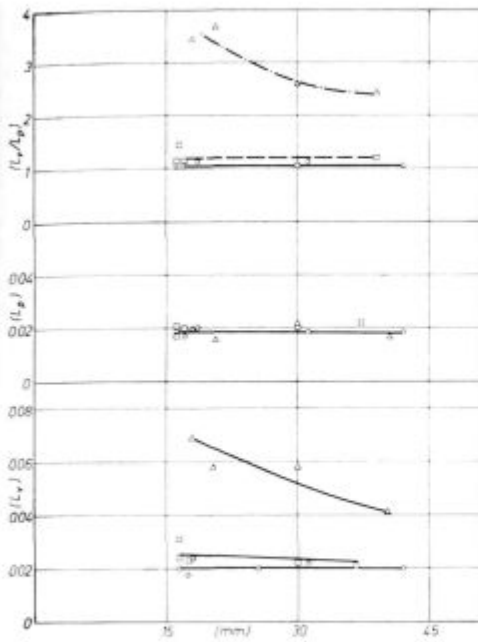
Vpliv količine žvepla v jeklu na količino sulfidnih vključkov daljših od 0,01 mm v ploščah. Ob točkah je navedena debelina plošč

Fig. 3

Influence of the amount of sulphur in steel on the amount of sulphide inclusions in plates, longer than 0,01 mm. At the dots, the plate thickness is cited.

jeklih in raste z zmanjševanjem debeline plošč. Ni pa razlike v širini. Zato se pri jeklu Nioval 47 z naraščanjem debeline plošč zmanjšuje razmerje med dolžino in širino vključkov, ki je pri drugih dveh jeklih precej konstantno (sl. 4). To je nov dokaz, da nizka temperatura valjanja daljša sulfidne vključke.

Pri ogrevanju za homogenizacijo se zmanjšuje gostota sulfidnih vključkov (sl. 5), njihova povprečna dolžina (sl. 6), seveda pa tudi količina vključkov (sl. 7). Ostanjejo pa razlike med vsemi tremi vrstami jekla. Homogenizacija seveda ne zmanjša količine sulfidne faze, temveč le skrajše vključke, oz. poveča število vključkov, ki so krajši od 0,01 mm. Proces sferoidizacije vključ-

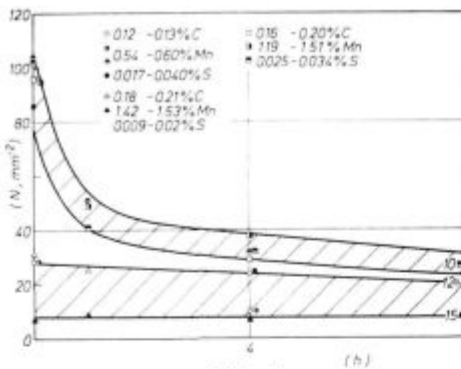


Slika 4

Vpliv debeline plošč na poprečno dolžino sulfidnih vključkov na vzdolžnem preseku (L_p), na prečnem preseku (L_p) in na razmerje med obema

Fig. 4

Influence of the plate thickness on the average length of sulphide inclusions on the longitudinal section (L), on the transversal section (L_p), and the ratio of both.



Slika 5

Vpliv trajanja homogenizacije pri 1250 °C na gostoto sulfidnih vključkov, ki so daljši od 0,01 mm

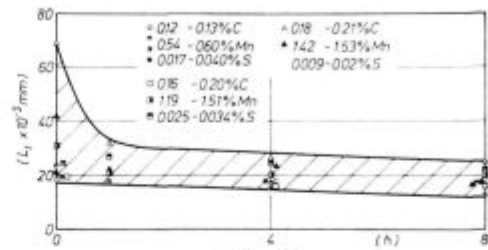
Fig. 5

Influence of homogenising time at 1250 °C on the density of sulphide inclusions longer than 0.01 mm.

kov je precej hitre, saj se vključki bolj skrajšajo v prvi uri ogrevanja pri 1250° C kot v naslednjih 7 urah.

4.2. Mikrostruktura in homogenost jekel

Vse plošče so bile po valjanju normalizirane in so imele feritno perlitno mikrostrukturo, ki se je razlikovala po velikosti zrn in intenziteti sekundarne trakavosti. Pri ponovni normalizaciji se mikrostruktura ni spremenila. V tabeli 2 je relativna ocena trakavosti v nekaterih ploščah in povprečna koncentracija silicija in mangana

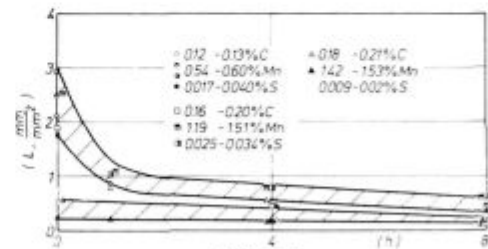


Slika 6

Vpliv trajanja homogenizacije pri 1250 °C na poprečno dolžino sulfidnih vključkov, ki so daljši od 0,01 mm

Fig. 6

Influence of homogenising time at 1250 °C on the average length of sulphide inclusions longer than 0.01 mm.



Slika 7

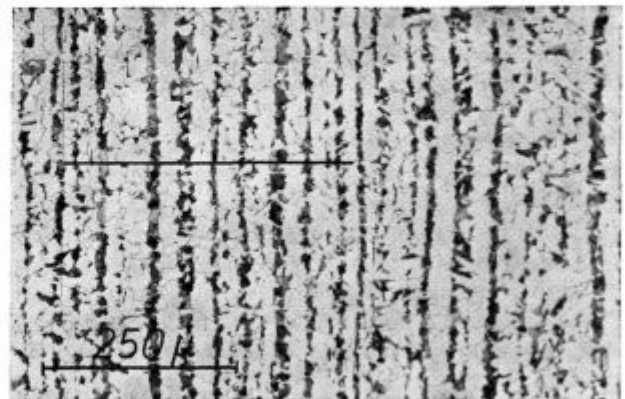
Vpliv trajanja homogenizacije pri 1250 °C na količino sulfidnih vključkov, ki so daljši od 0,01 mm

Fig. 7

Influence of homogenising time at 1250 °C on the amount of sulphide inclusions longer than 0.01 mm.

v feritnih in perlitnih plasteh. Podatki kažejo, da je v vseh primerih več mangana v perlitnih slojih, pri siliciju pa ni enotne zakonitosti. Izcejanje silicija je v relativnem in v absolutnem merilu manjše kot izcejanje mangana. Sekundarna trakavost je najbolj izrazita v primerih, ko je v perlitu več silicija in mangana kot v feritu. Trakavost je manjša, če je izcejanje obeh elementov nasprotno, ali pa izcejanja silicija skoraj ni.

V nekaterih ploščah je bila trakavost komaj nakazana, v drugih primerih, predvsem v ploščah iz jekla Č 0562, pa sta bila ferit in perlit lahko tudi skoraj popolnoma razdeljena v ločene plasti (sl. 8). V jeklu Nioval 47 so bile poleg te normalne



Slika 8

Mikrostruktura jekla Č. 0562, plošča 10

Fig. 8

Mitrostructure of Č.0562 steel, plate 10.

Tabela 2 — Koncentracija mangana in silicija (v %) v perlitnih (P) in v feritnih plasteh (F) in relativna intenziteta izcejanja

Kvaliteta in vzorec	Dobavljeno stanje								trakavost	Homogenizirano 8 ur, normalizirano				Homogenizirano 8 ur, normalizirano ohlajeno v peči			
	A				B					A		B		A		B	
	F	P	F	P	F	P	F	P		F	P	F	P	F	P	F	P
C 1204	Mn	Si	Mn	Si	Mn	Si	Mn	Si		Mn	Si	Mn	Si	Mn	Si	Mn	Si
1	0,55	0,10	0,63	0,10	0,48	0,4	0,77	0,4	začetki								
4	0,54	0,24	0,67	0,21	0,46	0,26	0,69	0,20	delna								
5	0,63	0,21	0,70	0,19	0,58	0,22	0,72	0,19	začetki								
16	0,58	0,23	0,71	0,20	0,49	0,24	0,74	0,20	delna								
Č 0562																	
7	1,22	0,36	1,45	0,39	1,21	0,34	1,51	0,40	močna								
9	1,22	0,42	1,33	0,41	1,19	0,42	1,39	0,39	delna								
10	1,16	0,28	1,39	0,31	1,11	0,29	1,59	0,34	močna	1,21	0,29	1,19	0,30	1,19	0,27	1,27	0,28
Nioval 47																	
12	1,49	0,42	1,73	0,47	1,25	0,41	1,80	0,51	močna	1,50	0,38	1,67	0,38	1,55	0,55	1,9	0,50
15	1,68	0,40	1,94	0,39	1,39	0,36	1,95	0,37	srednja								

A — poprečje 15 meritev

B — največja razlika v sosednih plasteh ferita in perlita

trakavosti še širše in daljše plasti z mešano zelo drobnozrnatno mikrostrukturo.

Za plošči 10 in 12, ki sta imeli najbolj izrazito sekundarno trakavost in temu ustrezno stopničasto porazdelitev mangana in silicija v perlitnih in feritnih plasteh (sl. 8 in 12), smo opredelili, kako na trakavost in homogenost (porazdelitev mangana in silicija) vpliva homogenizacija pri 1250° C. Vzorce smo ogrevali 1, 4 in 8 ur, ohladili na zraku in normalizirali, ali pa vzorce homogenizirane 8 ur po ogrevanju za normalizacijo ohladili v peči.

Že po en uri homogenizacije sekundarne trakavosti ni bilo več (sl. 9 in 13), porazdelitev mangana in silicija pa je bila enakomerna. Le v širokih plasteh v jeklu Nioval 47 je ostajala koncentracija mangana in silicija mnogo višja. Podobno je bilo po 8-urni homogenizaciji (sl. 10 in 14).

V homogeniziranem jeklu, ki je bilo po normalizaciji ohlajeno v peči, se je ponovno razvila sekundarna trakavost (sl. 11) in nastale so razlike v koncentraciji mangana med feritnimi in perlitnimi trakovi (tab. 2). To pomeni, da prihaja med počasno premeno avstenita pri ohlajanju jekla v peči do prerazdelitve mangana v sicer homogenem avstenitu. V preostalem avstenitu se skupno z ogljikom koncentrirata tudi mangan. Torej se plastasta porazdelitev ferita in perlita izoblikuje zaradi premajhne homogenizacije dendritskih izcej, pri počasnem ohlajanju pa tudi zaradi počasne transformacije avstenita, ko se preostali avstenit, oz. perlit ponovno obogati z manganom. Širše izceje z mešano mikrostrukturo so v jeklu Nioval 47 zelo obstojne in potreben je dolg čas

za homogenizacijo. Če upoštevamo, da so difuzijske poti v slabih tolikokrat večje kot v ploščah, kolikoršna je razmerje debelin, je jasno, da s tehnološko sprejemljivo homogenizacijo lahko odpravimo kristalne izceje in s tem zmanjšamo sekundarno trakavost, da pa je skoraj nemogoče odpraviti večje blokovne izceje. V blokovni izceji na sliki 14 je povečana ca za 20 % tudi koncentracija vanadija in niobija. Pazljivo opazovanje pa v njej pokaže tudi drobna zrna evtektičnega niobijevga karbonitrida.

Pri ohlajanju na zraku s temperature normalizacije so v izceji nastala drobna zrna bainitnega videza, pri ohlajanju v peči pa perlitna in feritna

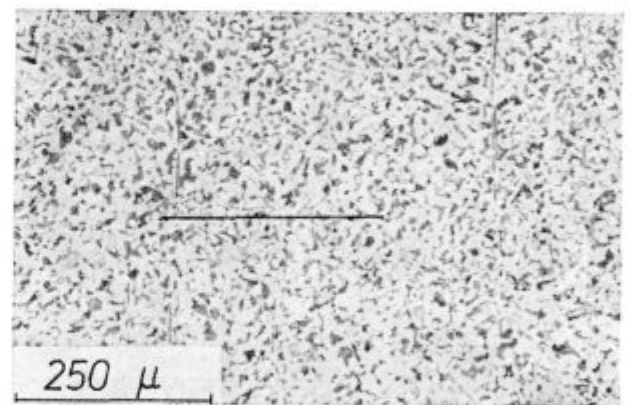
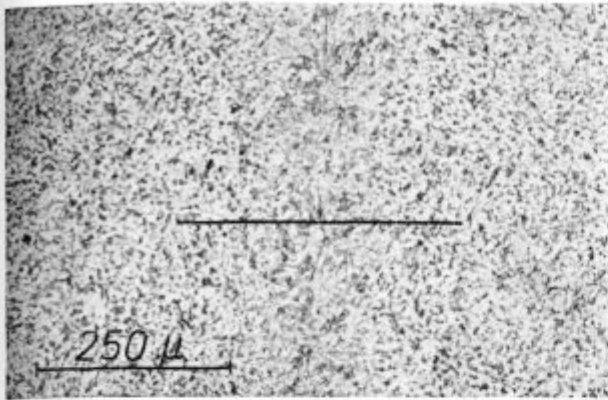

 Slika 9
Isto jeklo kot sl. 8. Homogenizacija 1 uro pri 1250 °C in normalizacija

 Fig. 9
The same as Fig. 8. Homogenized 1 hour at 1250 °C and normalized.

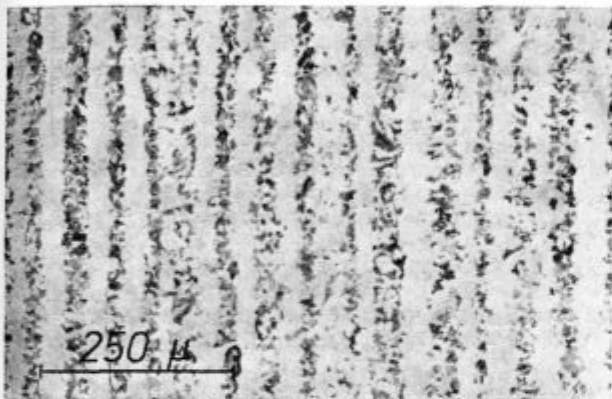


Slika 10

Mikrostruktura jekla Nival 47, plošča 12. Homogenizacija 8 ur pri 1250 °C in normalizacija

Fig. 10

Microstructure of Nival 47 steel, plate 12. Homogenized 8 hours at 1250 °C and normalized.

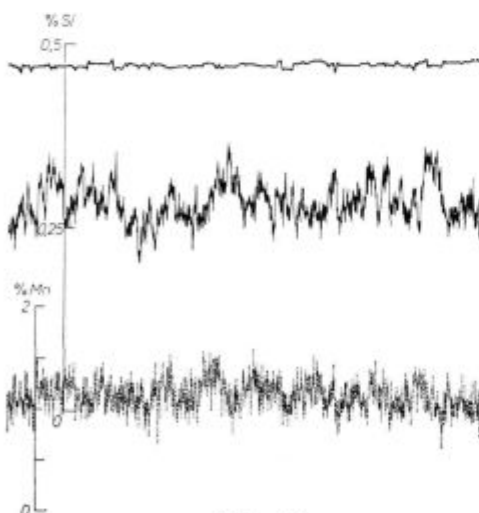


Slika 11

Isto jeklo kot sl. 8. Homogenizacija 8 ur pri 1250 °C in normalizacija z ohladiitvijo v peči

Fig. 11

The same as Fig. 8. Homogenized 8 hours at 1250 °C and normalized with cooling in furnace.

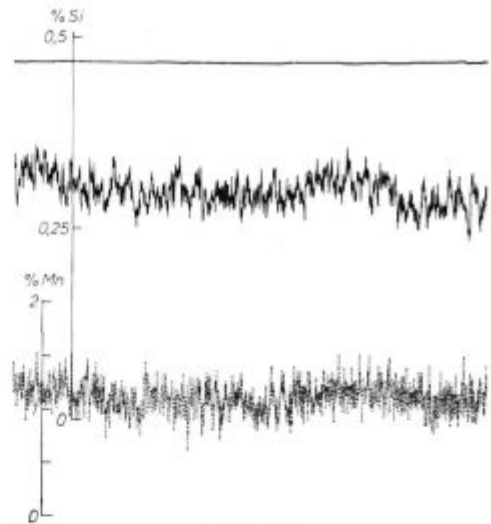


Slika 12

Porazdelitev mangana in silicija na črti, ki je vrisana na sl. 8

Fig. 12

Distribution of manganese and silicon on the line drawn in Fig. 8.

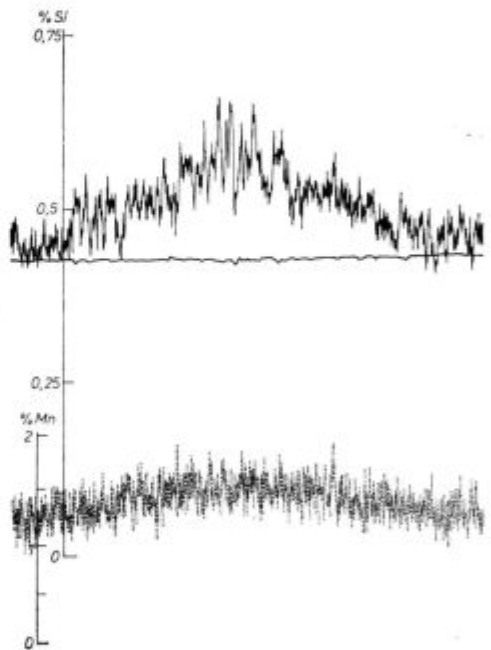


Slika 13

Porazdelitev mangana in silicija na črti, ki je vrisana na sl. 9

Fig. 13

Distribution of manganese and silicon on the line drawn in Fig. 9.



Slika 14

Porazdelitev mangana in silicija na črti, ki je vrisana na sl. 10

Fig. 14

Distribution of manganese and silicon on the line drawn in Fig. 10.

zrna, ki po velikosti izrazito odstopajo od okolice (sl. 15). Vzroka sta lahko dva: izceja ima manj niobija in vanadija v obliki, ki učinkovito preprečuje rast avstenitnih in feritnih zrn, ali pa se transformacija v izceji izvrši pri višji temperaturi. Ker je v izceji več niobija in vanadija, je bolj groba struktura v blokovni izceji posledica

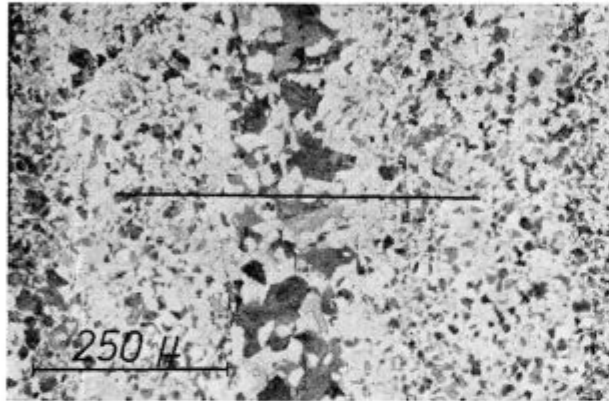
višje temperature premene, verjetno zaradi povečane količine silicija in mogoče ogljika v njej (sl. 16).

4.3. Lastnosti jekel

4.3.1. Lastnosti jekel prečno na smer valjanja

Lastosti smo določili v poslanem stanju in po normalizaciji. Prikazane so na sliki 17 v odvisnosti od količine vključkov.

V vseh jeklih sta trdnost in meja plastičnosti neodvisni od količine sulfidnih vključkov. V je-

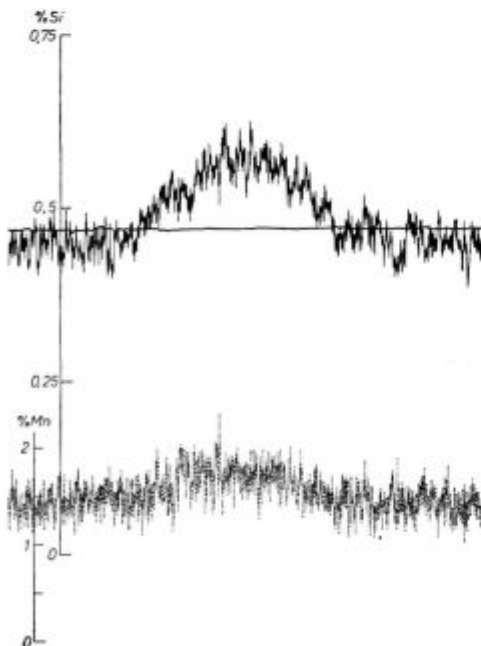


Slika 15

Isto jeklo kot sl. 10. Homogenizacija 8 ur pri 1250 °C in normalizacija z ohladiitvijo v peči

Fig. 15

The same as Fig. 10. Homogenized 8 hours at 1250 °C and normalized by cooling in furnace.

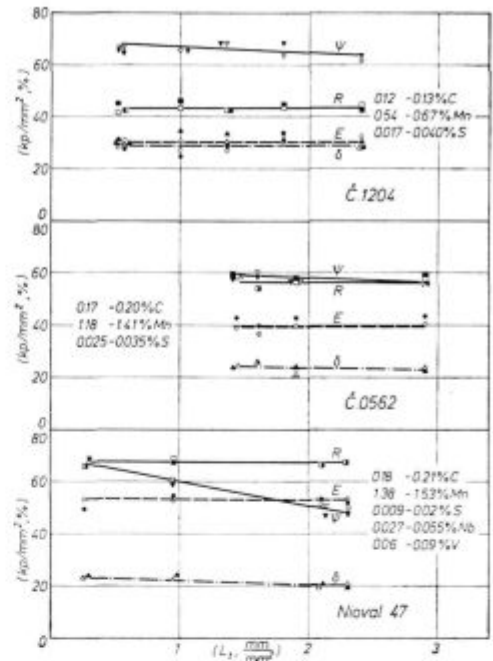


Slika 16

Porazdelitev mangana in silicija na črti, ki je vrisana na sl. 15

Fig. 16

Distribution of manganese and silicon on the line drawn in Fig. 15.

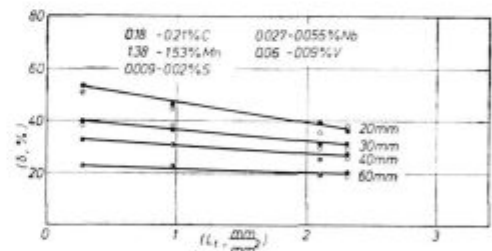


Slika 17

Odvisnost med količino vključkov (L_i) in mejo plastičnosti (E), natezno trdnostjo (R), raztežkom (δ) in kontrakcijo (ψ) za vsa tri jekla. Poslano stanje — bele točke, normalizirano stanje — črne točke

Fig. 17

Relationship between the amount of inclusions (L_i) and the yield stress (E), tensile strength (R), elongation (δ), and the reduction of area (ψ) for all the three steel. The original samples — circles, the normalized samples — dots.



Slika 18

Jeklo Nival 47. Vpliv količine vključkov na raztezek pri različnih merilnih dolžinah

Fig. 18

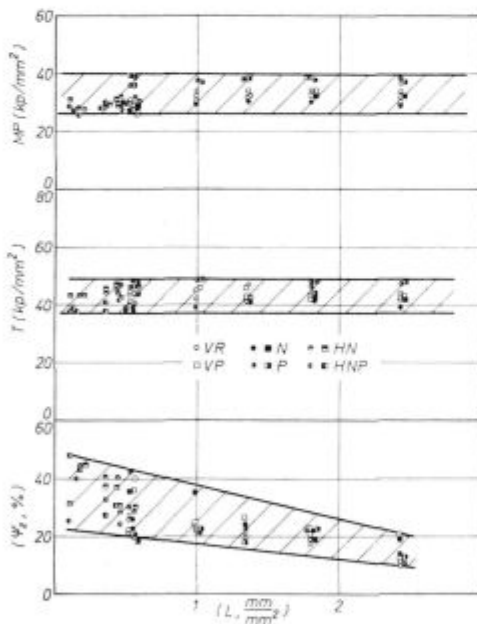
Nival 47 steel. Influence of the amount of inclusions on the elongation at various measuring lengths.

klih Č 0562 in Č 1204 je od količine neodvisni tudi raztezek, kontrakcija pa se nekoliko zmanjša pri naraščanju količine vključkov. Podobno velja za raztezek v jeklu Nival 47, medtem ko kontrakcija v tem jeklu močno pada z naraščanjem količine vključkov. Čim manjša je merilna dolžina za določitev raztezka, tem bolj izrazit je negativen učinek naraščanja količine sulfidnih vključkov (sl. 18). To potrjuje podatek iz literature, da vključki vplivajo predvsem na deformacijske procese, ki potekajo v kontrakcijskem likaju raztržnih preizkusov, zato je tudi kontrakcija najbolj objektivno merilo za ovrednotenje vpliva vključkov na lastnosti jekla v smeri debeline.

4.3.2. Lastnosti v smeri debeline

Na slikah 19, 20 in 21 so prikazane lastnosti vseh treh vrst jekel v odvisnosti od količine vključkov v varjenem stanju, v normaliziranem stanju, v poboljšanem stanju, v homogeniziranem in normaliziranem stanju ter v homogeniziranem in po normalizaciji v peči ohlajenem stanju. S toplotno obdelavo smo enkrat izključili vpliv varilnih parametrov (primerjava varjenega in normaliziranega stanja), vpliv trakaste mikrostrukture pri nespremenjeni količini sulfidnih vključkov (normalizirano in poboljšano jeklo) in vpliv trakaste mikrostrukture (normalizirano jeklo ter homogenizirano in normalizirano jeklo ter homogenizirano in po normalizaciji ohlajeno v peči).

Ne glede na precejšen raztros velja, da zmanjšanje količine vključkov (izražene s celotno dolžino vključkov, daljših od 0,01 mm) izrazito poveča z kontrakcijo v ploščah, kjer je ta odvisna od sulfidnih in ne od oksidnih vključkov. Ta ugotovitev je potrjena pri vseh treh jeklih in se ne ujema s trditvijo (11), da homogenizacija pri 1300°C ne izboljša z kontrakcije v smeri debeline. Očitno torej zmanjšanje dolžine vključkov in povečanje razdalje med njimi znatno poveča pla-

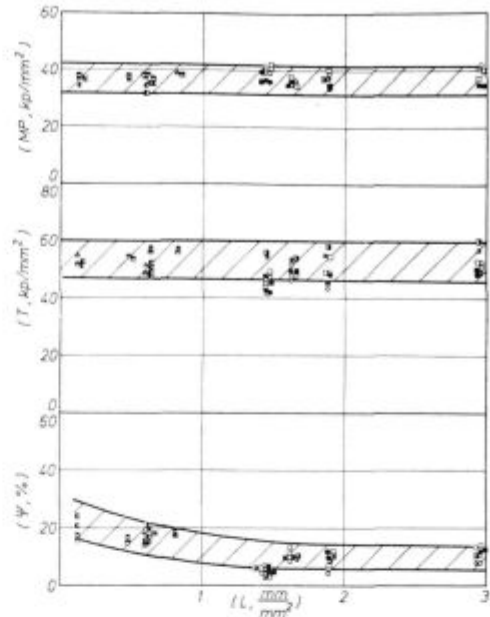


Slika 19

Jeklo Č. 1204. Vpliv količine sulfidnih vključkov na mejo plastičnosti (MP), trdnost (T) in kontrakcijo v smeri debeline (ψ) v varjenem stanju in po različnih toplotnih obdelavah. Oznake: VR-ročno varjeno; VP-varjeno pod praškom; N-normalizirano; P-poboljšano; HN-ogrevano 8 ur pri 1250°C in normalizirano; HNP-ogrevano 8 ur pri 1250°C, normalizirano in ohlajeno v peči.

Fig. 19

Č. 1204 steel. Influence of the amount of sulphide inclusions on the yield stress (MP), strength (T), and area reduction in the direction of thickness (ψ) as welded, and after various heat treatments. Marks: VR — hand-welded, VP — submerged arc welded, N — normalized, P — tempered, HN — heated 8 hours at 1250°C and normalized, HNP — heated 8 hours at 1250°C, normalized and cooled in furnace.

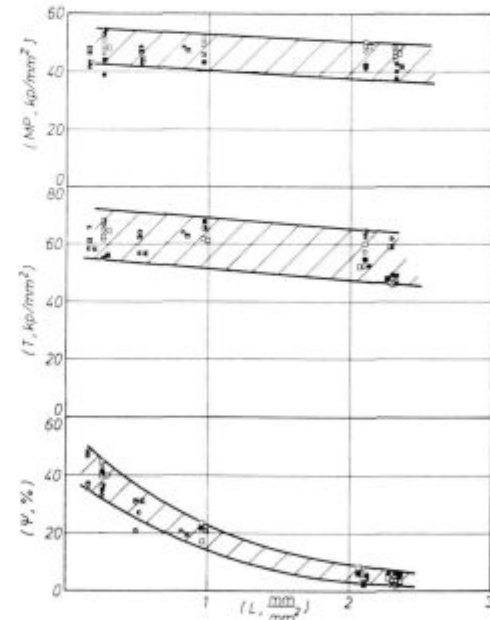


Slika 20

Jeklo Č. 0562. Enako kot sl. 19

Fig. 20

Č. 0562 steel. The same as Fig. 19.



Slika 21

Jeklo Nival 47. Enako kot sl. 19

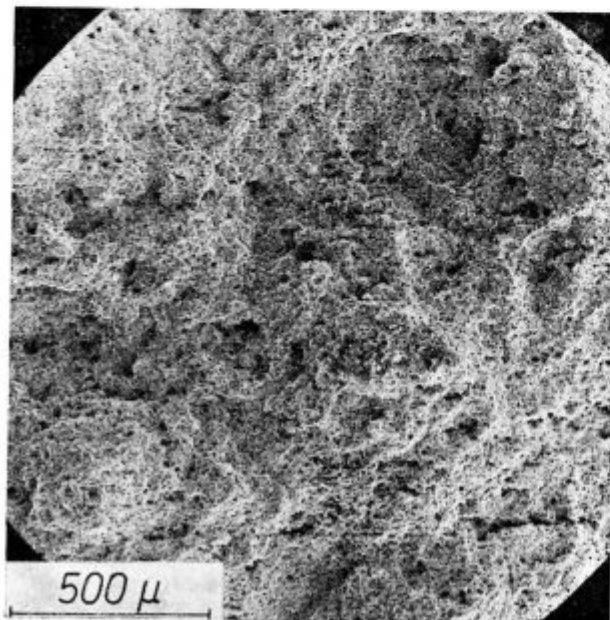
Fig. 21

Nival 47 steel. The same as Fig. 19.

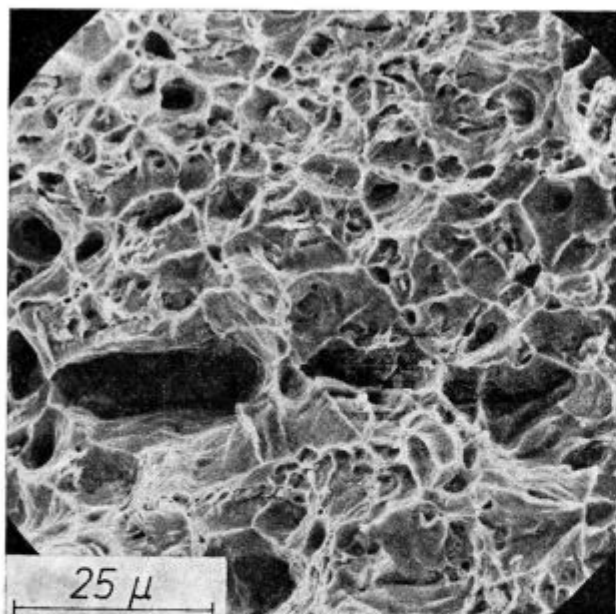
stično sposobnost jekla, če ga vlečemo v z smeri. Odprava trakaste porazdelitve perlita in ferita s poboljšanjem pri nespremenjeni dolžini sulfidnih vključkov in nastanek trakaste porazdelitve z ohlavitvijo v peči homogeniziranega jekla po normalizaciji ne spreminita kontrakcije jekla. Kaže torej, da je zanemarljiv vpliv trakaste porazdelitve ferita in perlita, pa naj bo ta neposredna posledica nezadostne homogenizacije jekla, ali

pa posledica razmešanja pri ohlajanju jekla po normalizaciji v peči, v primerjavi z vplivom količine sulfidnih vključkov.

Naraščanje količine sulfidnih vključkov ne vpliva na mejo plastičnosti in trdnost jekel Č 1204 in Č 0562 v smeri debeline. Razmerja dosega naslednje vrednosti: Jeklo Č 1204: meja plastičnosti in trdnost od 0,85 navzgor, jeklo Č 0562 pa od približno 0,80 navzgor. Pri jeklu Nioval 47 je pri-



Slika 22 a
Fig. 22 a



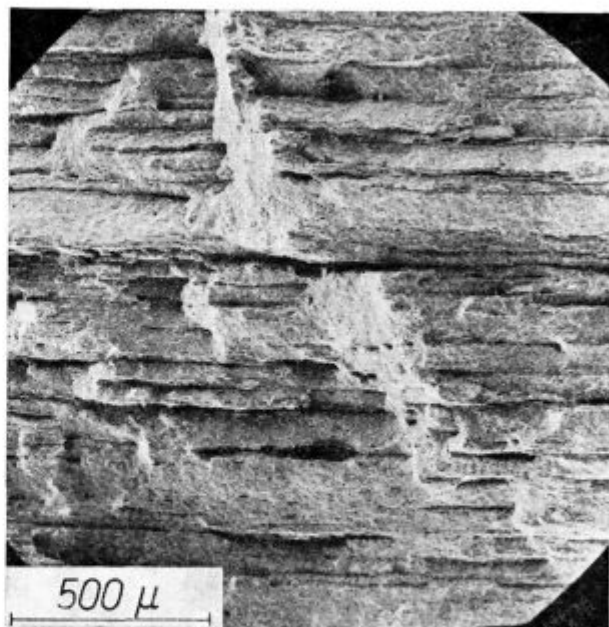
Slika 22 b
Fig. 22 b

Slika 22 a in b

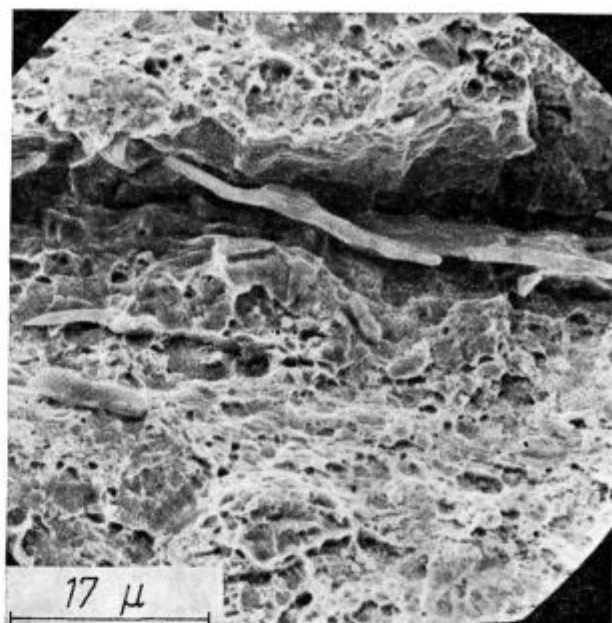
Prelom jeklene plošče s kratkimi sulfidnimi vključki prečno na smer valjanja

Fig. 22 a and b

Fracture of steel plate with short sulphide inclusions transversally to the direction of rolling.



Slika 22 c
Fig. 22 c



Slika 22 d
Fig. 22 d

Slika 22 c in d

Enako kot sl. 22, plošča z dolgimi sulfidnimi vključki

Fig. 22 c and d

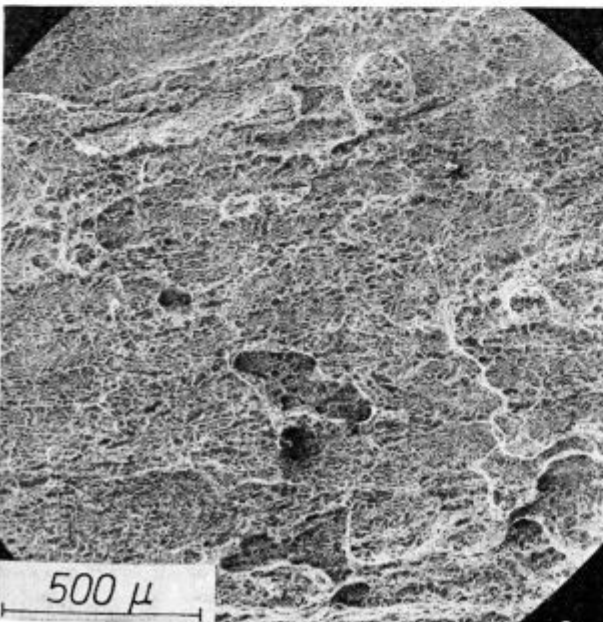
The same as Fig. 22, plate with long sulphide inclusions.

merjava manj točna, ker se trdnostne lastnosti zmanjšujejo z naraščanjem količine vključkov. Pri ca 1 mm/mm² sulfidnih vključkov dosega razmerje meje plastičnosti in trdnosti od 0,85 navzgor. Pri vseh jeklih so izjema preizkušanci, pri katerih smo na prelomu našli nenormalno mnogo oksidnih vključkov, ki so neposredno vplivali na nukleacijo in širjenje loma. Pri vrednotenju meje plastičnosti in trdnosti v smeri debeline je potreb-

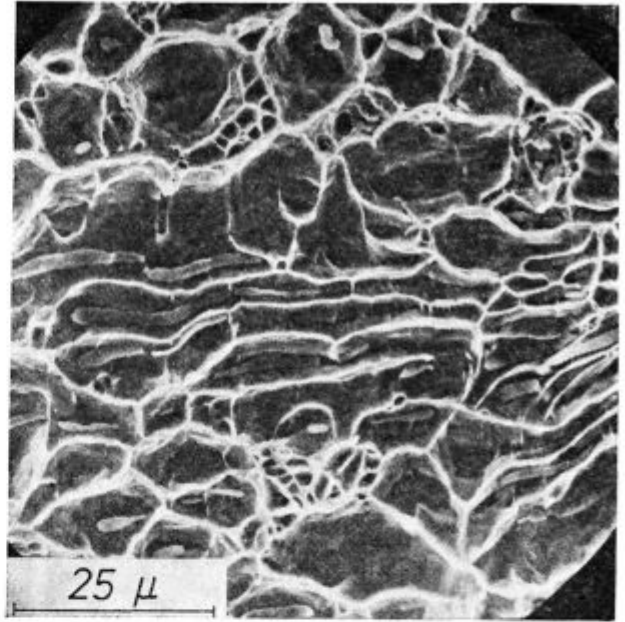
no upoštevati, da je raztros na slikah 19, 20 in 21 povečan tudi zaradi razlik, ki izhajajo iz različne toplotne obdelave jekel.

V vseh jeklih se zmanjšuje z kontrakcija z naraščanjem količine sulfidnih vključkov. Raztros vrednosti, ki so bile izmerjene na preizkušancih iste plošče, je tudi posledica razlike v količini oksidnih vključkov. Na slikah 19, 20 in 21 vidimo, da dosegamo pri količini sulfidnih vključkov 1 mm/mm^2 najmanjšo z kontrakcijo 15 %, pri jeklih Č 1204 in Nioval 47, ne pa pri jeklu Č 0562. Vzrok za to razliko je trdota, oz. plastičnost in velikost zrn ferita. Ferit v jeklu Č 1204 ima manj mangana in silicija ter približno enako velikost zrn kot v jeklu Č 0562, zato je mehkejši, bolj plastičen in ima večjo deformacijsko sposobnost pri enakih pogojih za nukleacijo razpoke (količini sulfidnih vključkov). Ferit v jeklu Nioval 47 je enako trd ali pa trši, kot v jeklu Č 0562, vendar ima znatno manjša zrna zaradi afinacijskega učinka niobijevega karbonitrida, zato ima večjo deformacijsko sposobnost pri enakem številu začetkov dekohezije. Če primerjamo jekli Č 1204 in Nioval 47, predvsem najvišje vrednosti, pri katerih je zmanjšan na minimum vpliv oksidnih vključkov na prelom, lahko sklepamo, da pri manjši količini vključkov manjša kristalna zrna kompenzirajo vpliv razlike v trdoti ferita, pri večjih količinah vključkov pa je z kontrakcija večja v jeklu Č 1204.

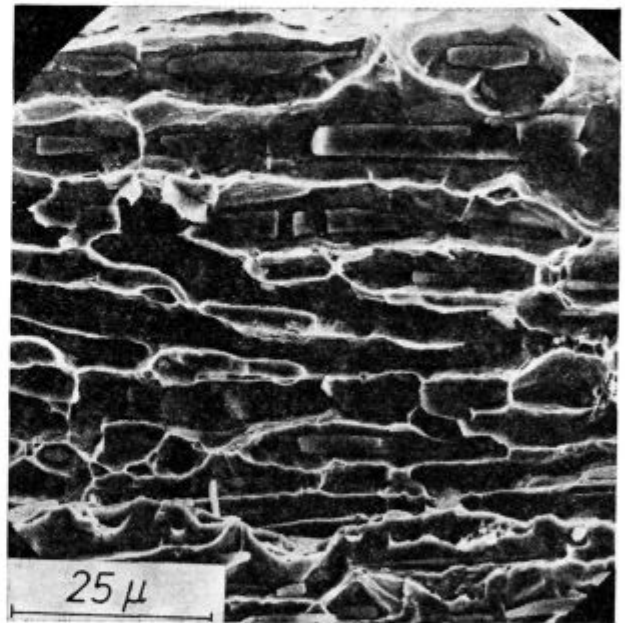
Velja, da je v varjenem stanju nekoliko večja z kontrakcija na preizkušancih iste plošče, ki so bili varjeni pod praškom. To se ujema z dognanjem (22), da je pri okvirnem varilnem preizkusu potrebna tem večja napetost za začetek loma, čim več energije je bilo uporabljeno za varjenje jekla.



Slika 23 a
Fig. 23 a



Slika 23 b
Fig. 23 b



Slika 23 c
Fig. 23 c

Slika 23 a, b in c

Prelom preizkušancev z raztržno osjo v smeri debeline plošč (lamelarni prelom), nastal zaradi dekohezije po sulfidnih vključkih

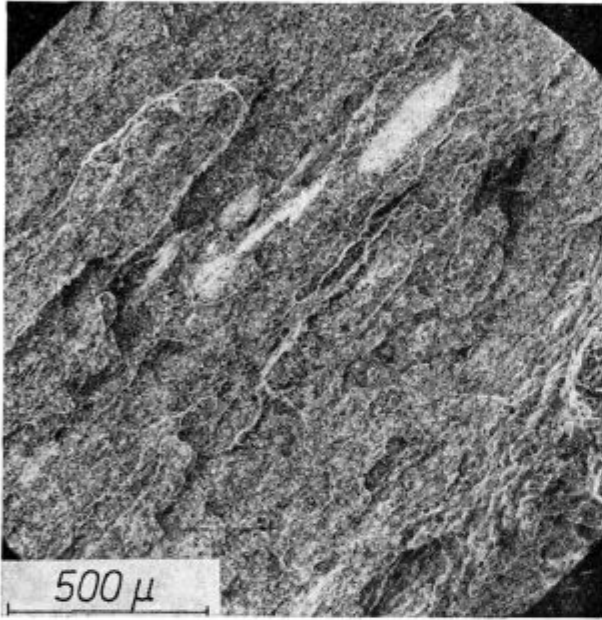
Fig. 23 a, b, and c

Fracture of samples which axis was parallel to the plate thickness (lamellar fracture). It was caused by decohesion of sulphide inclusions.

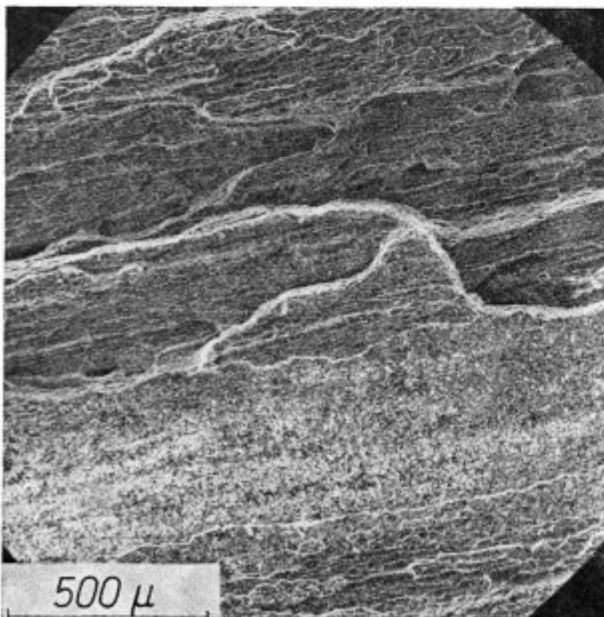
4.3.3. Značilnosti prelomne površine preizkušancev v smeri debeline

V makroskopskem in v mikroskopskem merilu pokažejo prelomi in presek preizkušancev nekatere značilnosti, ki omogočajo, da opredelimo,

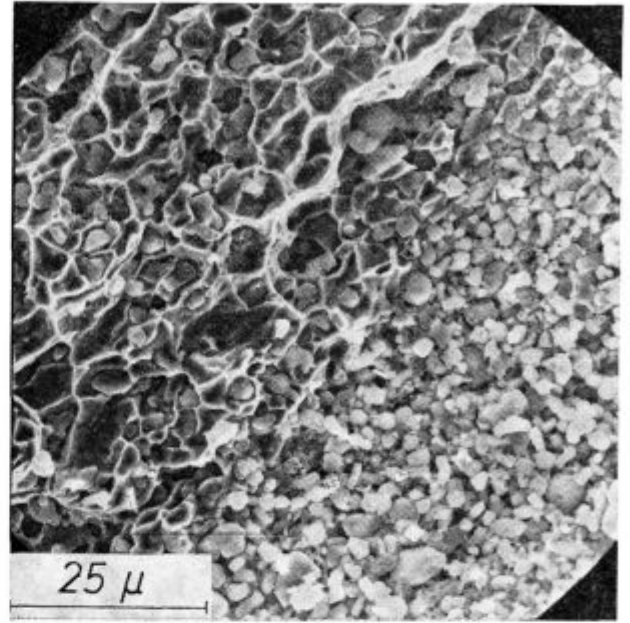
kateri dejavniki so aktivno sodelovali ali celo prevladovali pri širjenju dekohezije. Na preizkušanih prečno na smer valjanja je bil lom popolnoma žilav. Na njem je bilo tem več značilnih brazd, čim več je bilo sulfidnih vključkov v jeklu (sl. 22). Prelomna površina v smeri debeline je neodvisna od pogojev varjenja in od ev. normalizacije ter značilna samo za količino sulfidnih in oksidnih vključkov v ploščah, oz. za ev. prelom preko močno izcejanih področij. Na prelomu je mogoče razločiti 2 značilni vrsti dekohezije: de-



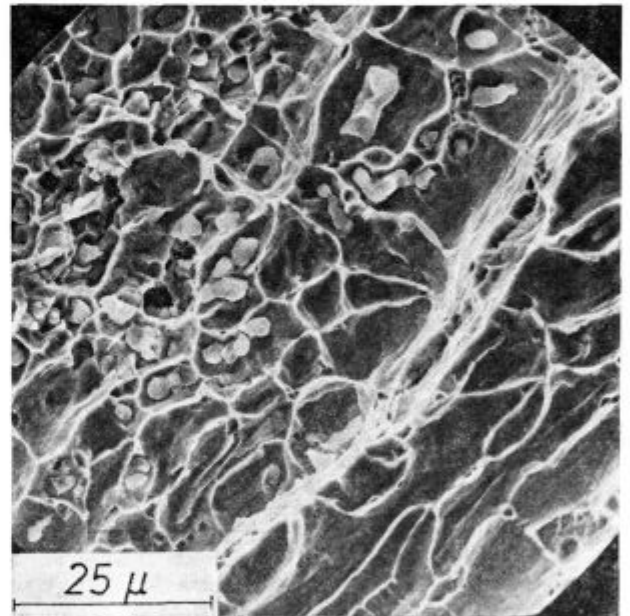
Slika 24 a
Fig. 24 a



Slika 24 b
Fig. 24 b



Slika 24 c
Fig. 24 c



Slika 24 d
Fig. 24 d

Slika 24 a, b, c in d

Lamelarni prelom s svetlejšimi področji dekohezije preko področij z gostimi oksidnimi vključki. Posnetki pri večji povečavi kažejo obliko preloma na mejah med različno gostimi oksidnimi vključki, oz. na meji med oksidnimi in sulfidnimi vključki

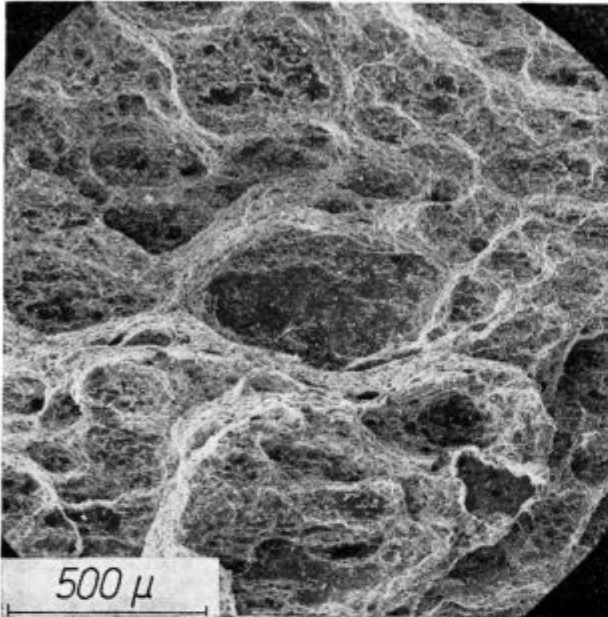
Fig. 24 a, b, and c

Lamellar fracture with brighter areas of decohesion over regions of dense oxide inclusions. Pictures at greater magnifications show the shape of fracture on boundaries between variously dense oxide inclusions, or on the boundary between oxide and sulphide inclusions.

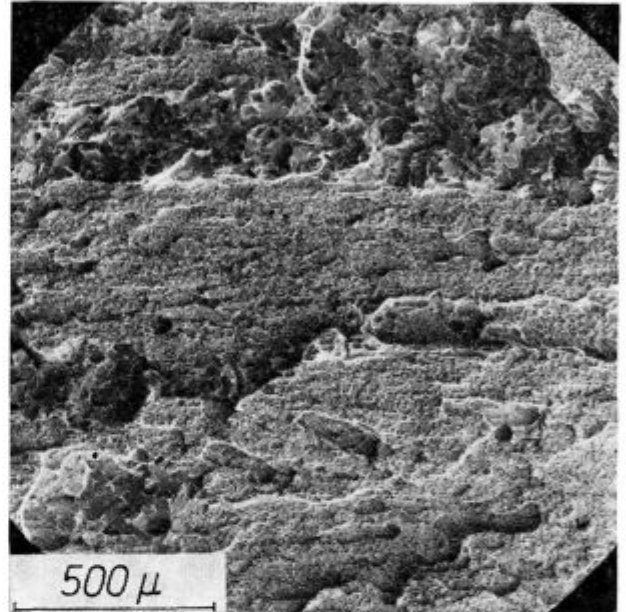
kohezija zaradi sulfidnih vključkov in dekohezija zaradi oksidnih vključkov, na preseku pa se razloči še dekohezija po plasteh blokovnih izcej.

V makroskopskem merilu je prelom, ki je nastal predvsem zaradi sulfidnih vključkov, svetleč in že pri majhni povečavi se na njem opazijo plitve in različno dolge ovalne jamice, nastale pri strižni deformaciji jekla (sl. 23). Jamice so paralelne le, če ima jeklo precej dolge sulfidne vključke. V jamicah se često najdejo večji ali

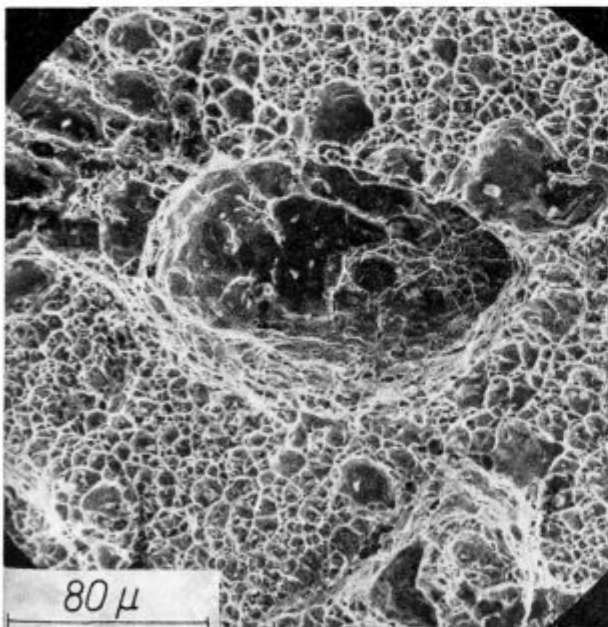
manjši ostanki sulfidnih vključkov in so večje kot vključki, zato ker so se širile s strižno deformacijo jekla okoli njih. Jamice so tem večje, čim večja je deformacijska sposobnost jekla, to je, čim mehkejši je ferit in čim manj je v jeklu vključkov. Ovalne jamice, ki so nastale zaradi sulfidnih vključkov, so ločene z grebeni ali trikotnimi stiki, na katerih so še manjše okrogle jamicice, ali pa z ostrimi grebeni, na katerih je prišlo



Slika 25 a
Fig. 25 a



Slika 26 a
Fig. 26 a



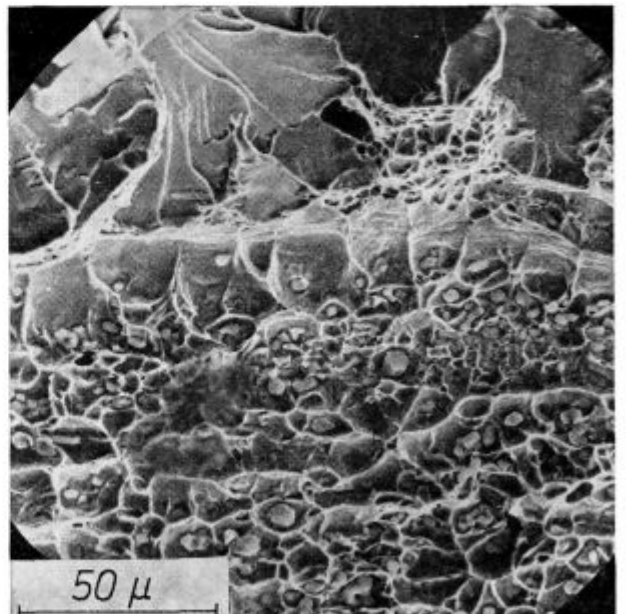
Slika 25 b
Fig. 25 b

Slika 25 a in b

Lamelarni prelom s področji dekohezije preko silikatnih vključkov

Fig. 25 a and b

Lamellar fracture from the region of decohesion over silicate inclusions.



Slika 26 b
Fig. 26 b

Slika 26 a in b

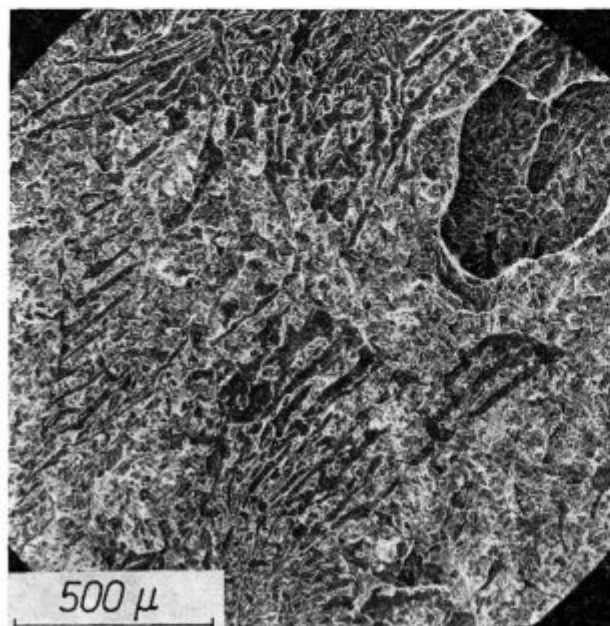
Lamelarni prelom z deli površine s krhko dekohezijo

Fig. 26 a and b

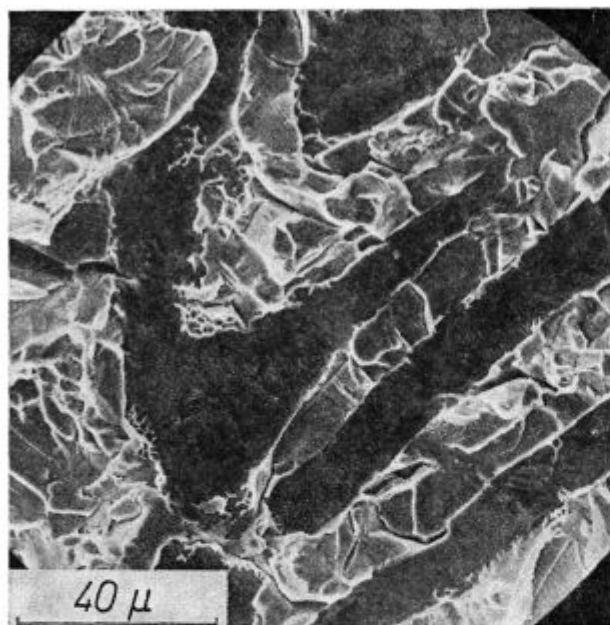
Lamellar fracture with parts of fragile decohesion.

do polnega prestriženja jekla med posamičnimi sulfidnimi vključki.

Druga oblika preloma je nastala zaradi dekohezije preko zrnatih oksidnih vključkov, ki so razporejeni v večje zaplate in med seboj malo oddaljeni. Taka prelomna površina je precej ravna in svetla (sl. 24). Pri opazovanju v mikroskopu



Slika 27 a
Fig. 27 a



Slika 27 b
Fig. 27 b

Slika 27 a in b

Lamelarni prelom s področij dekohezije preko velikih sulfidnih vključkov v jeklu tipa C.0562.

Fig. 27 a and b

Lamellar fracture from the regions of decohesion over great sulphide inclusions in C.0562 steel.

je videti številne zrnate vključke Al oksida v okroglih jamicah, med njimi pa posamična področja normalnega strižnega preloma z večjimi jamicami, tam, kjer so bili vključki redkejši. Posamična večja ali manjša polja prekriva gost sloj vključkov zrnate oblike, ki je ločil jeklo v plošči v dva nepovezana dela. Zato med vključki ni znakov dekohezije kovine v obliki tankih sten deformacijskih jamic.

Praviloma imajo preizkušanci, kjer dosega delež take površine približno 20 %, majhno z kontrakcijo in odstopajo od paralelk, na katerih je le prelom preko sulfidov. To kaže, da so zrnati oksidni vključki često razporejeni v plasti, ki močno znižujejo deformacijsko sposobnost jekla pri obremenitvi v smeri debeline.

Prelom jekla s silikatnimi vključki in sulfidnimi vključki je pokazal značilnosti preloma zaradi le-teh, katere smo že opisali, ter večje in manjše izolirane zaplate s precej gladko površino (sl. 25). Temnejši ostanki vključkov na teh delih preloma so bili identificirani kot silikati, zato je gotovo, da so zaplate odtisi različno velikih silikatnih vključkov. Pazljiv pregled v mikroskopu pokaže, da so zaplate često prepletene z majhnimi področji zelo drobnih jamic. To je znak, da je prišlo na teh mestih do plastične deformacije jekla. Z kontrakcija plošč, ki so imele na prelomu posamične izolirane odtise silikatnih vključkov, je bila zadovoljiva.

Na prelomnih preizkušancih smo zelo redko našli področja krhke dekohezije, četudi je bila kontrakcija zelo majhna. Imela so značilno razkolno površino, ki je izrazito odstopala od okolice (sl. 26). Verjetno predstavljajo ti deli prelom preko področij, kjer je bila deformacijska sposobnost jekla zmanjšana zaradi izcejanja, o katerem smo že razpravljali.

Zanimivo je, da na taki krhki površini ni opaziti nobenih znakov vključkov. To lahko pomeni dvoje: dekohezija se izvrši le po kovini ali pa razkolna razpoka preseka vključke brez zastanka ali motnje. Opredelitev pravilne razlage presega namen tega dela, zato tega vprašanja nismo proučevali, čeprav je brez dvoma zanimivo s stališča mehanizma loma.

V ploščah iz jekla Č 0562 z velikimi sulfidnimi vključki smo opazili tudi dele površine, kjer se je jeklo med posamičnimi vključki prelomilo s krhko dekohezijo. Zato so bili vključki ločeni z pasovi krhkega loma (sl. 27). Strižna dekohezija se je izvršila le na majhnih izoliranih področjih, kjer so nastali otočki drobnih jamic. To obliko preloma je potrebno najverjetneje pripisati nezadostni deformacijski sposobnosti jekla med vključki, zato ker ima ferit v jeklu Č 0562 zaradi višjega legiranja toliko manjšo deformacijsko sposobnost, da se v primerih, ko je vpliv vključkov najbolj neugoden, ne deformira, ampak se razkolje.

Na obruskih, ki so bili pripravljene pravokotno na površino preloma, je bilo razločiti značilno terasasto obliko preloma (sl. 28). Čim večja je bila kontrakcija, v tem večji oddaljenosti od preloma so nastajale votline okoli sulfidnih vključkov. Značilno je, da dekohezija ne zapusti širokih plasti izcej, katere smo označili kot blokovne, dokler teh ni bilo konec in je šele nato preskoči na drugi nivo. Izceje torej olajšajo širjenje razpoke; najverjetneje zato, ker je ferit trši in manj plastičen zaradi povečane koncentracije silicija in mangana v njem, ne pa zaradi povečane gostote sulfidnih ali drugih vključkov.

5. SKLEPI

V opisu in komentarju posamičnih točk poročila smo izoblikovali nekatere sklepe in ugotovitve, zato bomo tu povzeli samo tiste, ki se nam zdijo najvažnejši.



Slika 28 a

Raztržni preizkušanelec z osjo v smeri debeline, presek pravokotno na površino lamelnega loma

Fig. 28 a

Tearing sample with axis in the thickness direction, the section is perpendicular to the surface of lamellar fracture.



Slika 28 b

Značilen potek lamelarne dekohezije ob izceji silicija in mangana v jeklu Nioval 47

Fig. 28 b

Characteristic course of lamellar decohesion at the segregation of silicon and manganese in Nioval 47 steel.

— kontrakcija jeklenih plošč pri raztržnem preizkusu v smeri debeline je odvisna od količine sulfidnih vključkov, ki je izražena z dolžino sulfidnih vključkov, daljših od 0,01 mm na enoto površine. Ko se ta dolžina s homogenizacijo zmanjša, se poveča tudi z kontrakcija jeklenih plošč;

— količina sulfidnih vključkov je tem večja, čim več je žvepla v jeklih, vendar nanjo bistveno vplivajo pogoji toplega valjanja plošč. Zato pri enaki količini žvepla in približno enaki debelini narašča količina sulfidnih vključkov od kvalitete Č 1204, preko Č 0562 do kvalitete Nioval 47. Velja torej, da je potrebno pri prizadevanju, da imajo jeklene plošče minimalno predpisano kontrakcijo v smeri debeline, opredeliti učinek zmanjšanja količine žvepla v jeklu in učinek pogojev toplega valjanja;

— pri določeni količini sulfidnih vključkov slojavnost v porazdelitvi ferita in perlita, pa naj bo posledica nezadostne homogenizacije ali prepočasne transformacije avstenita, ne vpliva pomembno na z kontrakcijo jeklenih plošč;

— velika količina oksidnih vključkov, ki so blizu skupaj v večjih ali manjših zaplatah, in izceje mangana in silicija zmanjšujejo z kontrakcijo jeklenih plošč, zato ker olajšajo napredovanje dekohezije.

To delo je bilo izvršeno z materialno podporo raziskovalne skupnosti Slovenije, SŽ — Železarne Jesenice, Metalne — Maribor in Udruženja jugoslovenskih železara, Beograd.

Stetje in meritve vključkov je izvršila Jakupović Marjeta.

Literatura

1. U. Lotter in L. Meyer: *Metals Technology*, 1977, št. 1, 27—31
2. H. Herö, J. Evensen in J. D. Embury: *Canadian Metallurgical Quarterly* 14, 1975, št. 2, 117—122
3. E. Spetzler in J. Wendorf: *Radex Rundschau*, 1976, št. 1, 595—608.
4. F. Vodopivec, J. Arh, T. Lavrič in B. Ralić: Poročilo MI Ljubljana, št. 493/1976
5. L. Kosec, J. Žvokelj in F. Vodopivec: *Zeitschrift für Metallkunde* 63, 1972, št. 1, 29—32
6. F. Vodopivec, M. Gabrovšek, I. Rak in J. Žvokelj: Poročilo MI Ljubljana, št. 491/1977
7. Sub commission IX-F for Complementary information for lamellar tearing: IIV doc. IX-847-1973
8. S. Kanazawa in sod.: IIV doc. IX-873-1974
9. S. Kanazawa in sod.: IIV doc. IX-873-1973
10. G. Benard, M. Grumbach in F. Mollèxe: *Metals Technology*, 1975, št. 11, 512—521
11. W. Dahl, H. Hengsternberg in C. Düren: *Stahl und Eisen* 88, 1968, št. 8, 364—377
12. W. Dahl, T. El Gammal n L. Lorentz: *Archiv für Eisenhüttenwesen* 44, 1973, št. 11, 843—846
13. P. C. Wilson, Y. V. Murty, T. Z. Kattanin in R. Mehrabian: *Metals Technology* 1975, št. 6, 241—244
14. A. Alto in E. Tusino: *La Metallurgia Italiana* 1975, št. 12, 679—684
15. L. Meyer, H. E. Bühler in F. Heisterkamp: *Thyssenforschung* 3, 1971, št. 1—2, 8—43
16. L. Meyer, G. Arncken, U. Schrapa in F. Heisterkamp: *Stahl und Eisen* 96, 1976, št. 17, 833—840

17. J. I. Matrosov in I. E. Poljakov: Stalj, 1976, št. 2, 162—167
 18. T. J. Baker, K. B. Goose in J. A. Charles: Metals Tehnologija 1976, št. 4, 183—193
 19. F. Vodopivec, J. Arh in B. Ralić: Železarski zbornik 9, 1975, št. 3, 167—179
 20. M. Wahlster, K. Forch in H. Heimbach: Stahl und Eisen 91, 1971, št. 19, 1080—1091
 21. Y. Ito in K. Besuyo: IIW doc. IX—631—1969
 22. R. D. Stout: Metals Technology Conference, Sydney, 1976, 3—2—1 do 3—2—11

ZUSAMMENFASSUNG

In Artikel ist eine Literaturübersicht und die Beschreibung der ursprünglichen Untersuchungen dreier Stahlsorten mit einer ungefähren Zusammensetzung: 0,14 % C, 0,56 % Mn und von 0,017 bis 0,040 % S; 0,18 % C, 1,35 % Mn und von 0,025 bis 0,034 % S und 0,20 % C, 1,45 % Mn und von 0,009 bis 0,020 % S und der Blechdicke zwischen 16 und 40 mm dargegeben. Das Verhältnis zwischen dem Schwefelgehalt, der Sulfidlänge in mm/mm² Oberfläche und der Blechdicke ist bestimmt worden. Die mechanischen Eigenschaften in der Blechdickenrichtung sind im gewalzten, normal geglühten, vergüteten und homogenisierten Zustand bestimmt worden. Folgendes ist festgestellt worden: die durchschnittliche Länge der sulfidischen Einschlüsse ist unabhängig von der Blechdicke in ersten zwei Stahlsorten. Im dritten Stahl, welcher wegen des Niobzusatzes bei niedriger Temperatur gewalzt worden ist, wächst die durchschnittliche Einschlusslänge mit kleiner werdenden Blechdicke. Bei gleichem Schwefelgehalt im Stahl wächst die Menge der sulfidischen Einschlüsse von der ersten bis zu der dritten Stahlsorte. Die Menge der sulfidischen Einschlüsse beeinflusst die Festigkeitseigenschaften der Stähle

in der Dickenrichtung verhältnismässig wenig. Diese erreichen auch beim grössten Schwefelgehalt wenigstens 80 % der Werte quer auf die Walzrichtung. Jedoch verringert die wachsende Sulfideinschlussmenge stark die Einschnürung. Diese ist bei der gleichen Einschlussmenge am niedrigsten bei der zweiten Stahlsorte.

Mit der Normalglühung, Vergütung und Homogenisierung werden die Seigerungen und die zeilenförmige Verteilung von Ferrit und Perlit abgebaut. Bei einer konstanten Menge der sulfidischen Einschlüsse hat auch die Verbesserung des Mikrogefüges und der chemischen Homogenität des Stahles keinen merklichen Einfluss auf die Einschnürung in der Dickenrichtung, wenn die starken Seigerungen, welche auch bei einer 8 stündigen Homogenisierung bei 1250 °C nicht ausgeglichen werden können, ausgenommen werden. Die Form der Probenbruchfläche mit der Achse in der Blechdickenrichtung ist von der Zusammensetzung, der Verteilung und Menge der Einschlüsse im Stahl abhängig. Eine grosse Menge von oxydischen Einschlüssen, wenn diese in Schichten verteilt sind, vermindert stark die Einschnürung.

SUMMARY

The analysis of references and the description of original investigations of three steel with approximate analyses: 0.14 % C, 0.56 % Mn, and 0.017 to 0.040 % S; 0.18 % C, 1.35 % Mn, and 0.025 to 0.034 % S; 0.20 % C, 1.45 % Mn, and 0.009 to 0.02 % S are given. Plate thicknesses varied from 16 to 40 mm. Ratios amount of sulphur (length of sulphide inclusions in mm per mm² of surface) plate thickness were determined. The mechanical properties in the direction of thickness were determined in rolled, normalized, tempered, and homogenized state. The findings are following: the average length of sulphide inclusions is independent of the plate thickness in the first two steels. In the third steel which was rolled at lower temperature due to addition of columbium, the average length of inclusions increased with the reduced plate thickness. At the same amount of sulphur in steel the amount of sulphide inclusions increased from the first to the third steel. The amount of sulphide inclusions influences relatively little the strength properties in the direction of thickness which

value is at least 80 % of that transversely on the direction of rolling even at the highest sulphur content. But the increased amount of sulphide inclusions highly reduced the reduction of area. At the same amount of inclusions, it was the lowest for the second steel.

Normalising and homogenising eliminate segregations and the banded distribution of ferrite and pearlite. At constant amount of sulphide inclusions, the improved microstructure and chemical homogeneity of steel has no perceptible influence on the area reduction in the direction of thickness with the exception of great segregations which could not be equalized even with homogenising 8 hours at 1250 °C. The shape of the fracture surface of samples which axis was parallel to the plate thickness depended on the nature, distribution and amount of inclusions in steel. A great amount of oxide inclusions which are in layers close together highly reduces the reduction of area of steel.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрена библиография и дано описание оригинальных исследований трех сортов стали состава прибл.: 0,14 % C, 0,56 % Mn и от 0,017 до 0,040 % S; 0,18 % C, 1,35 % Mn и от 0,025 до 0,034 % S; и третья сталь с 0,20 % C, 1,45 % Mn и от 0,009 до 0,02 % S выполненных на образцах листовой стали толщиной от 16 до 40 мм. Определено отношение между количеством серы, даны сульфидных включений в мм/мм² поверхности и толщины пластин. Механические свойства в направлении толщины определяли в накатанном, нормализованном, упрочненном и гомогенизированном состоянии. Установлено, что дана сульфидных включений при первых двух сталях в поперечном сечении независит от толщины пластин. При третьей стали, которая вследствие добавки ниобия прокатана при более низкой т-ре оказалось, что средняя дана сульфидных включений увеличивается с уменьшением толщины пластин. При одинаковом количестве серы в стали количество сульфидных включений увеличивается начиная от первой к третьей стали. Количество сульфидных включений имеет сравнительно незначительное влияние на прочность стали в направлении

толщины. Прочность в направлении толщины даже при самом большом содержании серы достигает свыше 80 % прочности направления прокатки. Но увеличение количество сульфидных включений существенно уменьшает сужение. Установлено, что контракция при одинаковом количестве включений при второй от упомянутых исследованных сталей самая низкая. При нормализации, упрочнения и гомогенизации стали можно устранить сегрегации и слоистые распределения феррита и перлита. При постоянном количестве сульфидных включений улучшение микроструктуры и химической гомогенности стали не оказывает заметного влияния на сужение в направлении толщины при исключении, если взять во внимание влияние значительных сегрегаций, которых нет возможности уравнивать также при помощи гомогенизации при 1250 °C в течении 8-ми часов.

Форма поверхности излома образцов в направлении толщины зависит от вида, от распределения и от количество включений. Большое количество включений оксидов, которые находятся вблизи между собой, значительно уменьшают сужение стали.