

# ŽELEZARSKI ZBORNIK

Stran

## VSEBINA

- Vodopivec Franc, B. Ralič, J. Žvokelj — Metalurški inštitut Ljubljana  
M. Gabrovšek — Železarna Jesenice  
I. Rak — Metalna Maribor
- RAZISKAVE VPLIVA SULFIDNIH VKLJUKOV, MIKROSTRUKTURE IN HOMOGENOSTI NA LASTNOSTI JEKLENIH PLOŠČ V SMERI DEBELINE 1
- Prešern Vasilij — Metalurški inštitut Ljubljana  
V. Macur — Železarna Ravne
- VPLIV MODIFIKATORJEV PRI IZDELAVI JEKLA NA VELIKOST AVSTENITNEGA ZRNA 17
- Puklavec Ludvik — Mariborska livarna  
IZKUŠNJE MARIBORSKE LIVARNE PRI IZBOLJSANJU DELOVNIH POGOJEV IN ZMANJSANJU ONESNAŽEVANJA ZRAKA 23
- Ercegovič Ivo — TGA Kidričevo  
ALUMINIJSKA INDUSTRIJA IN ZAŠČITA OKOLJA 29
- DRUŠTVENE VESTI
- Paulin Andrej  
DELO ZVEZE RUDARSKIH, GEOLOSKIH IN METALURSKIH INŽENIRJEV IN TEHNIKOV SLOVENIJE V LETU 1976-1977 35

LETO 12 ŠT. 1-1978

ŽEZB BQ 12 (1) 1 — 36 (1978)





# ŽELEZARSKI ZBORNIK

IZDAJAJO ZELEZARNE JESENICE, RAVNE, ŠTÖRE IN METALURŠKI INŠTITUT

LETO 12

LJUBLJANA

MAREC 1978

Vsebina	Inhalt	Contents	Содержание
stran	Seite	Page	
Vodopivec Franc, M. Gabrovšek, I. Rak, J. Zvokelj	Vodopivec Franc, M. Gabrovšek, I. Rak, J. Zvokelj	Vodopivec Franc, M. Gabrovšek, I. Rak, J. Zvokelj	Vodopivec Franc, M. Gabrovšek, I. Rak, J. Zvokelj
Raziskave vpliva sulfidnih vključkov mikrostrukture in homogenosti na lastnosti jeklenih plošč v smeri debeline 1	Untersuchungen über den Einfluss der sulfidischen Einschlüsse des Mikrogefüges und der Homogenität auf die Eigenschaften der Stahlbleche in der Dickenrichtung 1	Investigations on influence of sulphide inclusions, microstructure, and homogeneity on the properties of steel plates in the direction of thickness 1	Исследования о влиянии сульфидных включений, микроструктуры и гомогенности на свойства стальных пластин в направлении толщины. 1
UDK: 669.14.018,29 ASM/SLA: Q 26 n, Q 26 s, M 9-69	UDK: 669.14.018,29 ASM/SLA: Q 26 n, Q 26 s, M 9-69	UDK: 669.14.018,29 ASM/SLA: Q 26 n, Q 26 s, M 9-69	UDK: 669.14.018,29 ASM/SLA: Q 26 n, Q 26 s, M 9-69
Prešern Vasilij, V. Macur	Prešern Vasilij, V. Macur	Prešern Vasilij, V. Macur	Prešeren Vasilij, V. Macur
Vpliv modifikatorjev pri izdelavi jekla na velikost avstenitnega zrna 17	Einfluss der Impfmittel auf die Austenitkorngröße bei der Stahlherstellung 17	Influence of modifiers on the size of austenite grain in manufacturing steel 17	Влияние модификаторов при выплавки стали на величину аустенитных зерен. 17
UDK: 669.18:620.18:669.046.558 ASM/SLA: D 11 r, AD-r	UDK: 669.18:620.18:669.046.558 ASM/SLA: D 11 r, AD-r	UDK: 669.18:620.18:669.046.558 ASM/SLA: D 11 r, AD-r	UDK: 669.18:620.18:669.046.558 ASM/SLA: D 11 r, AD-r
Puklavec Ludvik	Puklavec Ludvik	Puklavec Ludvik	Puklavec Ludvik
Izkušnje mariborske livarne pri izboljšanju delovnih pogojev in zmanjšanju onesnaževanja zraka 23	Die bisherigen Erfahrungen der Giesserei »Mariborska livarna« bei der Verbesserung der Arbeitsbedingung und Verminderung der Luftverschmutzung 23	Present experiences of mariborska livarna in improvement of working conditions and environmental protection 23	Опыт мариборской литейной при улучшения условий работы и уменьшения загрязнения воздуха. 23
UDK: 669.2/8:331,82:614.7 ASM/SLA: EG-a 38, W 16 c, W 13 j	UDK: 669.2/8:331,82:614.7 ASM/SLA: EG-a 38, W 16 c, W 13 j	UDK: 669.2/8:331,82:614.7 ASM/SLA: EG-a 38, W 16 c, W 13 j	UDK: 669.2/8:331,82:614.7 ASM/SLA: EG-a38, W 16 c, W 13 j
Ercegovič Ivo	Ercegovič Ivo	Ercegovič Ivo	Ercegović Ivo
Aluminijska industrija in zaščita okolja 29	Aluminiumindustrie und die Verbesserung der Umweltbedingungen 29	Aluminium industry and environmental protection 29	Производство алюминия и охрана окружающей среды. 29
UDK: 669.71:628.512:331.82 ASM/SLA: Al, W 16 c, W 13 j	UDK: 669.71:628.512:331.82 ASM/SLA: Al, W 16 c, W 13 j	UDK: 669.71:628.512:331.82 ASM/SLA: Al, W 16 c, W 13 j	UDK: 669.71:628.512:331.82 ASM/SLA: Al, W 16 c, W 13 j
Društvene vesti 35	Vereinsnachrichten 35	Association News 35	Сообщения организации 35



---

**For Avtomatic and Process  
Technology from conceptual  
design to turn key system**

Control systems for material,  
materials management

Analyses laboratories

Electric arc furnaces

Basic oxygen furnaces

(BOF) SIP Converter,  
AOD Converter

Energy dispatch and control

Pollution monitoring

Heat treating optimization

Tailor-made software and systems  
for your specific requirements

**Za avtomacijo in procesno  
tehnologijo od idejnih zasnov  
do sistemov na ključ**

Kontrolni sistemi za  
materialno gospodarstvo

Analitski laboratorij

Elektro obločne peči

Bazične kisikove peči

LD — konverter in kisikovi  
žilavilni postopki s pihanjem  
od spodaj

AOD — konverter

Kontinuirno litje

Sistemi razdelitve in kontrole  
porabe energije

Krmiljenje čistilnih naprav

Optimizacija toplotne obdelave

Software in sistemi prilagojeni  
vašim posebnim zahtevam

**PROCESS CORPORATION**

**P. O. Box 11528**

**PITTSBURGH, PA 15238**

For more detailed information please  
contact the European representative:

Za podrobnejše informacije se, prosimo,  
povežite z zastopstvom za Evropo:

**USA**

**INTECO — Internationale  
Technische Beratung Ges. m. b. H.**

**Bahnhofstrasse 9**

**8600 Bruck/Mur, Austria**

**Telephone: (038 62) 53 1 10**

**Telex: 36 720**

---



**universal**

TRGOVSKO PODJETJE NA VELIKO IN MALO

**J E S E N I C E**

**VAM NUDI:**

proizvode črne metalurgije

- pločevino
- avtogeno rezane lamele
- cevi
- betonsko železo
- žico vseh vrst
- ploščato palično jeklo
- hladno in toplo valjani trakovi
- varilni dodajni material

proizvode barvne metalurgije

gradbeni material

kurivo

---



DO GP MEGRAD  
n. sol. o. LJUBLJANA

TOZD **ELMONT**

n. sub. o. BLED, Cankarjeva 1

Telefon (064) 77-928 z enoto v KOPRU, Puntarska 1,  
telefon (066) 21-739

ELEKTROINSTALACIJE, STRELOVODI, KABELSKI  
RAZVODI, ELEKTROMEHANIKA, KLJUČAVNIČARSTVO,  
HLADILNA TEHNIKA, IZDELAVA IN MONTAŽA  
INDUSTRIJSKE AVTOMATIKE IN GRELNIH TELES,  
SVETLOBNE REKLAME, NEON TRANSFORMATORJI,  
VŽIGALNI TRANSFORMATORJI, ELEKTRO  
RAZDELILNE OMARE, SERVISNA SLUŽBA

---

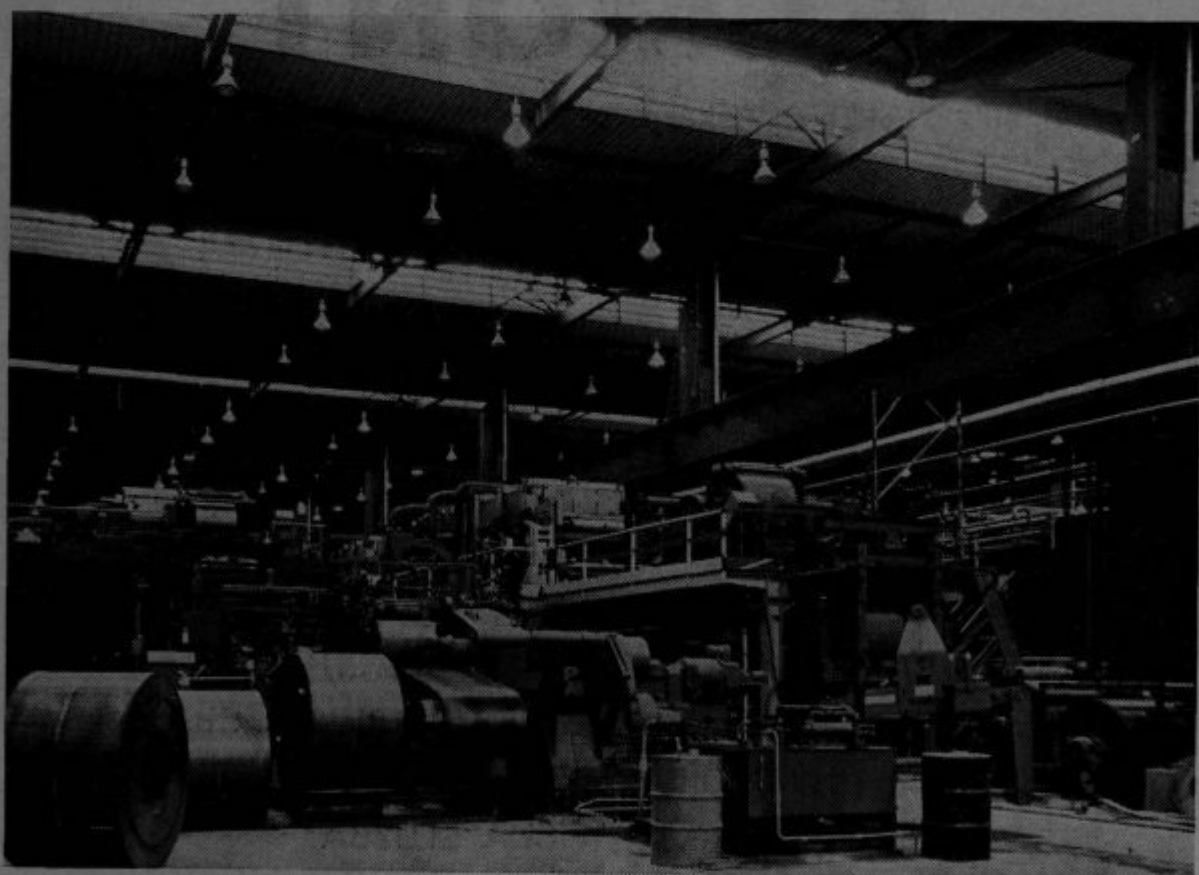


# ŽELEZARNA JESENICE

Proizvaja:

debelo, sredno in tanko pločevino  
dinamo trakove  
hladno valjane trakove  
vlečeno, brušeno in luščeno jeklo  
vlečeno žico  
vlečeno žico — patentirano  
pleteno patentirano žico za  
prednapeti beton

hladno oblikovane profile  
cestne varnostne ograje  
jeklene podboje za vrata  
dodajni material za varjenje:  
— tehnični plin ARGON  
žičnike  
jekleni sekanec



Del naprav v novi hladni valjarni na Bell



## **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. Mikrofraktografija 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 dendritske 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

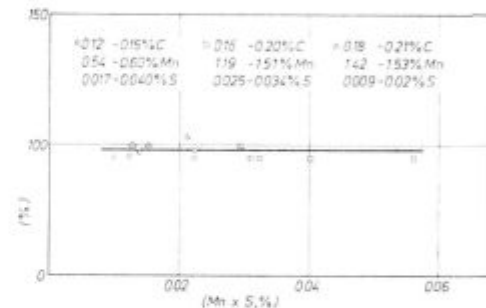
Na osnovi razprave v točki 2 smo se odločili, da pripravimo varjene preizkušance. Nastavke iz istega jekla smo na plošče zavarili ročno in avtomatsko pod praškom. Elektrode in prašek smo pred varjenjem dobro posušili. Temperature predgrevanja pred varjenjem smo izračunali po priporočilu (21), ki upošteva 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	

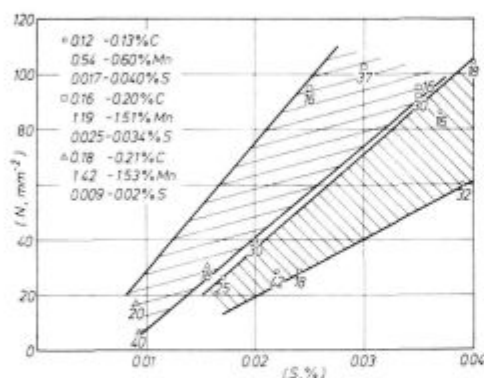
1 — kislinotopni Al

 N — število vključkov na mm<sup>2</sup> površine obruska

 LI — poprečna dolžina vključkov na vzdolžnem preseku (mm × 10<sup>3</sup>)

 L — celotna dolžina vključkov na mm<sup>2</sup> 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

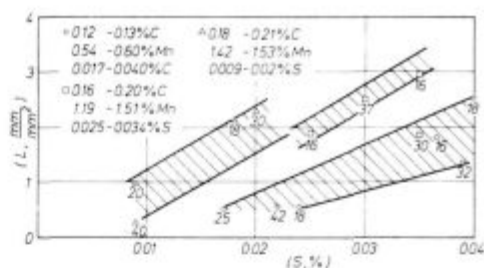


Slika 2

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

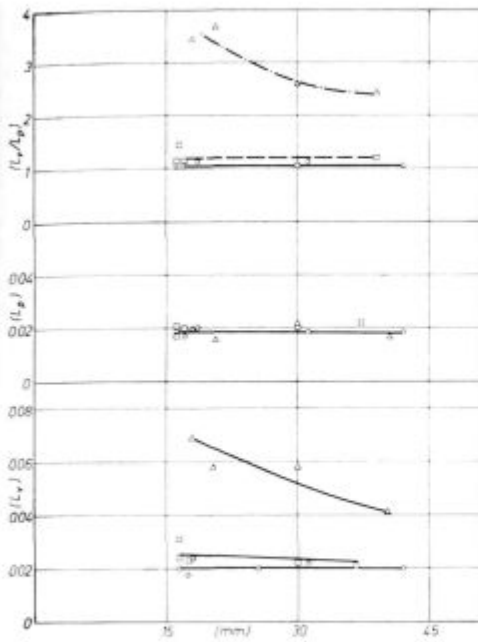
Vpliv količine žvepla v jeklu na količino sulfidnih vključkov daljših od 0,01 mm v ploščah. Ob točkah je navedena debelina plošč

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-

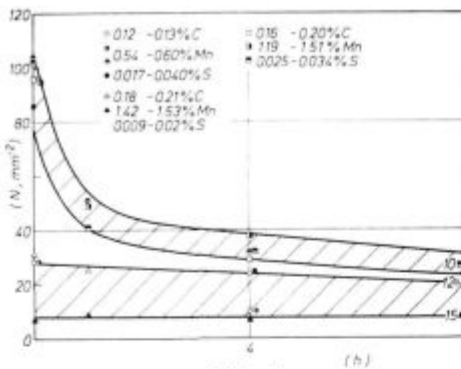


Slika 4

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

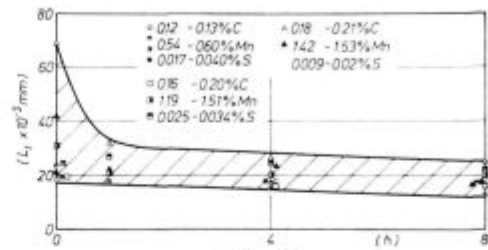
Fig. 5

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

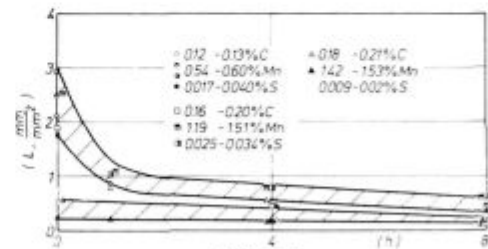


Slika 6

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

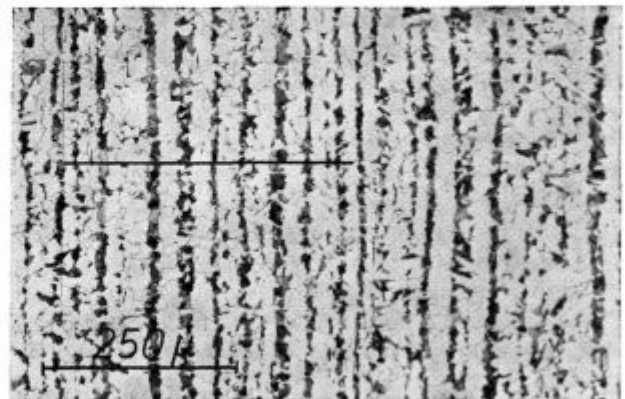
Vpliv trajanja homogenizacije pri 1250 °C na količino sulfidnih vključkov, ki so daljši od 0,01 mm

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 koncentrira 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

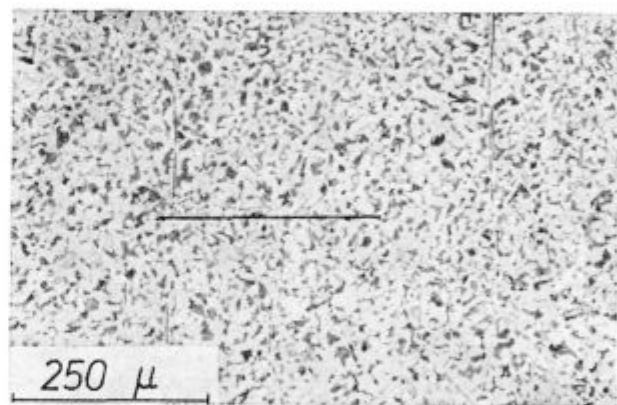
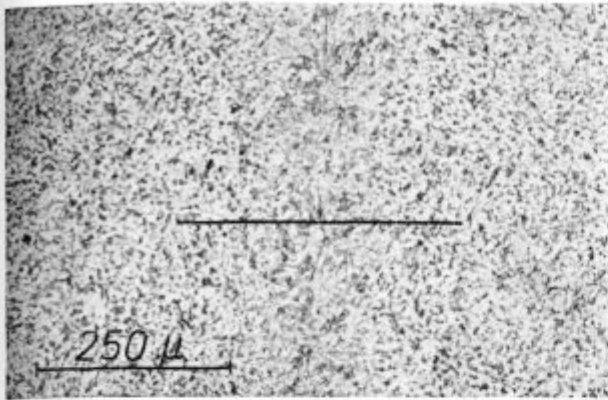

 Slika 9  
Isto jeklo kot sl. 8. Homogenizacija 1 uro pri 1250°C in normalizacija

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

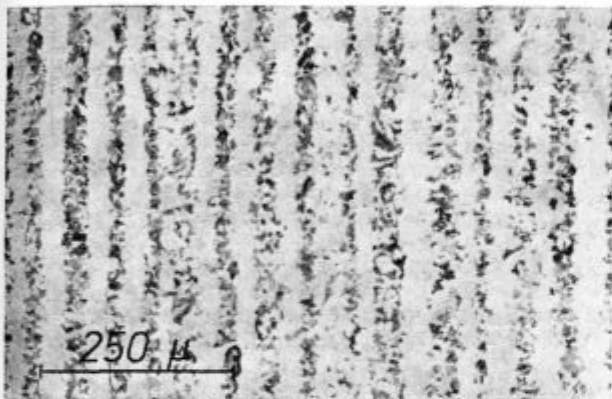


Slika 10

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.

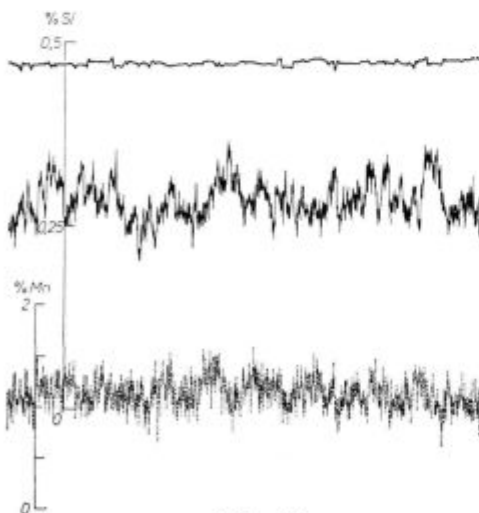


Slika 11

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.

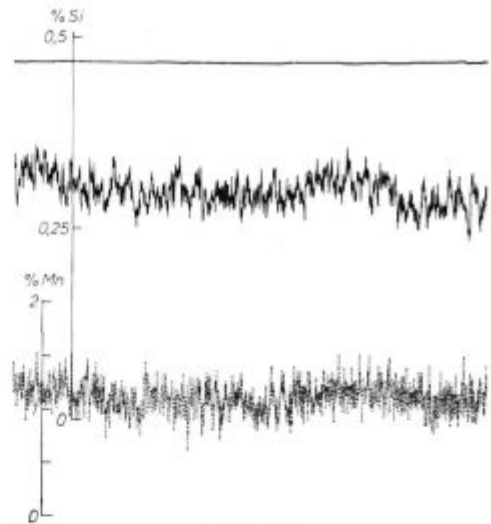


Slika 12

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.

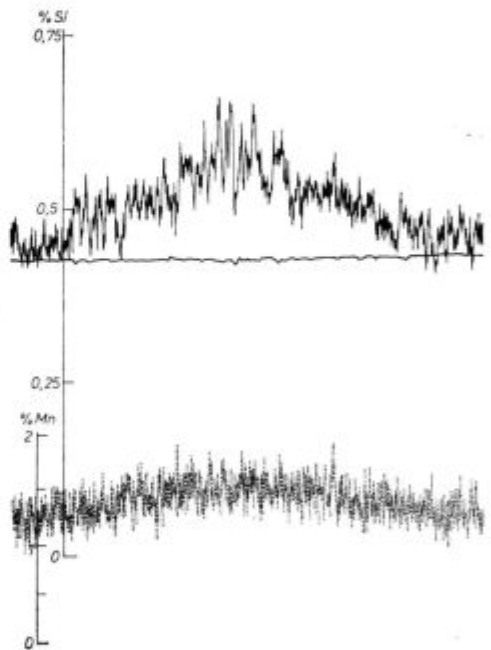


Slika 13

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

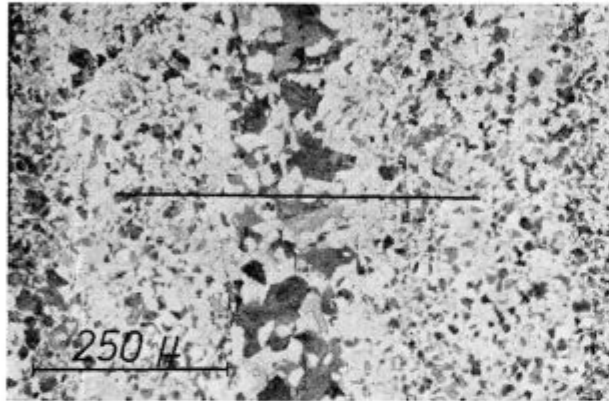
višje temperature premene, verjetno zaradi povečane količine silicija in mogoče ogljika v njej (sl. 16).

### 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-

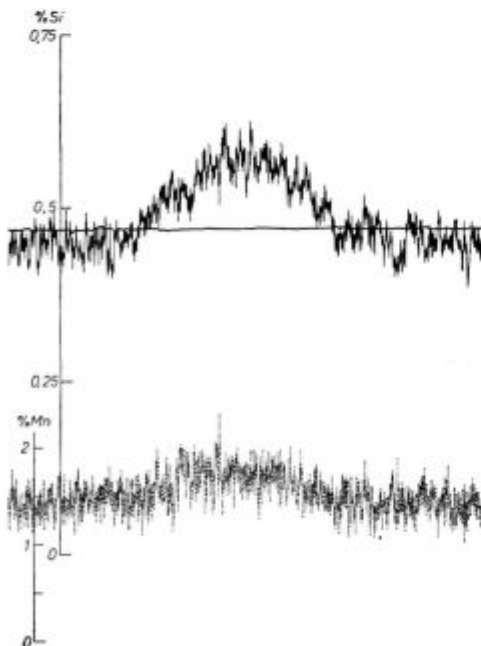


Slika 15

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.

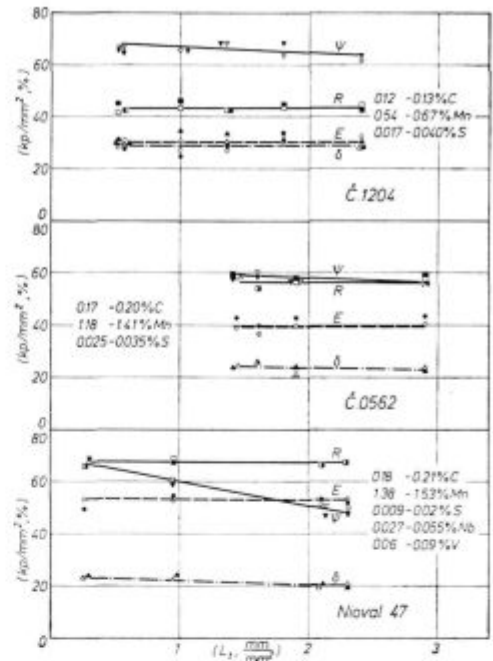


Slika 16

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.

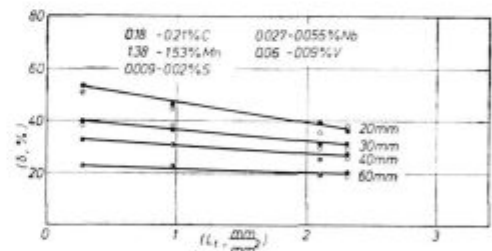


Slika 17

Odvisnost med količino vključkov ( $L_i$ ) in mejo plastičnosti (E), natezno trdnostjo (R), raztežkom ( $\delta$ ) in kontrakcijo ( $\psi$ ) 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 ( $\delta$ ), and the reduction of area ( $\psi$ ) 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.

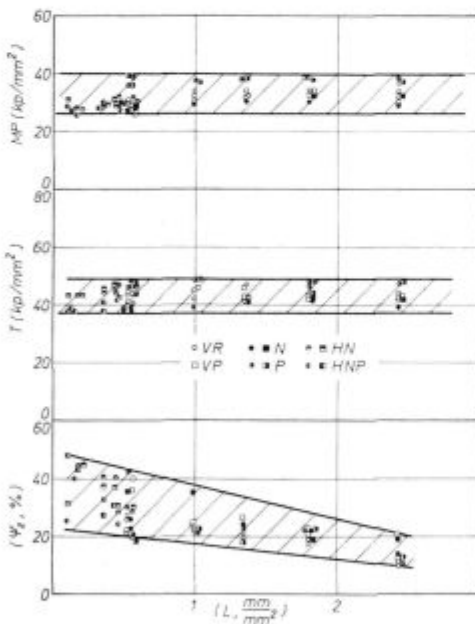
klih Č 0562 in Č 1204 je od količine neodvisni tudi raztezek, kontrakcija pa se nekoliko zmanjša pri naraščanju količine vključkov. Podobno velja za raztezek v jeklu Nival 47, medtem ko kontrakcija v tem jeklu močno pada z naraščanjem količine vključkov. Čim manjša je merilna dolžina za določitev raztezka, 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-

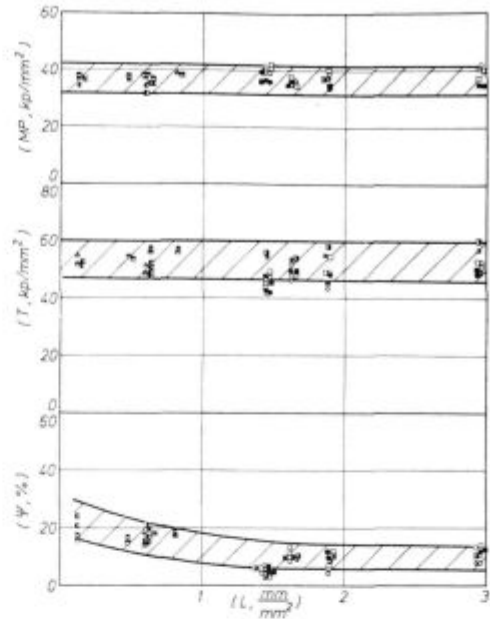


Slika 19

Jeklo Č. 1204. Vpliv količine sulfidnih vključkov na mejo plastičnosti (MP), trdnost (T) in kontrakcijo v smeri debeline ( $\psi$ ) 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 ( $\psi$ ) 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.

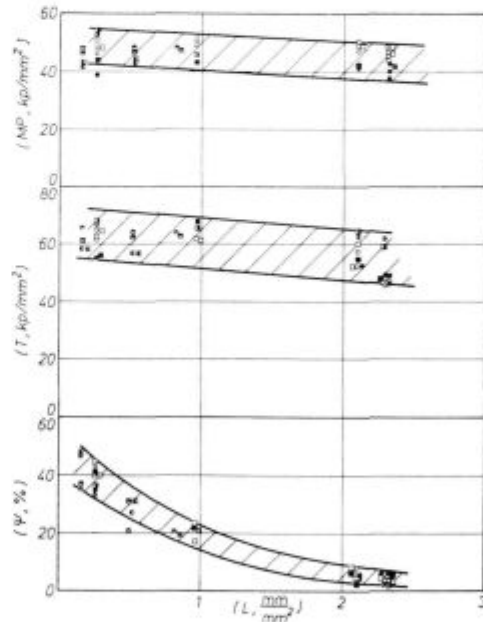


Slika 20

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

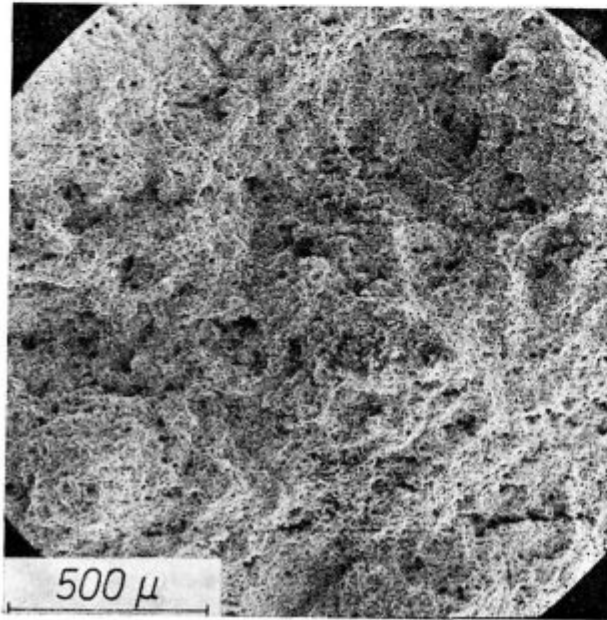
Fig. 21

Nival 47 steel. The same as Fig. 19.

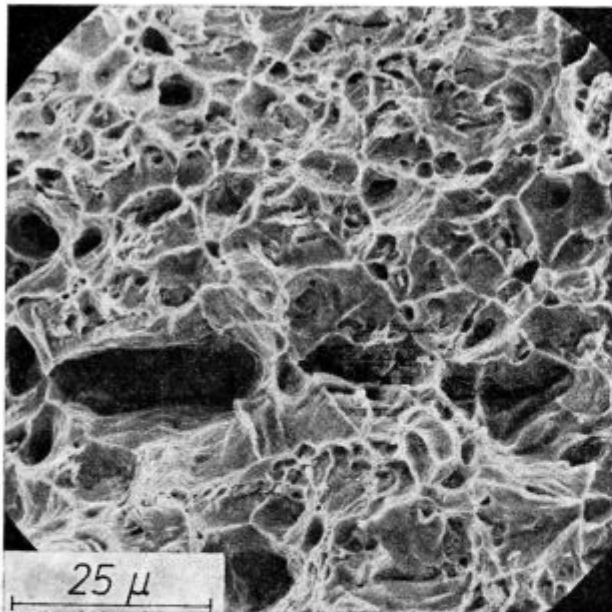
stično sposobnost jekla, če ga vlečemo v z smeri. Odprava trakaste porazdelitve perlita in ferita s poboljšanjem pri nespremenjeni dolžini sulfidnih vključkov in nastanek trakaste porazdelitve z ohlavitvijo v peči homogeniziranega jekla po normalizaciji ne spreminita kontrakcije jekla. Kaže torej, da 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 dosegajo 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



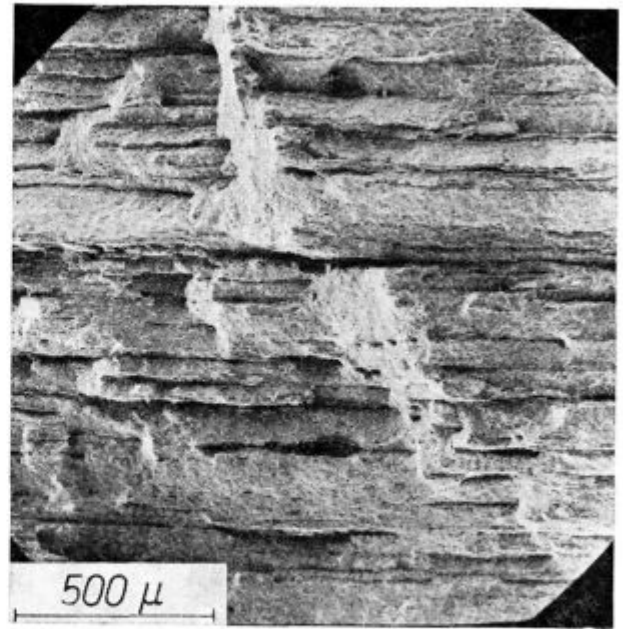
Slika 22 b  
Fig. 22 b

Slika 22 a in b

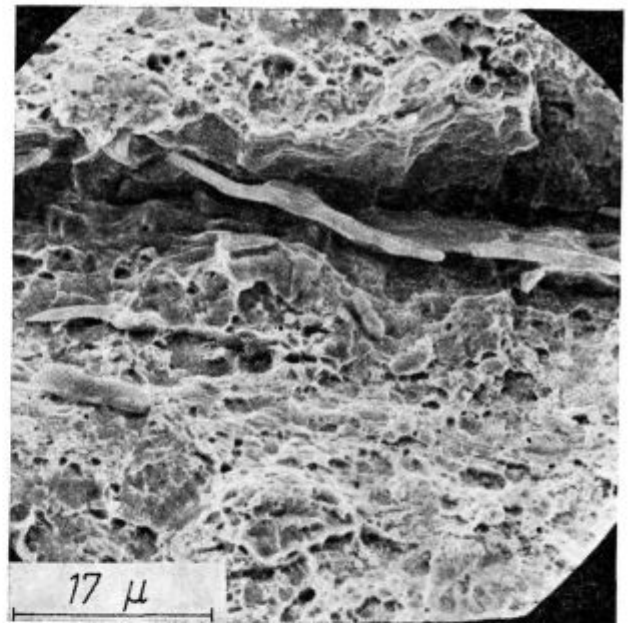
**Prelom jeklene plošče s kratkimi sulfidnimi vključki prečno na smer valjanja**

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

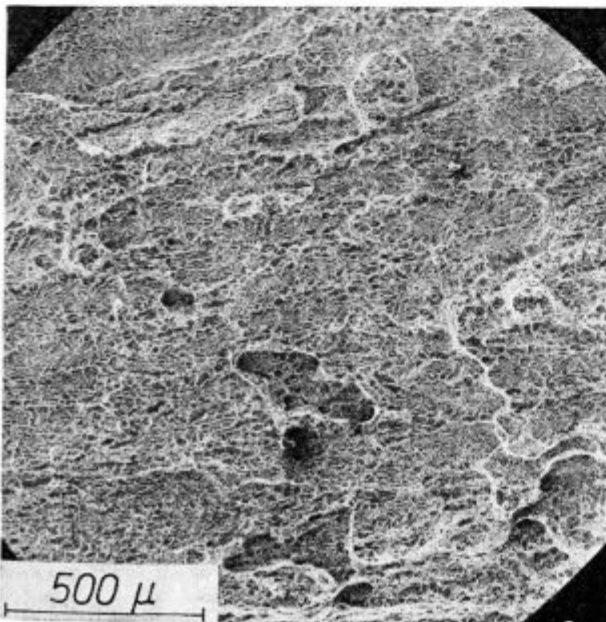
**The same as Fig. 22, plate with long sulphide inclusions.**

merjava manj točna, ker se trdnostne lastnosti zmanjšujejo z naraščanjem količine vključkov. Pri ca 1 mm/mm<sup>2</sup> 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-

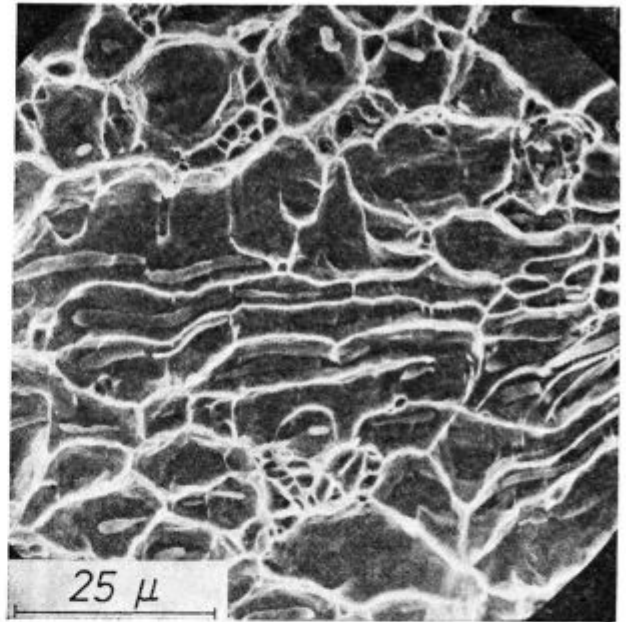
no upoštevati, da je raztros na slikah 19, 20 in 21 povečan tudi zaradi razlik, ki izhajajo iz različne toplotne obdelave jekel.

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  $1 \text{ mm/mm}^2$  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.

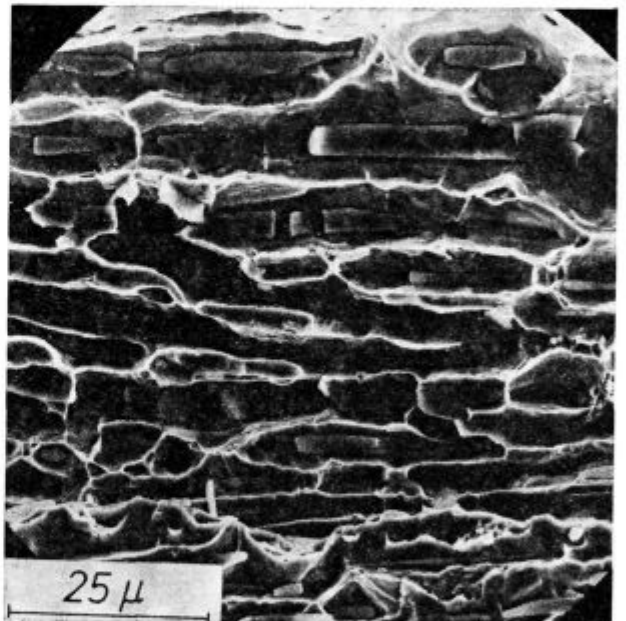
Velja, da je v varjenem stanju nekoliko večja z kontrakcija na preizkušancih iste plošče, ki so bili varjeni pod praškom. To se ujema z dognanjem (22), da je pri okvirnem varilnem preizkusu potrebna tem večja napetost za začetek loma, čim več energije je bilo uporabljeno za varjenje jekla.



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**

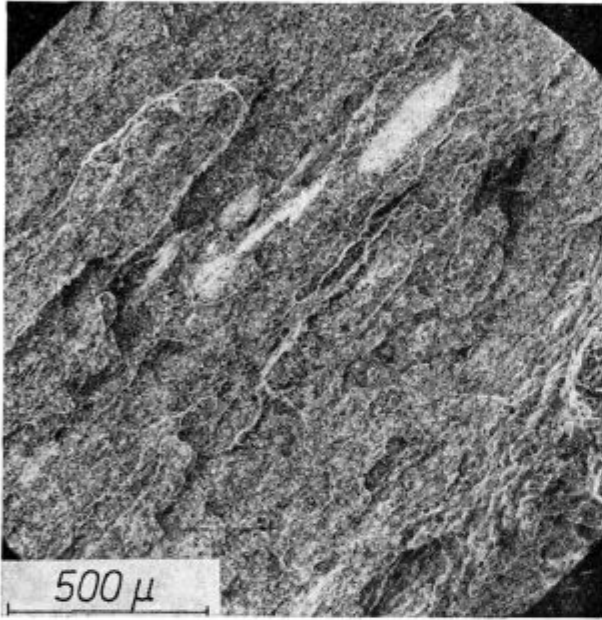
Fig. 23 a, b, and c

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

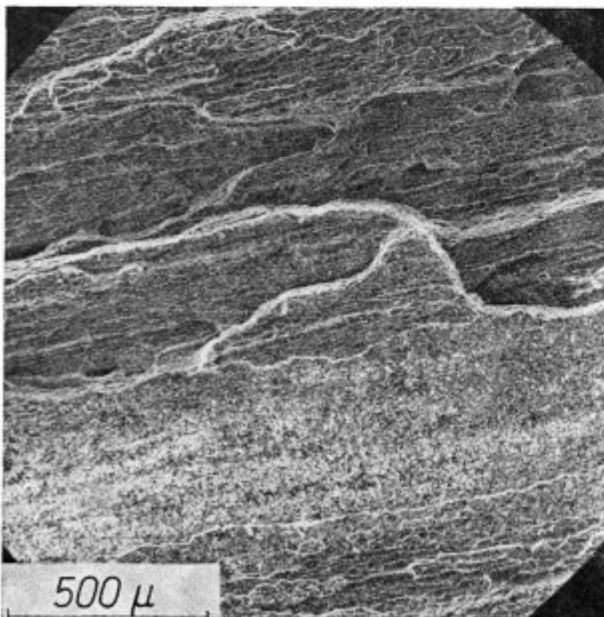
#### 4.3.3. Značilnosti prelomne površine preizkušancev v smeri debeline

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

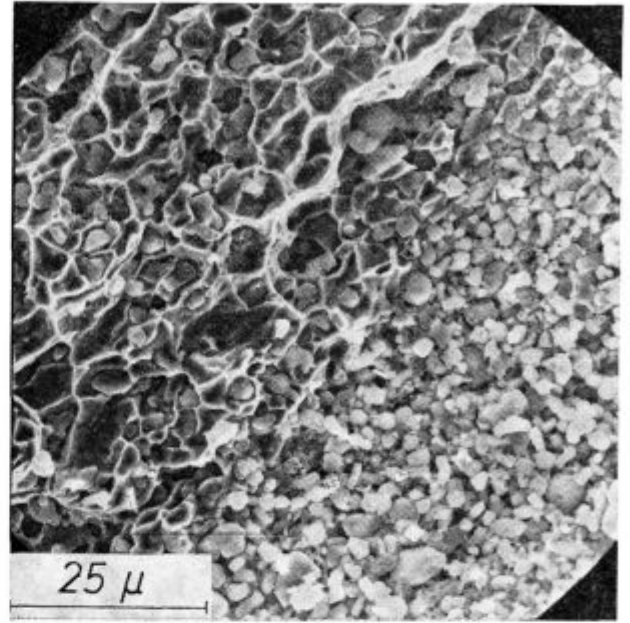
kateri dejavniki so aktivno sodelovali ali celo prevladovali pri širjenju dekohezije. Na preizkušanih prečno na smer valjanja je bil lom popolnoma žilav. Na njem je bilo tem več značilnih brazd, čim več je bilo sulfidnih vključkov v jeklu (sl. 22). Prelomna površina v smeri debeline je neodvisna od pogojev 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-



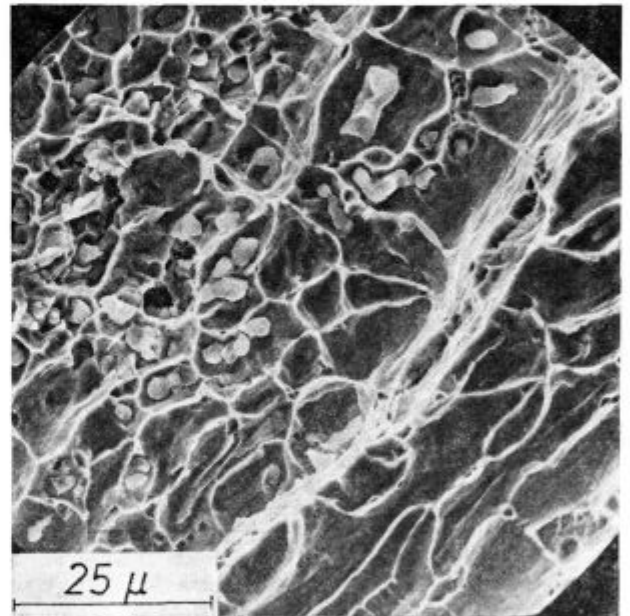
Slika 24 a  
Fig. 24 a



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

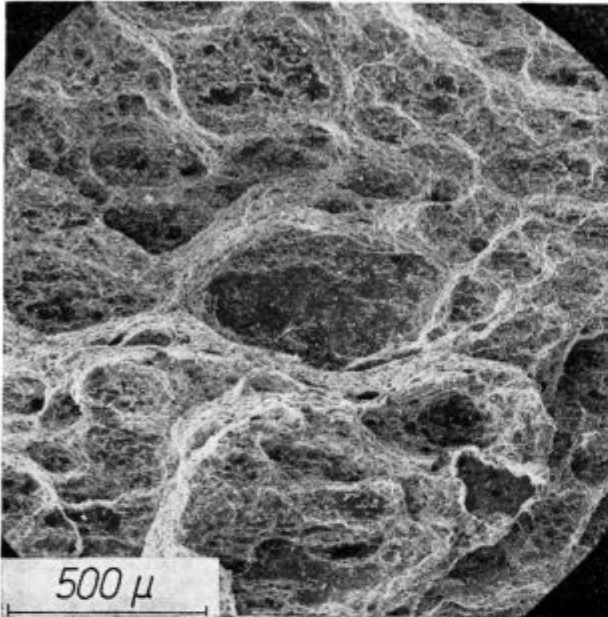
Fig. 24 a, b, and c

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.

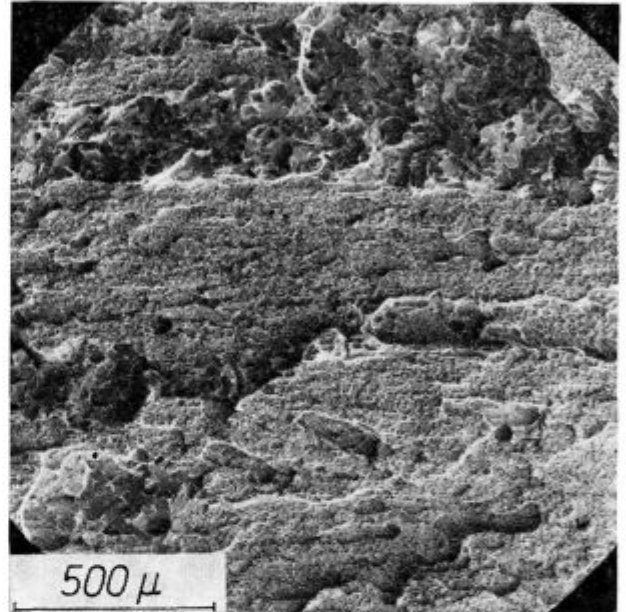
kohezija zaradi sulfidnih vključkov in dekohezija zaradi oksidnih vključkov, na preseku pa se razloči še dekohezija po plasteh blokovnih izcej.

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

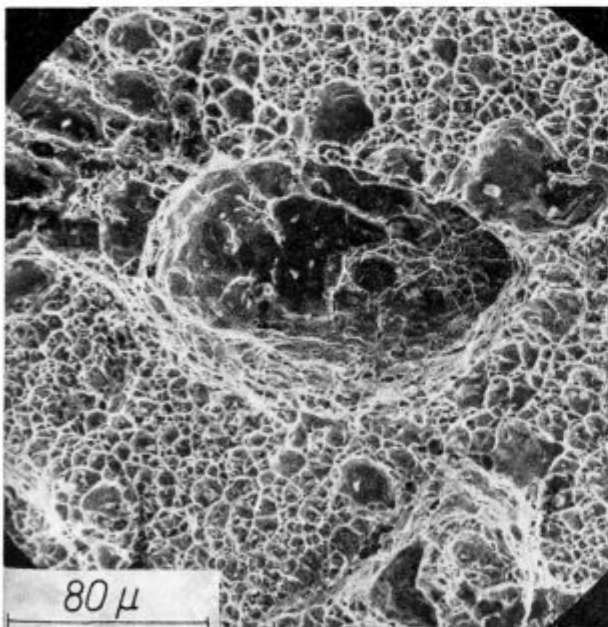
manjši ostanki sulfidnih vključkov in so večje kot vključki, zato ker so se širile s strižno deformacijo jekla okoli njih. Jamice so tem večje, čim večja je deformacijska sposobnost jekla, to je, čim mehkejši je ferit in čim manj je v jeklu vključkov. Ovalne jamice, ki so nastale zaradi sulfidnih vključkov, 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



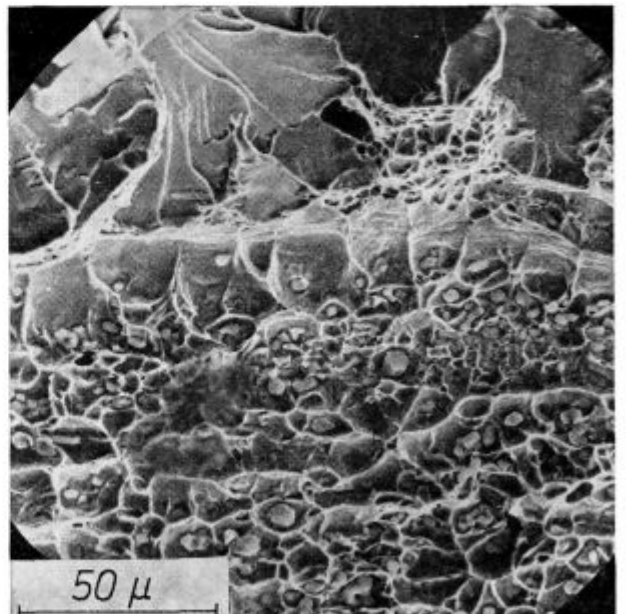
Slika 25 b  
Fig. 25 b

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

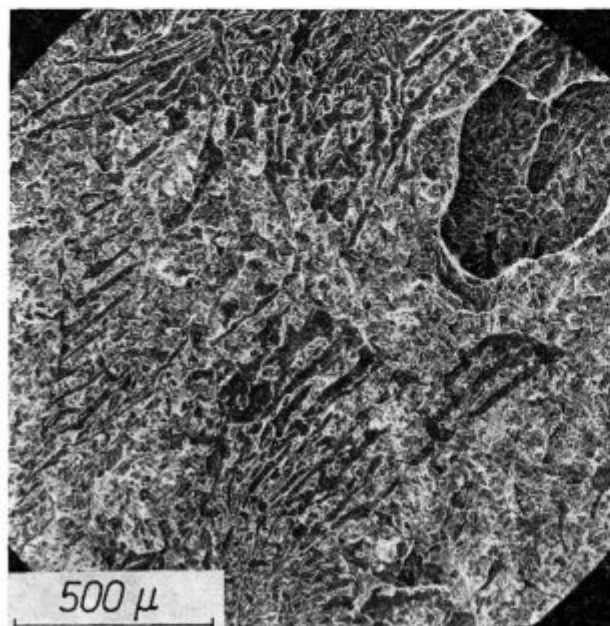
Lamelarni prelom z deli površine s krhko dekohezijo

Fig. 26 a and b

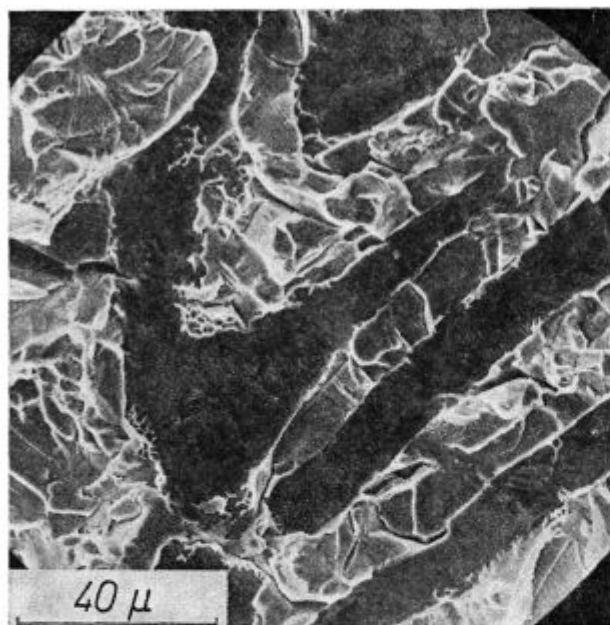
Lamellar fracture with parts of fragile decohesion.

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: IIW doc. IX-847-1973
8. S. Kanazawa in sod.: IIW doc. IX-873-1974
9. S. Kanazawa in sod.: IIW 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/mm<sup>2</sup> 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 mm<sup>2</sup> 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, данными сульфидных включений в мм/мм<sup>2</sup> поверхности и толщиной пластин. Механические свойства в направлении толщины определяли в накатанном, нормализованном, упрочненном и гомогенизированном состоянии. Установлено, что данна сульфидных включений при первых двух сталях в поперочном сечении независит от толщины пластин. При третьей стали, которая вследствие добавки ниобия прокатана при более низкой т-ре оказалось, что средняя данна 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.



# Vpliv modifikatorjev pri izdelavi jekla na velikost avstenitnega zrna

UDK: 669.18:620.18:669.046.558  
ASM/SLA: D11r, AD-r

Vasilij Prešern, Vlado Macur

## 1. del: VPLIV ALUMINIJA IN TITANA

Opisana je analiza vpliva topnega aluminija v jeklu ter kombinacije topnega aluminija in titana na velikost avstenitnega zrna. Podan je verjetni mehanizem zaviranja rasti zrna pri uporabi različnih afinatorjev.

Ugotovljeno je optimalno območje vsebnosti topnega aluminija za doseganje drobnega zrna, s pomočjo statistične analize velikega števila industrijsko izdelanih talin pa je postavljena linearna odvisnost velikosti zrna od kombinirane vsebnosti aluminija in titana.

### 1. Uvod

Velikost avstenitnega zrna ima velik vpliv na obnašanje jekla pri kaljenju kakor tudi na nekatere njegove mehanske lastnosti, kot prekaljivost, žilavost, kritično temperaturno območje krhkosti itd. Pri cementacijskih jeklih je važno, da je globina prekalilne cone majhna, tako da se jeklo prekali samo na površini in ostane jedro žilavo; prekalilna cona pa bo tem manjša, čim drobnejše bo zrno. Tudi žilavost je večja, posebno pri nizkih temperaturah, če je zrno manjše.

Drobnega avstenitnega zrna ne dosežemo samo s termično obdelavo, ampak moramo že med izdelavo jekla ustvariti primerne pogoje in je torej potrebno poznati parametre, s katerimi lahko na to velikost vplivamo. Tvorba karbonitridov in nitridov naj bi vplivala na velikost zrna, vendar je praktično težko doseči optimalne pogoje za ustvarjanje teh izločkov, ki zavirajo rast zrn.

Zato smo izdelali raziskovalno nalogo<sup>1</sup>, v kateri smo ugotavljali vplivne parametre pri proizvodnji cementacijskega jekla v električnih obročnih pečeh. Proučevali smo vpliv aluminija, titana, kompleksne zlitine CaBaSi in cer-mish metala.

V prvem delu tega članka bomo poročali o vplivu aluminija in titana. Njun vpliv smo ugotavljali s pomočjo statistične analize podatkov obstoječe tehnologije. Vpliv ostalih elementov pa bomo opisali v drugem delu članka.

## 2. Mehanizem zaviranja rasti zrn

### 2.1 Vpliv aluminija

Mnogi raziskovalci trdijo, da naraščanje zrna pregretega jekla zadržujejo težko topni nekovinski vključki, ki so drobno dispergirani v avstenitu — predvsem karbidi in nitridi. Take spojine tvorijo elementi Al, Ti, Nb, Zr, V, Se, Ce in drugi.

V jeklarski praksi je aluminij eden najpomembnejših elementov. Ima veliko afiniteto do kisika, majhno specifično težo, uspešno zavira rast avstenitnega zrna in je tudi najcenejši.

O mehanizmu vpliva aluminija na zrnatost jekla obstajajo različne teorije, vendar je največ zagovornikov našla teorija tvorbe aluminijevih nitridov. Različni raziskovalci<sup>2,3,4</sup> so podrobno opisali afinicijski vpliv aluminija in mehanizem, kako precipitirati AlN zavirajo rast avstenitnih zrn.

Afinicijski vpliv AlN je odvisen od treh parametrov: od volumna količine AlN, od povprečne velikosti izločkov in od površinske energije avstenita. Zavorni učinek AlN se pri običajnih količinah aluminija in dušika z naraščanjem temperature zmanjšuje, ker raste površinska energija avstenita. To pa linearno zmanjšuje zavorno silo, po drugi strani pa se hkrati povečuje tudi povprečna velikost izločkov. Eno in drugo zmanjšuje zavorno silo za rast zrn po poznanih analitičnih odvisnostih C. Zenerja, ki so jih kasneje v mnogih primerih empirično potrdili.

Količina nastalega AlN se lahko določi s topnostnim produktom reakcije:

$$[Al] + [N] \rightleftharpoons [AlN] \quad \dots (1)$$

in

$$\lg ([Al] \cdot [N]) = -\frac{6180}{T} + 0,725 \text{ (lit. 5)} \dots (2)$$

Ugotovili so, da obstaja neka optimalna količina topnega aluminija, ki omogoča drobno zrno in o zvonasti obliki vpliva tega aluminija na zrno so poročali že razni avtorji<sup>4,6,7</sup>. Ti raziskovalci menijo, da pri majhnih vsebnostih topnega aluminija ne nastane dovolj AlN za blokiranje rasti zrn. Pri večjih vsebnostih aluminija pa pride zaradi posebnih pogojev do aglomeracije delcev AlN, kar povzroča rast nekaj velikih delcev, ki so kot inhibitorji neučinkoviti.

Mgr. Vasilij Prešern, dipl. inž., je samostojni raziskovalec na Metalurškem inštitutu v Ljubljani  
Vlado Macur, dipl. inž., železarna Ravne

Po obstoječem tehnološkem predpisu izdelave cementacijskih jekel v železarni Ravne dodajamo za doseganje drobnejšega zrna od 5 po ASTM tabeli potrebno količino aluminija med preprihovanjem z argonom. Ker pa ne poznamo količine aluminija in kisika v jeklu v tem trenutku, je potrebno upoštevati izkoristek aluminija med dezoksidacijo.

Ugotovili so<sup>6</sup>, da je za doseganje optimalne vrednosti aluminija važna skrbna kontrola ogljika, silicija in mangana. Preddezoksidacija taline z aluminijem je namreč izvedena po oksidacijski periodi in je zato odgor aluminija odvisen od vsebnosti ogljika po izkuhanju, količine silicija in mangana med rafinacijo, količine žlindre pred dodatkom aluminija, načina dodatka aluminija in časa rafinacije. Iz prakse je poznano, da se je potrebno izogibati nizkim vsebnostim ogljika in držati silicij nad 0,20 %.

## 2.2 Vpliv titana

Titan se že dalj časa uporablja kot legirni element za gradbena jekla. Že majhni dodatki občutno povešajo trdnost in žilavost jekla. Utrjanje jekla nastopi zaradi drobnejšega zrna in izločevalnega utrjanja.

Vemo, da ima titan veliko afiniteto do dušika in da tvori močno stabilne titanove nitride, ki nastajajo že v talini. Sestava teh vključkov je konstantna in se spreminja lahko samo, če se bistveno spreminja razmerje C/N v talini. Titanovi nitridi so v trdnem avstenitu praktično netopni, v talini pa nastajajo zrna, ki so prevelika, da bi lahko zavirala rast avstenitnih zrn. Poročajo<sup>9</sup>, da je temperatura raztapljanja teh nitridov že pri najmanjših dodatkih titana nad temperaturo plastične predelave (n. pr. pri 0,0100 % N in 0,001 % Ti je ta temperatura cca 1630 K). Zato prihaja v poštev kot afinator le titanov karbid.

Ugotovili so<sup>4</sup>, da pri vplivu titana ne obstaja neka optimalna vsebnost, temveč da temperatura tvorbe grobih zrn narašča progresivno z večanjem vsebnosti titana. Vzrok je ta, da titan tvori poleg nitridov tudi karbide, kar je v nasprotju z aluminijem, ki je vezan le kot nitrid. V cementacijskih jeklih pa je ogljik vedno v stehiometričnem pribitku glede na vsebnost titana in se zato z večanjem deleža titana večja delež topnih titanovih karbidov. Ti imajo velik topnostni produkt in nastajajo z izločanjem iz avstenita v podobnem temperaturnem intervalu kot AlN.

Pri segrevanju jekla v avstenitno območje se začno vključki raztapljati v gama trdni raztopini. To so v glavnem titanovi karbidi in kompleksni Ti (C, N) z veliko ogljika. Nekateri vključki pa ostanejo neraztopljeni tudi pri višjih temperaturah (nad 1550 K) — v glavnem je to titanov nitrid, Ti (C, N) s skromno udeležbo ogljika, karbosulfidi, kot n. pr.  $Ti_4C_2S_2$ , (Mn, Ti) S... Povedati pa je potrebno, da je uporaba titana kot regulatorja veli-

kosti zrna omejena zaradi poslabšanja čistosti jekla — pojavijo se grobi titanovi oksidi in karbonitridi, ki so preveliki, da bi lahko vplivali na proces rasti avstenitnega zrna.

## 2.3 Kombinacija aluminija in titana

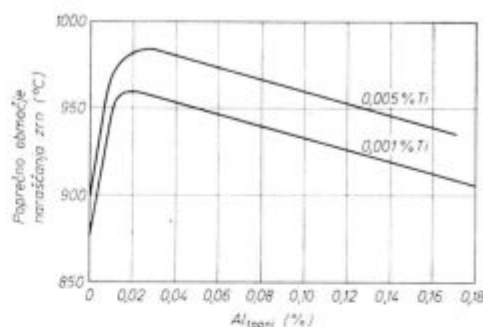
Aluminij je iz mnogih ozirov nepogrešljiv element pri izdelavi kvalitetnih jekel v električnih obločnih pečeh. Ker pa je težko vedno zadeti optimalno vsebnost kislinotopnega aluminija v jeklu, so metalurgi iskali možnost, da bi jeklu s premajhno ali preveliko vsebnostjo tega aluminija zagotovili dovolj drobno zrno. Pri tem so najbolj poznane kombinacije aluminija s titanom, z vanadijem in z niobijem.

Dokazali so<sup>10</sup>, da že majhni dodatki titana v kombinaciji z aluminijem zvišajo temperaturo rasti avstenitnega zrna (slika 1). O mehanizmu zaviranja rasti take kombinacije lahko rečemo naslednje:

— pri premajhni vsebnosti kislinotopnega aluminija, oziroma AlN nastopajo kot afinatorji titanovi karbidi (eventuelno tudi titanovi karbonitridi);

— pri jeklih z višjo vsebnostjo aluminija pa titan s tvorbo nitridov prepreči tvorbo velikih izločkov AlN, ki lahko negativno vplivajo na velikost zrna, o čemer smo že govorili.

Z analizo izdelave številnih talin pa bomo v nadaljevanju poskušali ugotoviti optimalne pogoje za doseganje finega zrna.



Slika 1

Vpliv aluminija na temperaturo naraščanja zrn pri jeklu z različnimi dodatki titana

Fig. 1

Influence of aluminium on the temperature of grain growth in steel with various additions of titanium

## 3. Industrijski poskusi

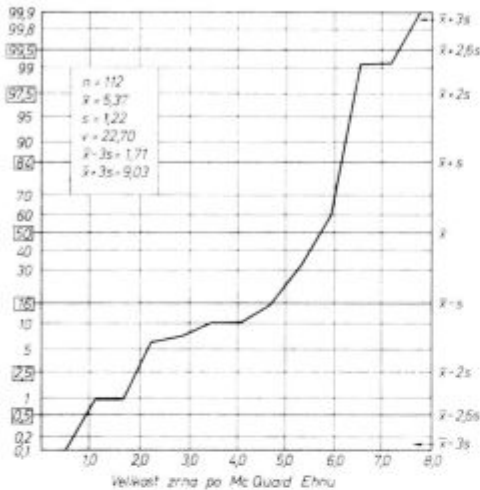
### 3.1 Analiza uporabe aluminija

V železarni Ravne so že pred nekaj leti opustili dolgotrajno difuzijsko dezoksidacijo z belo žlindro in se odločili za učinkovito obarjalno preddezoksidacijo z aluminijem in SiMn ter dokončno dezoksidacijo s CaSi<sup>11</sup>.

Pri izdelavi industrijskih poskusov smo zasledovali velikost avstenitnega zrna, vzporedno pa

ugotavljali tudi vpliv spremembe vplivnih dejavnikov na vrsto, količino in razporeditev nekovinskih vključkov, trakavost, prekaljivost...

Pri pregledu 112 talin kvalitete Č 4320 smo ugotovili, da 22 % talin ni doseglo ocene zrnatosti 5. Povprečna velikost zrna je bila 5,37, vendar so bile posamezne vrednosti močno raztresene okoli povprečja (slika 2).



Slika 2  
Kumulativna porazdelitev velikosti avstenitnega zrna cementacijskega jekla Č. 4320  
Fig. 2  
Cumulative distribution of austenite grain size of C. 4320 carburising steel

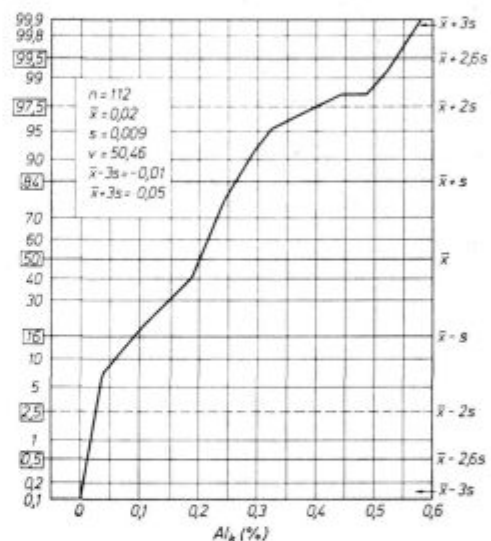
Se večje trosenje pregledanih talin ima vsebnost kislinotopnega aluminija v talinah (slika 3). Srednja vrednost 0,020 % Al<sub>k</sub> pa ustreza maksimalno doseženemu povprečju velikosti avstenitnega zrna, kar prikazuje slika 4. O mehanizmu vpliva vsebnosti aluminija na tako obliko krivulje smo v uvodu že pisali. Ugotovljena povprečna vsebnost Al<sub>k</sub> potrjuje, da je dodatek aluminija tehnološko pravilno predpisan. Očitno pa je tudi, da ne obvladamo tako velikega trosenja vrednosti. Diagram na sliki 4 je v praksi zelo pomemben. Povemo naj še, da se moramo prevelikih količin aluminija bolj bati kot premajhnih. Z večanjem Al<sub>k</sub> se namreč večajo možnosti nastanka raztrganin pri plastični predelavi. Črtkana črta na sliki 4 kaže vpliv kislinotopnega aluminija na izmeček zaradi raztrganin. Poudarimo pa naj, da so naši raziskovalci<sup>12</sup> že poročali o načinu zmanjšanja raztrganin pri jeklih s preveliko vsebnostjo aluminija. Gre za princip zadostnega ohlajanja ingotov pred ponovnim segrevanjem za plastično predelavo, kar vpliva na velikost in gostoto neraztopljenih izločkov AlN.

Krivulja na sliki 4 predstavlja povprečne vrednosti velikosti zrn. Vertikalne črtkane črte, ki sekajo krivuljo, pomenijo razliko med povprečjem maksimalnih in minimalnih velikosti zrn. Najbolj enakomerna so zrna v optimalnem območju drobnostnosti in razlike so najmanjše

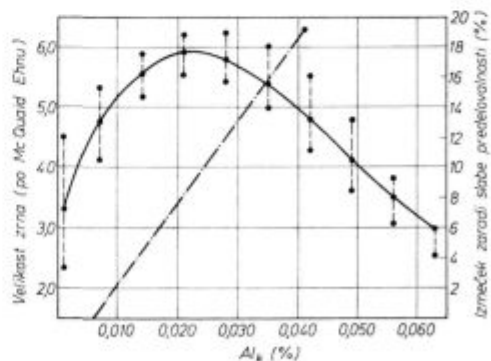
pri maksimalni doseženi velikosti zrn. Zrna so torej tem manj neenakomerna, čim drobnejša so. Rešitev problema zrnatosti pomeni zato hkrati tudi rešitev neenakomernosti zrna.

Nekateri raziskovalci<sup>10</sup> trdijo, da prispevajo k zaviranju rasti zrn tudi sulfidni vključki. Zato smo izdelali regresijsko analizo skupnega vpliva aluminija, silicija in žvepla na velikost zrna. Dobili smo odvisnost o ugodnem vplivu žvepla na zrnatost (slika 5). Ne smemo pa pozabiti, da pozitiven vpliv žvepla na velikost zrna in obdelovalnost jekla ne more nadoknaditi slabših mehanskih lastnosti ter plastičnosti pri predelavi in zato vpliva žvepla nismo detajlneje raziskali. Vpliv silicija pa je povezan z večjim ali manjšim odgorom aluminija.

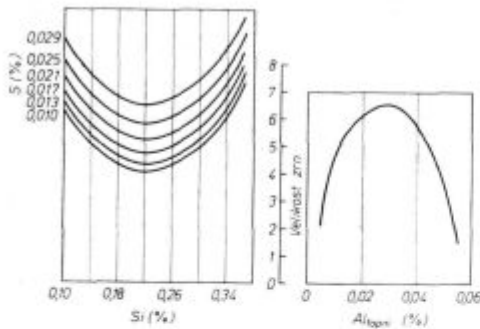
Da pa bi popolnoma izločili ostale vplive in zasledovali samo vpliv aluminija na velikost zrna, smo izdelali dve talini, tako da smo pred litjem vsake od treh plošč potopili v talino aluminij.



Slika 3  
Kumulativna porazdelitev kislinotopnega aluminija  
Fig. 3  
Cumulative distribution of aluminium soluble in acid



Slika 4  
Vpliv vsebnosti kislinotopnega aluminija na velikost avstenitnega zrna  
Fig. 4  
Influence of content of aluminium soluble in acid on the size of austenite grain



Slika 5

Vpliv vsebnosti kislinotopnega aluminija, silicija in žvepla na velikost avstenitnega zrna

Fig. 5

Influence of content of aluminium soluble in acid, of silicon, and sulphur on the size of austenite grain

Prva plošča je imela dva ingota, druga osem in tretja šest ingotov. Pred valjanjem in po njem smo merili temperaturo jekla. Ogrevanje smo zasledovali po pečeh in po celicah. Izvaljane gredice se po temperaturi niso bistveno raziskovale. Iz tabele 1 je razvidno, da ima aluminij dejansko odločilno vlogo. Ingoti prve plošče, ki so bili odliti z malo (talina 29775) ali brez aluminija (talina 29776), imajo zelo grobo zrno. Velikost zrna izvaljanih ingotov druge plošče je veliko boljše, popolnoma pa ustrezajo predpisom (finejše zrno od 5 po ASTM) ingoti iz tretje plošče.

Tabela 1: Vpliv različnih dodatkov aluminija na velikost zrna

	29775			29776		
	1. pl.	2. pl.	3. pl.	1. pl.	2. pl.	3. pl.
Dodano Al (kg)	4	6	4	0	12	4
Al <sub>k</sub> (%)	0,009	0,012	0,026	0,002	0,014	0,032
Velikost zrna	0-4	4-6	5-6	1-5	3-6	5-6
Končna temp. valjanja	1080	1090	1100	1150	1130	1120

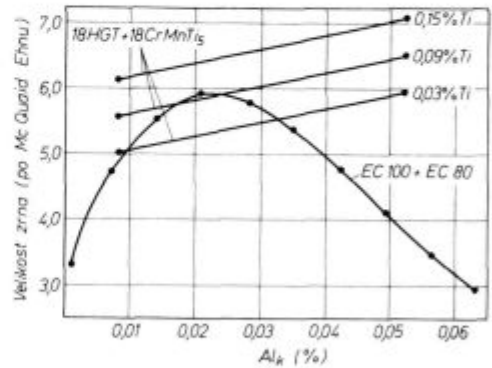
### 3.2 Analiza kombinirane uporabe aluminija in titana

Za ugotavljanje vplivov različnih vsebnosti titana v kombinaciji z aluminijem na velikost avstenitnega zrna smo izbrali vrsti jekla 18CrMnTi5 in 18HGT. Po kemijski analizi sta jekli podobni Č 4321 (EC-100) (tabela 2). Skupno smo pregledali 138 talin z dodatki titana in aluminija. Aluminij je bil dodan za preddezoksidacijo in med prepihanjem taline z argonom v ponvi, titan pa smo dodajali v ponev med izpustom jekla.

Na sliki 6 smo prikazali primerjavo statistične analize velikosti zrn med jekli z aluminijem in s kombinacijo aluminija in titana.

Tabela 2: Sestava jekel EC 100, 18CrMnTi5 in 18HGT

Jeklo	C %	Si %	Cr %	Mn %	Ti %	P <sub>max</sub> %	S <sub>max</sub> %
EC 100	0,20	0,25	1,15	1,25	—	0,035	0,035
18CrMnTi5	0,20	0,25	1,15	0,95	0,080	0,035	0,035
18HGT	0,20	0,25	1,15	0,95	0,060	0,035	0,035



Slika 6

Vpliv kombinacije vsebnosti aluminija in titana na velikost avstenitnega zrna

Fig. 6

Influence of combined content of aluminium and titanium on the size of austenite grain

Pokazalo se je, da titan izboljša velikost zrna v ožjem intervalu trosenja. Zrno je bolj drobno v spodnjih in višjih razredih velikosti zrn. Ugotovitev je pomembna zato, ker titan z aluminijem omogoča doseči drobno zrno tudi tam, kjer od pove učinek nizkih ali previsokih vsebnosti aluminija. Ponovno pa moramo poudariti, da je uporaba titana kot regulatorja velikosti avstenitnega zrna močno omejena zaradi poslabšanja čistoče jekla. Pri tem je neugodna predvsem grupiranost titanovih nekovinskih vključkov v obliki trakov.

O verjetnem mehanizmu vpliva kombinacije aluminija in titana na velikost zrna smo že govorili, vendar je linearno odvisnost velikosti zrna od vsebnosti aluminija v jeklu ob prisotnosti titana vseeno težko pojasniti. Iz slike 6 je namreč mogoče sklepati, da titan popolnoma zakrije ugotovljeni zvonasti učinek aluminija na velikost zrna. Po mnenju F. Vodopivca lahko sklepamo dvoje: ali se v področju koncentracije titana 0,03 do 0,15 % ne spreminja topnostni produkt za tvorbo titanovega karbida in s tem velikost izločkov, ki imajo zavorni učinek (to bi se dalo sklepati po analogiji z obliko odvisnosti med topnim aluminijem in velikostjo zrn), ali pa je učinek titana v prisotnosti aluminija vezan na mehanizem afinacije, kakršen v dosedanji literaturi ni zabeležen. Ker ni bila narejena analiza razdelitve dušika med aluminijem in titanom, je o mehanizmu konkretnega afinacijskega vpliva kombinacije aluminija in titana dejansko težko govoriti. Poudarimo pa naj, da so dobljeni rezultati pomembni, ker so

rezultat dejanskega stanja analize velikega števila talin (138) in da smo podobne linearne vplive te kombinacije ugotovili tudi pri študiju vpliva CaBaS in Cer-mish metala, o čemer bomo poročali v drugem delu članka.

#### 4. Zaključki

Analiza podatkov industrijske izdelave 112 talin cementacijskega jekla je pokazala jasno zvoznost odvisnost velikosti primarnega zrna od končne vsebnosti topnega aluminija v jeklu. Predpisano drobno zrnatost povprečne velikosti 5 po ASTM tabeli dosežemo v mejah 0,015 do 0,030 % topnega aluminija. Pod to vsebnostjo in nad njo bo zrno grobo. Hkrati se je pokazalo, da dobimo v optimalnem območju drobnost zrnatosti tudi najbolj enakomerne velikosti zrn, oziroma najmanjše razlike med maksimalno in minimalno oceno velikosti zrna.

Ker pa je tehnološko težko izdelati jeklo z optimalno vsebnostjo topnega aluminija, često nastopajo primeri, da je zrno grobo. Zato smo analizirali še vpliv kombinacije aluminija in titana.

Ugotovili smo, da obstaja linearna odvisnost velikosti zrna od vsebnosti topnega aluminija in titana. Taka kombinacija omogoča doseči drobno zrno tam, kjer odpove učinek premajhnih ali prevelikih vsebnosti aluminija. Nismo pa uspeli dati točnega odgovora o mehanizmu zaviranja rasti v takem primeru, čeprav je verjetno, da je tvorba titanovih karbonitridov z veliko ogljika pomagala doseči drobno zrno zunaj optimalnega območja vsebnosti topnega aluminija v jeklu.

Uporaba titana kot regulatorja velikosti avstentnega zrna pa je omejena zaradi tvorbe grobih titanovih oksidov in nitridov, ki nastajajo pri kristalizaciji jekla in močno poslabšajo čistost jekla.

V drugem delu tega članka bomo poročali še o vplivu dodatne dezoksidacije s CaBaSi in vplivu Cer-mish metala. Na osnovi opisanih preiskav in dobljenih rezultatov pa lahko zaključimo, da

bomo dosegli najboljše primarno zrno v primeru uporabe samo aluminija, pri vsebnosti topnega aluminija 0,015 do 0,030 %. Pri kombinaciji aluminija in titana pa bomo dobili drobnejše zrno od 5 z vsebnostjo topnega aluminija nad 0,010 % in vsebnostjo titana 0,100 do 0,150 %.

#### Literatura

1. Macur V., V. Prešern, A. Rodič, V. Strahovnik, F. Kandare: »Vpliv parametrov pri izdelavi jekla na velikost austenitnega zrna«, Poročilo Metalurškega inštituta v Ljubljani, št. 481, Ljubljana, april 1971
2. Dahl W., H. Henstenberg: »Untersuchungen über die Ursachen für das Auftreten von Warmbruch an niedrig Legierten allgemeinen Baustählen«, Archiv für das Eisenhüttenwesen (Düsseldorf) 12 (1964), 1123—1131
3. Vodopivec F., L. Kosec, A. Kveder: »O morfologiji in topologiji nitridnih izločkov in o njihovem zaviralnem vplivu na rast austenitnih zrn v jeklih«, Rudarsko-metalurški zbornik (Ljubljana) 1 (1969), 13—24
4. Gladman T., F. B. Pickering: »Grain-coarsening of austenite«, Journal of the Iron and Steel Institute (London) 6 (1967), 653—664
5. Yamanaka K., Y. Ohmazi: »Effect of Boron on Transformation of Low Carbon Low-alloy steels«, Transactions of the Iron and Steel Institute of Japan (Tokyo) 17 (1977), 92—101
6. Halley J. W.: Transactions of the American Institute of Metallurgy (1946), 224
7. Chatterjea A. B., B. R. Nijhawan: Metallurgical Treatment 24 (1957), 3—6, 54—60
8. Prešern A., M. Dobovišek, V. Rac: »Legiranje Al k cementacijskemu jeklu za dosego optimalnih koncentracij, ki jih zahteva drobno zrno jekla«, Poročilo Metalurškega inštituta v Ljubljani, št. 112, september 1972
9. Arh J., F. Vodopivec: »Zveza med preoblikovalnostjo nizkoogljicnih jekel in vsebnostjo aluminija in dušika, 1. del«, Zelezarski zbornik 4 (1970), 259—264
10. Biggs B. L.: »Austenite grain-size control of medium-carbon and carburising steels«, Journal of the Iron and Steel Institute (London) 8 (1959), 361—377
11. Dobovišek M., A. Rodič, V. Macur: »Izboljšanje velikosti austenitnega zrna in čistoče jekla za cementacijo«, Zelezarski zbornik 4 (1970), 225—245
12. Vodopivec F., J. Arh, A. Osojnik: »Zveza med preoblikovalnostjo nizkoogljicnih jekel in vsebnostjo aluminija in dušika, 2. del«, Zelezarski zbornik 4 (1970), 265—270

#### ZUSAMMENFASSUNG

Die Auswertung der Ergebnisse von 112 Schmelzen eines Einsatzstahles zeigte eine glockenartige Abhängigkeit der Primärkorngrösse vom säurelöslichen Aluminium in der Endanalyse (Bild 4). Das vorgeschriebene Feinkorn der Grösse 5 nach ASTM Richtreihe wird bei einem säurelöslichen Aluminiumgehalt in den Grenzen von 0,015 bis 0,030 % erreicht. Unter und ober diesem Aluminiumgehalt wird das Gefüge grobkörnig. Es hat sich auch gezeigt, dass im günstigsten Feinkornbereich auch ein gleichmässiges Korn bzw. die kleinsten Unterschiede zwischen der grössten und der kleinsten Korngrössenwertzahl erreicht werden.

Auch der Einfluss der Kombination von Aluminium und Titan ist analysiert worden. Wir haben eine lineare Abhängigkeit der Korngrösse vom säurelöslichen Aluminium- und Titangehalt festgestellt (Bild 6). Solche Kombination ermöglicht ein feines Korn dort zu erreichen, wo der Einfluss der zukleinen oder zugrossen Aluminiumgehalte versagt. Es ist uns nicht gelungen eine exakte Erklärung

über den Mechanismus der Kornwachstumverzögerung in solchem Falle zu geben.

Die Anwendung von Titan für die Regelung der Austenitkorngrösse ist wegen der Bildung von groben Titanoxiden und Titanitriden, welche beim Erstarren von Stahl entstehen und die Reinheit des Stahles stark verschlechtern, begrenzt.

Im weiteren wird noch über den Einfluss einer zusätzlichen Desoxydation mit CaBaSi und mit Cer-Mischmetall berichtet. Auf Grund der beschriebenen Untersuchungen und der erhaltenen Ergebnisse kann geschlossen werden, dass die günstigste primärkorngrösse nur im Falle der Anwendung von Aluminium bei einem Gehalt von säurelöslichen Aluminium von 0,015 bis 0,030 % erreicht wird. Bei der kombinierten Anwendung von Aluminium und Titan wird ein feineres Korn als 5 nach der ASTM Richtreihe bei einem säurelöslichen Aluminiumgehalt über 0,010 %, und Titangehalt von 0,10 bis 0,15 % erreicht.

## SUMMARY

The analysis of making 112 melts of carburising steel showed that the relationship between the size of primary grains and the final content of soluble aluminium in steel can be described by a bell-like curve (Fig. 4). The prescribed fine grains of the average size of 5 according to ASTM can be achieved with 0.015 to 0.030 % soluble aluminium. Simultaneously it was found that in the optimal region for obtaining fine-grained structure also the best uniformity of grains is achieved, i.e. there are the smallest differences between the maximal and minimal class of grains.

Also the influence of combination of aluminium and titanium was analyzed and a linear relationship between the grain size and the content of soluble aluminium and titanium was found (Fig. 6). Such a combination enables to obtain fine grains also then when the effect of too small or too big amounts of aluminium does not help.

But the exact mechanism of hindrance of the grain growth was not determined in this case.

The use of titanium to regulate the size of austenite grains is limited due to the formation of coarse titanium oxides and nitrides during the solidification of steel and thus the purity of steel is reduced.

Later also influence of additional deoxidation by Ca Ba Si and the influence of adding cerium mischmetal will be discussed. But the described investigations and the obtained results lead to the conclusion that the best primary grain will be obtained by the use of aluminium itself when its content is 0.015 to 0.030 %.

With combination of aluminium and titanium finer grain than 5 according to ASTM was obtained when steel contained over 0.010 % soluble aluminium and 0.100 to 0.150 % titanium.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование изготовления 112-ти плавков стали для цементации показала вогнутую зависимость величины примарного зерна конечного содержания плавкого алюминия в стали (рис. 4). Предписанную мелкозернистость средней величины 5 по ASTM можно получить, если содержание плавкого алюминия находится в пределах между 0,015 и 0,030 %. Свыше и ниже этого содержания алюминия образуется крупнозернистая структура. Параллельно с этим оказалось, что в оптимальной области мелкозернистости величина зерен более всего равномерна, т. е. разница между максимальной и минимальной величиной зерна — минимальная. Рассмотрено также влияние комбинации алюминия и титана и установлено, что существует линейная зависимость между величиной зерна и содержанием плавкого алюминия и титана (рис. 6). Такая комбинация дает возможность получить мелкие зерна также в случаях, когда небольшие и наоборот

значительные содержания алюминия не оказывают требуемые результаты. Но разрешить вопрос причины торможения увеличения зерен пока не удалось. Применение титана как регулятора величины аустенитных зерен ограничено вследствие образования крупных оксидов и нитридов, которые образуются при кристаллизации стали и существенно ухудшают ее чистоту.

В продолжении этой работы будет рассмотрено еще о влиянии добавочного раскисления с Ca Ba Si и о влиянии Ce-мисхметалла. На основании описанных исследований и о полученных результатах можно заключить, что самое лучшее примарное зерно при применении только алюминия можно получить при содержании 0,015—0,030 % плавкого Al. При комбинации Al и Ti зерно величины 5-ти по ASTM можно получить при содержании плавкого Al свыше 0,010 % и содержании Ti между 0,100—0,150 %.

П. Бергер/Цельс

# **Dosedanje izkušnje Mariborske livarne pri izboljševanju delovnih pogojev in zmanjševanju onesnaženja zraka**

UDK: 669.2/8:331.82:641.7  
ASM/SLA:

Ludvik Puklavec

Potreba za reševanje problemov onesnaženja okolja v MLM izhaja iz temeljne dejavnosti delovne organizacije, ki je takšna, da pri proizvodnih procesih nastajajo posebne toplotne razmere, dimi, prah, ropot, odplake in razni trdni odpadki. V proizvodnih obratih TOZD Maribor predelujemo barvaste kovine v standardne zlitine in polizdelke s taljenjem, rafinacijo, litjem in postopki gnetne predelave. Izdelujemo tudi določene končne izdelke, kjer uporabljamo postopke strojne obdelave in površinske obdelave z mehanskimi in galvanskimi postopki. Za vzdrževanje take proizvodnje so potrebne še stranske dejavnosti, ki zagotavljajo oskrbo z orodji, energijo, vodo, transportno povezavo in drugo.

Pri takšni dejavnosti so pojavi dima, plinov, prahu, ropota in povišanih temperatur povsem normalni. Ti pojavi so navadno kombinirani, na različnih lokacijah in z različno intenzivnostjo.

Izpuščanje dima, prahu in par v atmosfero, kar je bila za tovrstno dejavnost v svetu do nedavnega običajna praksa, je v našem primeru nevzdržno. Naši obrati so namreč locirani v ožjem področju Maribora, kjer so še številni industrijski obrati, obrati drugih delovnih organizacij. Razen tega pa so v samem Melju še stanovanjski predeli, ostala naseljena področja Maribora pa so v neposredni bližini.

## **Izvori in vrste emisij in odpadnih snovi pri predelavi bakra v TOZD Maribor**

Pri poslovanju TOZD nastanejo odpadne snovi, ki odhajajo iz mesta nastajanja v obliki dima, delno pa tekočih odplak. Trdne odpadke opredeljujemo po njihovi uporabnosti za ponovno izkoriščanje v lastni tehnologiji in tehnologiji drugih DO, medtem ko zavržemo le neuporabne odpadke.

### **1. Dim**

Dim vsebuje poleg sestavin zraka še druge pline, pare in prah. Škodljivost dima lahko ocenimo, če poznamo njegovo sestavo in fizikalne

značilnosti. Ti podatki so potrebni tudi za snovanje naprav, ki služijo za zajetje, odvajanje in čiščenje dima.

Podatkov o dimu v našem primeru ni bilo mogoče posneti po nekih vzorih ali literaturi. Dim nastaja namreč v agregatih, ki so dokaj specifični. Razen tega pa je količina in značilnost dima odvisna od vložnega materila, vrste goriva in tudi od faze delovnega procesa. Tako agregati kot tudi postopki zelo vplivajo na karakteristike dima, odločilni pa so tudi pri zasnovi naprav, s katerimi želimo zaščititi posluževalce in zajeti dim ter ga odvesti od izvora in iz delovnega prostora.

Zato smo ob koncipiranju razvoja opredelili perspektivnost posameznih postopkov in agregatov tako s tehnološkega kot z ekološkega vidika. Pri tem smo nekatere tehnološke postopke opredelili kot neperspektivne, ki jih je potrebno opustiti. Perspektivne postopke in agregate, ki smo jih izbrali za razvijanje posameznih tehnologij in obratov, pa smo se odločili podrobneje raziskati tudi z ekološkega vidika. Po presoji še po tem kriteriju smo izbrali 4 osnovne tipe talilniških in livarskih agregatov.

Izbrane vrste peči smo po obsežnih preizkusih prilagodili našim posebnim potrebam in jih tipizirali, kar omogoča serijsko izdelavo samih peči in nudi vrsto prednosti pri eksploataciji. Pri razvoju tipiziranih zajemalnih peči smo zagotovili izvedbo in karakteristike peči, ki upošteva naše tehnološke zahteve, ne povzroča večjega poslabšanja delovnih pogojev na delovnem mestu livarja in omogoča namestitvev zajemalne nape tako, da osnovne funkcije peči niso ovirane.

Mnogi izvori dima so postopoma izginjali skladno z izvajanjem programa posodabljanja tehnologije, kar pa je pomenilo opustitev in nadomestitev zastarelih in neperspektivnih naprav. Z ukinitvijo teh naprav je problem dima odpadel, ker smo vse nadomestne naprave uredili primerne tudi z ekološkega vidika.

Program saniranja emisij dima smo lahko izvajali samo postopoma glede na investicijske sposobnosti DO.

Dejanski začetek tega prizadevanja je kompleksna raziskava dima na rotacijski plamenski

Ludvik Puklavec, dipl. inž.  
Direktor razvoja v Mariborski livarni

talilni peči in tipični indukcijski talilni peči leta 1966. Na teh dveh tipih peči nastanejo največje količine dima, peči in postopki pa so reprezentativni za talilniško in livarsko tehnologijo v naši DO. Z meritvami smo zajeli emisije med celotnimi tehnološkimi cikli in zbrane vzorce raziskali ter meritve izvednotili. Dobili smo študijo z naslednjimi podatki: sestava dimnih plinov, temperatura dima, hitrost in količina dimnih plinov, količina prahu, kemična in granulometrijska sestava prahu v času tipičnih zaokroženih tehnoloških ciklov. Podatke smo nato verificirali še s paralelnimi raziskavami in drugimi informacijami. S tem smo dobili osnovo za vse naslednje ukrepe.

## 2. Prah

Prah in druge nečistoče nastajajo pri mnogih delovnih operacijah. Da bi zaščitili osebje, zagemamo prah in ga odsesavamo. Odvajanje in izpuščanje zaprašenega zraka v ozračje, na primer nad streho delovnega prostora, kar je najenostavnejša rešitev, dandanes ni več zaželeno.

V naših proizvodnih obratih imamo mnogo delovnih mest, kot: brušenje z brusno ploščo ali trakom, rezanje s keramično rezalno ploščo, peskanje, poliranje in druge postopke mehanske obdelave, kjer nastaja prah. Količina, kemična sestava, granulometrijska sestava in fizikalna priroda so odvisne predvsem od delovnega postopka. Skladno s temi karakteristikami, ki pa so splošno poznane tudi v literaturi, izbiramo način filtriranja prahu.

## 3. Plini in pare

Plini in pare nastajajo v naši dejavnosti pri talilniških in rafinacijskih postopkih, pri luženju, jedkanju, galvanizaciji in posebnih postopkih obdelave kovin. Sestava in koncentracija škodljivih snovi je odločilna za obdelavo odsesane mešanice pred izpustom v ozračje. Za zmanjševanje emisij škodljivih par v okolje smo zgradili nekaj pralnih naprav.

## 4. Trdne odpadne snovi

Opređeljujemo jih predvsem po tem, kolikšna je njihova možnost ponovne uporabe, da bi čimveč koristnih snovi vračali v tehnološki tok. Naše osnovne surovine so barvne kovine: baker, cink, aluminij, kositer in svinec, ki so relativno drage in zato že z vrednostnega vidika ni mogoče dovoliti prekomernih izgub. Z ekološkega vidika pa pomenijo izgube težkih kovin onesnaževanje okolja.

Naša DO je po tradiciji usmerjena na predelavo sekundarnih surovin, saj znaša delež sekundarnih surovin okrog 60 % od celotne količine vložnega materiala. Osnovna tehnologija je zato prilagojena tem surovinam. Istočasno pa reciklira-

mo v lastni tehnološki tok praviloma vse odplake, ki nastajajo v lastni predelavi, razen tistih, kjer so kovine že kemično vezane.

Lastne odpadke in kupljene odpadne surovine razvrščamo po obliki v kosovne odpadke, ostružke in žindre.

Tehnologija predelave lastnih in nabavljenih odpadnih surovin je prilagojena obliki in vrsti materiala. Cilj predelave so standardne zlitine bakra, aluminija in cinka. Tehnologija obsega pripravo surovin in talilniško predelavo. Tehnologija je z ekološkega vidika »umazana« z emisijami dima. Naša glavna prizadevanja so veljala zmanjševanju teh emisij.

## PRINCIPI REŠEVANJA EKOLOŠKIH PROBLEMOV

V preteklem 10-letnem obdobju smo opravili razne meritve, raziskave in zbrali številne informacije, razen tega pa zgradili in nabavili številne informacije, razen tega pa zgradili in nabavili številne naprave, ki ščitijo osebje in varujejo okolje. V osnovi so pri tem spoznali, da ni smiselno ločevati inovacij tehnologije od zahtev po zdravih delovnih pogojih in varstvu okolja. Le sočasno reševanje vseh teh vprašanj omogoča hitre, zanesljive in z vidika vlaganj racionalne izvedbe. Izkušnje nas tudi učijo, da je potrebno v pripravljalni fazi ugotoviti stvarno stanje z dovolj ekzaktnimi meritvami emisij. Pred izdelavo izvedbenih projektov je potrebno praviloma graditi prototipe in praktično preizkusiti bistvene detajle zajemalnega sistema pri sesalnih napravah. Prototipne naprave kaže izpopolnjevati, dokler ne dosežemo zadovoljivih efektov. Pri izboru čistilnih naprav smo se vedno odločali za postopke in naprave, katerih učinkovitost je bila v praksi že dokazana.

Pri posameznih praktičnih rešitvah so nas vodili naslednji principi:

1. Pri posodobitvi livarskih obratov smo se odločili **opustiti naprave**, kjer nastajajo velike količine dima, plinov in prahu. Večina teh naprav je bila slaba tudi s tehnološkega in ekonomskega vidika. Veliko skrb smo posvetili razvoju in tipiziranju talilnih in livnih peči. Razen tega pa smo povsem opustili nekatere proizvodne obrate. Opuštiti smo obrat za litje v pesek z vsemi spremljajočimi dejavnostmi. S tem smo odpravili delovna mesta z neprimernimi pogoji dela in številne izvore dima, prahu in trdnih odpadkov.

Namesto opuščene proizvodnje smo uvedli litje v kokile, centrifugalno in kontinuirno litje, torej manj »umazane« postopke. Razen ekoloških prednosti smo s tem zagotovili boljšo kakovost in komercialno učinkovitost nadomestnih proizvodov.

Več manjših kotlarn smo opustili in namesto njih zgradili skupno kotlarno, kjer je zagotavlje-



no boljše zgorevanje goriva. Z dosledno ureditvijo centralnega ogrevanja prostorov so odpadle tudi ostale individualne ogrevalne peči.

**2. Koncentriranje in ustrezno lociranje** vseh izvorov dima, tako da je mogoče zbiranje v večje čistilne enote. V tem smislu smo opustili številne manjše proizvodne enote in namesto njih smo zgradili večje proizvodne obrate. To je temeljno izhodišče za posodobitev in racionaliziranje tehnologije nasploh. S tem principom zagotavljamo sočasno smiselno, s tehnološkim postopkom vsklajen pretok materiala.

**3. Uporaba čistih goriv** namesto goriv, ki vsebujejo žveplo. V naših pogojih omogoča uporaba čistih goriv tehnološke prednosti. Zato predvidevamo postopno nadomestitev kurilnega olja z »mešanim plinom« (propan + butan + zrak) in zemeljskim plinom. S tem se bodo škodljive emisije nadalje zmanjševale.

**4. Gospodarno izkoriščanje toplote za ogrevanje prostorov.** Pri brušenju, poliranju, rezanju s keramično rezilno ploščo in podobnih postopkih nastali prah odsesavamo od delovnih mest, ga vodimo v čistilno napravo in nato izpuščamo v ozračje. S tem odsesavamo velike količine zraka iz delovnih prostorov. Odsesani zrak nadomestimo z vpihovanjem svežega, vendar pozimi ustrezno segretega zraka. Za ekonomiziranje s toploto zato v filtrih očiščeni zrak pozimi praviloma vračamo v delovni prostor v celoti ali vsaj delno.

Pri projektiranju čistilnih naprav definiramo osnove za projekte ogrevanja in prezračevanja delovnih prostorov. Delovanje čistilnih naprav mora biti vedno usklajeno z delovanjem sistema za ogrevanje in prezračevanje. Zadovoljive efekte dosežemo lahko samo, če oba sistema krmilimo v medsebojni odvisnosti. Pri večjih sistemih je potrebno krmiljenje avtomatizirati. Ventilacijsko ogrevalni sistemi lahko ob smotrni eksploataciji prihranijo velike količine toplote.

**5. Občutek prepiha** nastane pri gibanju zraka, ko hitrost zraka preseže 0,3 do 0,5 m/sek. Večje hitrosti zraka v delovnih prostorih niso dovoljene iz zdravstvenega vidika.

V delovnih prostorih, kjer smo uredili ventilacijsko ogrevalno sisteme, ki skrbijo za učinkovito odvajanje dima in prahu ter dovajanje svežega in segretega zraka, se gibljejo velike količine zraka. Zrak izmenjujemo v odvisnosti od karakteristik ventilacijskega sistema in velikosti delovnega prostora v mejah od 5 do 40-krat na uro.

Pri tako pogosti izmenjavi zraka je potrebno urediti sistem kanalov za dovajanje svežega zraka tako, da sveži zrak nadomesti odvedenega, nečistega, pri tem pa mora ostati hitrost zraka v bivalni coni delovnega prostora v dovoljenih mejah, da nimamo občutka prepiha. Pri testiranju novo zgrajenih ventilacijsko ogrevalnih sistemov ugotavljamo tudi prepih v bivalni coni delovnih prostorov.

**6. Preventivni ukrepi** za zmanjšanje emisij v okolje lahko včasih nadomestijo drage zaščitne ukrepe za čiščenje emisij ali pa čistilne naprave poenostavijo. V naši DO smo uporabili številne preventivne ukrepe. Pomembnejši so naslednji:

— zmanjševanje gorljivih primesi v ostružkih za ponovno pretaljevanje; ostružke v ta namen centrifugiramo, s tem izločimo del primešanega olja; to ima dvojni učinek: manj dima pri predelavi teh ostružkov in ponovno izkoriščanje olja, ki smo ga dobili s centrifugiranjem,

— regeneriranje mazalnih in rezilnih olj in hidravličnih emulzij z ustreznimi čistilnimi postopki omogoča ponovno uporabo le-teh; to pri naša prihranke in zmanjšanje onesnaženja odplak,

— vključevanje posebnih pozgorevalnih naprav, kjer zgorijo še nezgorele sestavine dima (hlapi ogljikovodikov, katran, saje, CO),

— separiranje izolacije odpadnih kablov in izoliranih prevodnikov od kovinskih delov pred pretaljevanjem; s tem preprečimo nastanek plinov in par pri gorenju izolacije, istočasno pa je separiranje sestavnih delov kablov osnova za ponovno uporabo posameznih kovinskih sestavin: bakra, aluminija, svinca, železa.

**7.** Pomembno je tudi načelo, da ukrepi za preprečitev ene vrste emisij **ne smejo povzročiti druge**. Ponudniki čistilnih naprav namreč pogosto ponujajo rešitve, npr. za čiščenje dima po mokrih postopkih, pri čemer pa nastane nerešeno vprašanje čiščenja odplak.

V vsakem primeru pa se pojavi vprašanje, kako izkoriščati ali brez škode deponirati odpadke in ostanke, ki ostanejo po čistilnem procesu.

**8. Hrup** je reden spremljevalec čistilnih naprav. Hrup, ki prekoračuje dovoljeno intenzivnost, povzročajo pri večjih čistilnih napravah dima in prahu ventilatorji. Hrup se prenaša po kanalih v delovni prostor in preko čistilne naprave, izpusta očiščenega zraka ali direktno tudi v okolje. Zato vgradimo v kanale elemente s posebno izolacijo, da zavarujemo delovne prostore. Za zunanje naprave moramo izbrati primerno lokacijo in predvideti zaščito, ki preprečuje prenašanje hrupa v okolico. Pri samem izboru čistilne naprave pa upoštevamo tudi hrupnost možnih variant.

Normativi za dovoljeno raven hrupa, ki jih vsebuje odlok po Uradnem listu SRS št. 3/77 so zelo ostri za nočni čas in za mešano industrijsko-stanovanjska področja. Zakon nas obvezuje, da izdelamo in uresničimo sanacijske programe. Kljub temu, da je potrebno program šele izdelati, je že sedaj jasno, da bo doseganje predpisanih normativov zelo težavno. Možne rešitve so odstranitve stanovanjskih zgradb v mešanih industrijsko-stanovanjskih območjih in opuščanje dela v nočnem času. Oboje posega v temelje pogojev za poslovanje naše DO.

Kompleks **stroškovnih odnosov** pri obratovanju in vzdrževanju čistilnih naprav je pomemben element pri izbiri postopka in naprave za preprečevanje emisij v okolje. Pri tem je razen samih stroškov potrebno presoditi obrobna vprašanja, ki zadevajo porabo in razpoložljivost energije, fluidov in drugih materialov. Pri stroškovni analizi postopkov in naprav za čiščenje emisije je potrebna kompleksna raziskava spremljajočih pojavov in njihova stroškovna intenzivnost.

Zagotavljanje ustavnih določil o primernih delovnih pogojih in preprečitev onesnaženja okolja odražajo veljavni predpisi. S tem so organizacije združenega dela nedvoumno vezane, da gradijo vse nove naprave skladno s predpisi. Razen tega obveznost obsega tudi saniranje vseh obstoječih naprav. To zahteva veliko znanja, praktičnih izkušenj ter zanesljive in preizkušene čistilne naprave. Predpisi zato postavljajo celoten kompleks izgradnje gospodarskih objektov na docela nove principe.

Po naših izkušnjah obstoječa struktura za razvojno raziskovalno dejavnost, prostorsko planiranje, projektiranje procesov, projektiranje ob-

jektov in graditev čistilnih naprav v delovnih organizacijah in zunaj njih še ni tako razvita, da bi lahko pripravili ustrezne projekte za ukrepe, ki jih sedaj uveljavljeni predpisi zahtevajo v sorazmerno kratkem času. Prenagljeni, nezadostno pripravljeni projekti in nezadostno preizkušeni postopki in naprave za nove objekte in sanacijo obstoječih pa skrivajo v sebi velike nevarnosti za zgrešeno investiranje.

Za financiranje pripravljalne dejavnosti bi kazalo bolj angažirati republiške sklade za raziskovalno dejavnost. Prav tako je potrebno tehnične raziskovalne institucije, ki so usmerjene na druga področja, angažirati za raziskave in razvoj dejavnosti za varstvo okolja.

Izvajanje sanacij za čisto okolje zahteva znatna sredstva. Ocena predračunskih vrednosti je negotova, vse dokler niso izdelani izvedbeni projekti in določeni časovni plani graditve, ki omogočajo sočasno oceno podražitev v času graditve.

Na tej osnovi lahko zaključimo, da bodo prizadevanja za čistejšo okolje povezana s številnimi problemi, ki jih v javnosti pogosto podcenjujemo.

## ZUSAMMENFASSUNG

In den Betrieben der Giesserei »Mariborska livarna« sind viele Anlagen und Verfahren im Betrieb, welche Herkunft von Rauch, Staub, Gasen und Lärm sind. Diese belasten die Arbeitsplätze in den Betrieben und verschmutzen die Umwelt. Diese Erscheinungen sind vielfältig, entstehen aber vorwiegend bei folgenden Tätigkeiten: Schmelzen und Gießen der Kupferlegierungen, Vorbereitung der Sekundärrohstoffe, Putzen der Gusstücke, Schleifen und Polieren der metallischen Teile und anderem.

Die Emissionserscheinungen sind ausgemessen und analysiert worden. Die Emissionen sind in Abhängigkeit von den Anlagen und während der gesamten Arbeitszyklen festgestellt worden. Auf diese Weise sind die Grundlagen für die Sanierung bestimmt worden. Für die Sanierung selbst konnten nur begrenzt die fremden Erfahrungen und Vorbilder angewendet werden. Wegen der spezifischen Bedingungen sind für manche Anlagen für unsere Verhältnisse die geeignetsten Verfahrensaggregate und Anlagen für die Einschliessung bzw. Sicherung vor Emissionen projektiert und entwickelt worden. Das Ziel war die Sicherung der Arbeiter an Arbeitsplätzen und Verhinderung der Emissionen in die Umgebung.

Es wurde gebaut:

— die Staubababsaugung an Arbeitsplätzen zum Schleifen und Polieren mit den Filteranlagen mit teilweiser Win-

dreierkulierung in die Schleifbetriebe mit vier Filtern zu je 20.000 m<sup>3</sup>/h.

— Ein Entstaubungssystem für Gase dreier Induktions-schmelzöfen für das Schmelzen von Messing mit einer Stundenleistung von 18.000 m<sup>3</sup>.

— Ein System für die Absaugung und Entstaubung der Gase von 15 Induktions-Schmelz- und Schöpfinduktionsöfen der Kokillengießerei für Messing, mit der Anlage für die Zuleitung konditionierter Luft, mit einer Leistung von 90.000 m<sup>3</sup> pro Stunde.

— Ein System für die Abseugung Kühlung und Entstaubung der Gase aus der Schmelzhütte für Kupferlegierungen mit einer Leistung von 150.000 m<sup>3</sup> pro Stunde, mit den Anlagen für die Zuleitung der konditioniert Luft in den Betrieb.

— Absaugung und Entstaubung der Abluft und Lüftung von mehr Gussputzereien.

— Viele andere kleinere Sanierungen für die Verbesserung der Arbeitsbedingungen.

Die Messungen in den sanierten Produktionsbetrieben und beim Austritt der Abgase aus den Entstaubungsanlagen ergaben zufriedenstellende Effekte der eingebauten Anlagen.

## SUMMARY

In Mariborska livarna numerous set-ups in various plants represent sources of smoke, dust flue gases due to technological processes which worsen working conditions and causes emission into environment. This is mainly true for melting and casting copper alloys, recovery of secondary raw materials, cleaning of castings, grinding and polishing metallic parts, etc.

The emission was measured and analyzed: emission of single set-ups during complete working cycles was determined. Thus the basis for improvements was stated.

Foreign patterns and experiences could be applied only partially. Due to specific conditions, the most suitable equipment for collecting and cleaning was sometimes designed and tested in our conditions. The final aim was to protect workers in the plant and to protect the environment. Therefore the following set-ups were constructed:

— gas collecting systems in plants for grinding, and polishing, filtering and partial recycling of air. Four filters were installed with 20,000 m<sup>3</sup>/h capacity each.

— gas collecting system and filtering flue gases from three melting induction furnaces for melting brass with the capacity 18,000 m<sup>3</sup>/h.

— gas collecting system and filtering flue gases from 15 melting and holding induction furnaces in the brass mould casting plant, simultaneously with the air conditioning system, capacity 90,000 m<sup>3</sup>/h.

— gas collecting system, cooling and filtering flue gases from the melting plant for copper alloys of capacity

150,000 m<sup>3</sup>/h together with the equipment for supplying conditioned air to the plant.

— collecting and filtering air and ventilation of plants for cleaning castings.

— numerous other improvements to achieve better working conditions.

After improvement, numerous measurements were made inside the plants and at the outlet of emission into atmosphere. Satisfactory results were obtained.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Антейная цветных металлов в Мариборе имеет в своих цехах целый ряд устройств и агрегатов, которые представляют собой источники дыма, пыли, газов и шума, а также бремя на рабочем месте и исходной пункт эмиссии в окружающую среду. Источники этих явлений весьма разнообразны и представляют собой результат следующих процессов: выплавка и разливка медных сплавов, приготовление вторичного сырья, также режимы очистки отливок, шлифование и полирование деталей и прочее.

Измерение эмиссий выполнялись в зависимости от агрегатов и в интервалах между полными рабочими циклами. Таким образом определены основания для санации. Для самой санации пользовались чужими образцами и опытами только частично. Вследствии специфичности условий проектированы и проверены на опыте агрегаты предназначены для процессов и установки для охватывания, отн. для защиты от эмиссии, которые более всего отвечают условиям для домашнего цеха.

Сооружено:

— система для отсасывания пыли на рабочих местах цеха шлифования и полирования, также и для фильтрования и частичной рециркуляции воздуха при установке фильтровальной стан-

ции с 4 фильтрами мощности 20.000 м<sup>3</sup>/ч каждого фильтра;

— система для отсасывания и фильтрования дыма из трех индукционных плавильных печей для плавки меди мощности 18.000 м<sup>3</sup>/ч;

— система для охватывания и фильтрования дыма из 15-ти плавильных печей и 5-ти стационарных тигельных индукционных печей в отделении кокшального антия меди с устройством для подачи кондиционированного воздуха мощности 90.000 м<sup>3</sup>/ч;

— система для охлаждения и фильтрования дыма из плавильного цеха сплавов меди мощности 150.000 м<sup>3</sup>/ч с устройством для подачи кондиционированного воздуха в плавильное отделение;

— устройства для отсасывания и фильтрования воздуха из отделений для обрубки и очистки отливок;

— многочисленные остальные небольшие санации для улучшения окружающей рабочей среды.

В санированных отделениях и при выходе эмиссий в атмосферу выполнены многочисленные измерения, которые показали удовлетворительные результаты действия установленных сооружений.

П. Бергер/Целье



# Aluminijska industrija in zaščita okolja

UDK: 669.71:628.512:331.82  
ASM/SLA: Al, W16c, W13j

Ivo Ercegović

Znano je, da se pri elektrolizi aluminijske sproščajo velike količine plinov CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, CS<sub>2</sub> ter prašnati delci glinice, katrana, ogljika itd. Aluminijska industrija kot oneznaževalec okolja je svojo »popularnost« dobila zaradi neznatnih količin fluorjevih komponent. Značilno je, da noben element, ki se nahaja v človekovem okolju, in seveda tudi v njegovem tkivu, ni zbudil toliko pozornosti kot fluor. Misterij fluorja je privlačil številne raziskovalce, ki so ugotavljali vpliv fluorja na človeka, živali in rastlinstvo.

Rezultati posameznih raziskav so med seboj precej nasprotni, kar je vplivalo tudi na zakonodajalce, da so določali nemogoče normative o količinah in koncentracijah fluorja v ozračju. Pri nas je nepravilno, da pri določanju normativov (tudi pri najnovejših predpisih iz varstva zraka v SRS) ni sodelovala tudi industrija, ampak se je težišče preneslo na same raziskovalne institucije.

V tem poročilu bom skušal pojasniti osnovne probleme, ki nastajajo pri zbiranju in čiščenju plinov pri obstoječem sistemu v TGA Kidričevo.

Opisal bom tudi prizadevanja TGA, da v okviru srednjeročnega programa razvoja rekonstrukcije naprav za proizvodnjo aluminijske upošteva najnovejša tehnična spoznanja s področja varstva okolja.

## 2. SISTEM ZBIRANJA IN ČIŠČENJA PLINOV V TGA

Pri normalnem obratovanju elektrolitske celice (Söderberg tip) sta glavni sestavini izločenega plina CO<sub>2</sub> (40—70 %) in CO (10—30 %). Ti plini se običajno ne štejejo za škodljive, ker v gorilniku CO zgore v CO<sub>2</sub>. Izločen plin vedno vsebuje določeno količino žvepljenih komponent in katrana, ki izhajajo iz koks in smole (koks in smola se uporabljata za izdelavo anodnega dela elektrolitske celice). Glinica in fluorjeve komponente izhajajo iz materialov, ki sestavljajo elektrolitsko kopel.

V proizvodnji aluminijske uporabljamo za tvorbo elektrolita kriolit (Na<sub>3</sub>AlF<sub>6</sub>), ki povzroča predčasno topljenje in razkrajanje glinice. Tališče glinice se v elektrolitni talini zniža od 2050 °C na 900 °C.

Elektrolit (ali topilo) sestoji v glavnem iz kriolita, menjajoče se množine glinice in manjše količine aluminijskega fluorida (AlF<sub>3</sub>). Pri obratovanju celice moramo dodajati določeno količino AlF<sub>3</sub> zaradi zadrževanja molarne razmerja med NaF in AlF<sub>3</sub>. Zaradi hlapnosti omenjenih dodatkov, posebej pri povišani temperaturi, se sproščajo fluorjeve komponente (v nadaljnjem besedilu kot F), kar predstavlja ne samo surovinsko izgubo, ampak tudi nevarnost za okolje.

Na vsako tono proizvedenega aluminijske porabimo 30—40 kg AlF<sub>3</sub> in 40—50 kg Na<sub>3</sub>AlF<sub>6</sub>, kar preračunano na F znaša cca 40 kg F/t Al. Del te količine ostane pri celici (kriolitne pene, katodna podloga itd.), drugi del 18—20 kg F v plinski obliki in v obliki delcev se emitira v okolje. Sestava tega plina pri Söderberg celici je 80—90 % HF, delci so v glavnem iz kriolita.

K tem podatkom lahko dodamo še ogljik in povečano količino katrana, ki nastajata zaradi nepopolnega zgorevanja (v praksi je to pogost pojav. Za odvek plinov so montirani štirje ventilatorji (344 el. celic) s kapaciteto 4 × 25.000 m<sup>3</sup>/h pri temperaturi 40° C, razlika pritiska 500 mm VS.

Najbolj realne podatke o količinah in koncentracijah različnih komponent v plinu bomo dobili iz podatkov porabljenih surovin.

### a) Količina emitiranega F

Pri dnevni proizvodnji 123 ton aluminijske se sprošča okrog 2300 kg Fg+s/dan. Dnevna količina regeneriranega kriolita znaša okrog 850 kg ali 500 kg F/dan. Z ozirom, da se velika količina F odstrani s prahom pri zbiranju in s blatom pri pranju plinov, lahko rečemo, da s postopkom čiščenja plinov zmanjšamo emisijo fluorja za 900—1000 kg Fg+s/dan. Ostala količina, ki nam uhaja zaradi posluževanja celic in izgub pri zbiranju, znaša cca 1200—1300 kg Fg+s/dan.

Na osnovi svetovnih normativov znaša dovoljena dnevna količina emitiranega F do 750 kg Fg+s/dan, brez kakršnihkoli škodljivih posledic za srednje občutljivo področje. Obsežne meritve koncentracij F na delovnih mestih (Zavod za tehnično in zdravstveno varstvo SRS Ljubljana) in imisijskih koncentracij (Zavod za zdravstveno varstvo Maribor) kažejo, da v TGA glede F niso presežene niti MDK niti dovoljene imisijske vrednosti (priložene tabele).

Najboljši indikator prisotnosti F komponent v ozračju so iglavci (bori). Znano je, da so v za-

inž. Ivo Ercegović, tehnolog v elektrolizi  
TOZD tovarna aluminijske  
TGA Kidričevo

Tabela 1: Koncentracija fluoridov v atmosferi obrata »El. B« Kidričevo

1964	Številka celice	T °C	Rel. vlaga	Štev. vzorcev	Koncentracija fluoridov v zraku, izražena kot F	
					minim.-max. (mg/m <sup>3</sup> )	arit. sredina (mg/m <sup>3</sup> )
VIII	539	34—39	35	12	0,18 — 0,86	0,4
	628				0,2 — 0,62	0,32
	707				0,29 — 0,68	0,45
IX	539	23—27	35	6	0,45 — 0,56	0,54
	707				0,82 — 1,7	1,19
X	539	23—27	40—55	6	0,22 — 0,98	0,49
	707				0,29 — 0,84	0,47
XI	539	21—26	42	6	0,29 — 0,46	0,39
	707				0,16 — 0,32	0,27
Konc. fluorja zunaj obrata (med halo A in B)					x = 0,45 mgF <sup>-</sup> /m <sub>3</sub>	
avgust in sept. 1964					0,3	
					0,06	
					0,07	
					0,16	
					x = 0,147 mgF <sup>-</sup> /m <sub>3</sub>	

Tabela 2: Pregled povprečnih imisijskih koncentracij HF

POSTAJE	POVPREČNE KONCENTRACIJE µg/m <sup>3</sup>				
	TERMINI				
	23. 5.—1. 6. 71	21. 8.—30. 8. 71	13. 11.—22. 11. 71	20. 2.—29. 2. 72	X obdobja
T	2,8	1,9	1,9	1,1	1,9
S	15,8	2,4	1,6	1,2	5,2
U	2,4	0,9	1,4	1,9	1,6
M	1,1	1,1	1,5	0,7	0,9
R	1,9	2,6	3,5	0,7	2,1
X T—R	4,8	1,6	1,9	1,1	2,3

četnem obdobju obratovanja elektroliz (ko še ni bil vključen sistem za čiščenje plinov) bili močno poškodovani iglavci v okolici tovarne. Po vključitvi čistilnih naprav se je stanje vidno popravilo, tako da danes zunaj tovarniškega kroga (cca 800 m od elektrolize) ni opaziti nobenih poškodb na iglavcih ali drugem rastlinstvu.

Iz tega se da zaključiti, da s čiščenjem plinov delno nevtraliziramo najbolj nevarno komponento — HF, ki je znana po tem da ima nekaj 100-krat večjo topnost od kriolita ali CaF<sub>2</sub>, AlF<sub>3</sub> je inerten.

#### b) Koncentracija emitiranega F

Iz prej navedenih podatkov je razvidno, da emisijska vrednost, podana kot koncentracija F/m<sup>3</sup>, ni čne pove, ker ima vsaka tovarna količino odsesanih plinov prilagojeno velikosti el. celice, oziroma kapaciteti proizvedenega aluminija.

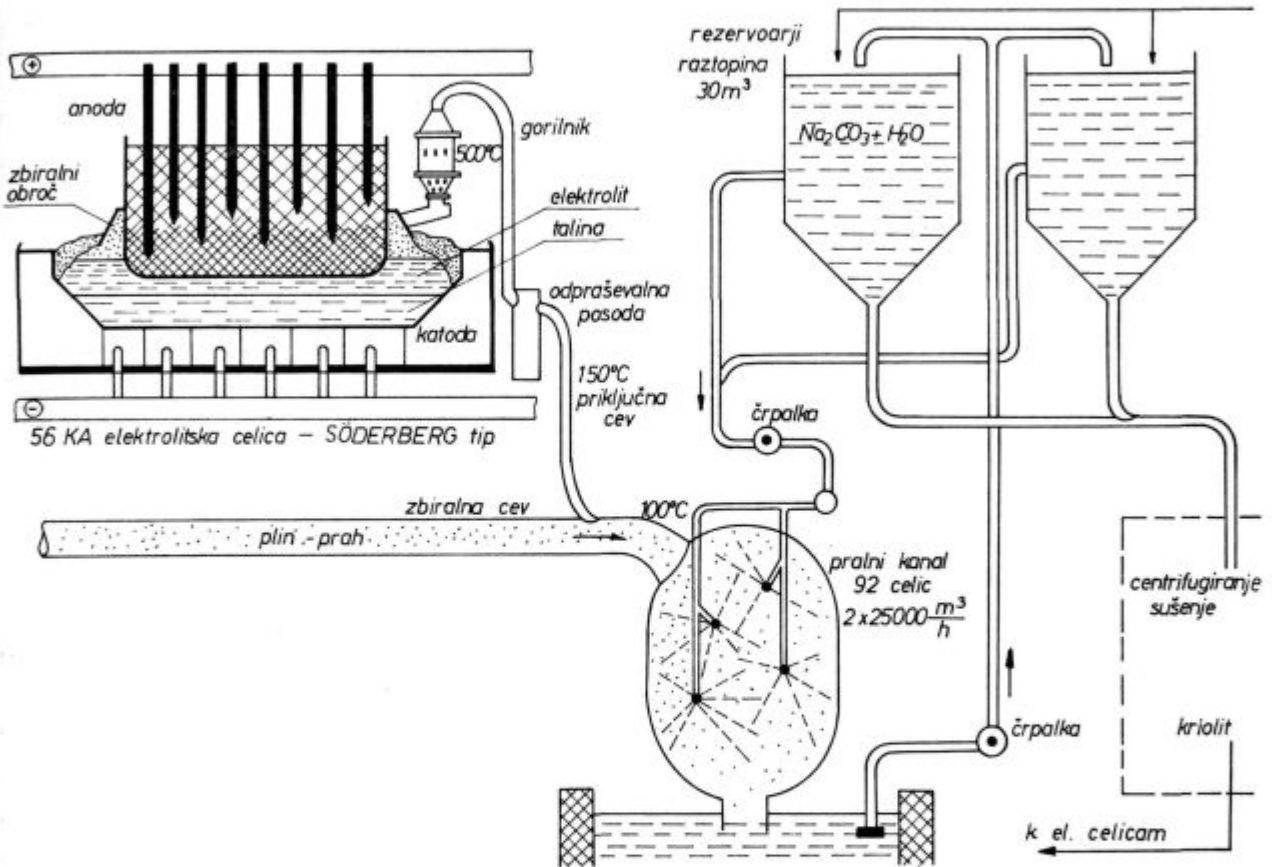
V TGA smo izmerili 12 mg F/m<sup>3</sup>, ki se emitira v okolje skozi dimnik po čiščenju (kapaciteta ventilatorjev je cca 80.000 m<sup>3</sup>/h), toda to ni niti polovica celotne količine, ker se večji del emitira po celi dolžini elektroliz. Podoben način smo skušali sugerirati republiškem sekretariatu za urbanizem pri določanju emisijskih vrednosti za F. Naše pripombe so samo delno upoštevane, tako da končni, korigirani zakon o varstvu zraka nima zgornje meje pri dovoljeni emitirani količini F komponent.

#### c) Ostale škodljive snovi

Na vsako tono proizvedenega aluminija porabimo 0,5 t anodne mase, kar pomeni več kot 60 ton anodne mase na dan. Anodna masa sestoji iz smole (33 %) in petrol koksa ter majhne količine žvepla. Pri povišani temperaturi masa odgoreva, razvijajo se plini CO, CO<sub>2</sub> ter razne žveplene kom-

ponente, katranske pare in čisti ogljik. Pri slabem zgorevanju močno narašča gostota plinov zaradi katrana in ogljika, kar ustvarja nepremagljive ovire pri vzdrževanju gorilnikov in plinovodov. Iz tega razloga je težko oceniti delež prašnatih in plinskih komponent (del prahu ostaja v celici). V praksi imamo opravka z nekajtsonskimi količinami prahu na dan. Tipična sestava zbrana prahu po dobrem zgorevanju je: 10 % katrana, 25 % glinice, 30 % kriolita, 30 % ogljika,  $Fe_2O_3$  itd.

V pralnem kanalu je nameščenih 200 razpršilcev, ki pršijo pralno tekočino (raztopina  $Na_2CO_3$  v vodi). Pralna tekočina cirkulira toliko časa (cca 3 dni), dokler koncentracija NaF ne doseže 22–25 g NaF/l. Takrat se v proces vključi drugi rezervoar s svežo raztopino, a tekočina, bogata s NaF, se obori z dodatkom  $NaHCO_3$  in aluminatnega luga. Tako dobljeni kriolit se centrifugira, suši in vrača v proces. Tekočino po centrifugiranju ponovno uporabljamo v procesu pranja — blato odstranimo.



Slika 1  
Zbiranje in pranje plinov v TGA  
Fig. 1  
Collecting and washing gases in TGA

## 2.1. ZBIRANJE IN ČIŠČENJE PLINOV

Proces je prikazan na sliki 1. Ob anodnem plašču je postavljen zbiralni obroč, da zbere čimveč nastalih plinov in jih usmeri do gorilnika. Gorilniki so preko priključne cevi spojeni na zbiralno cev, ki zbira pline iz 12 el. celic v eni vrsti. Osem zbiralnih cevi (92 celic) je vključenih na pralni kanal, tako da imamo v obeh elektrolizah štiri ločene obrate pralcev plinov. Na koncu pralnega kanala sta dva ventilatorja ( $2 \times 25.000 \text{ m}^3/\text{h}$ , eden je rezerva), ki iz celotnega sistema zbirajo plin.

## 2.2. IZBOLJŠAVE SISTEMA

S celotno problematiko zbiranja in čiščenja plinov smo se začeli sistematično ukvarjati leta 1972. Najprej smo zamenjali način zajemanja plinov nad gorilnikom v obeh elektrolizah, kar je bistveno vplivalo na celoten sistem. Po tej predelavi se je povečala količina regeneriranega kriolita od 11 ton/mesec na 23 ton/mesec. S tem so se tudi povečale težave zaradi zbiranja večje količine prahu, ki je prebogosto zamaševal plinovod. Da bi še povečali efekt zbiranja in istočasno zmanjšali postopek vzdrževanja sistema, smo se

odločili za večjo rekonstrukcijo gorilnikov in priključnih cevi v elektrolizi B. Stroški za to rekonstrukcijo so znašali okrog 1.600.000 din in je bila končana leta 1976. Vpeljali smo tudi nove organizacijske ukrepe za vzdrževanje sistema, toda kljub temu željenih rezultatov nismo dosegli. Takšen sistem zbiranja plinov še vedno zahteva pogoste in redne intervencije človeka in je s tem spoznanjem treba še naprej raziskovati.

V letu 1977 planiramo še izboljšati gorilnike in predelati zbiralni plinovod, tako da cevi montiramo bližje katodnemu delu celice. Tako bi še skrajšali dolžino cevovoda, in kar je najbolj pomembno, cevi bi se dodatno grele (od katode, kar naj bi odpravilo kondenzacijo katranskih hlapov.

Pri čistilnem sistemu smo zamenjali razpršilce, s čimer smo dosegli boljše pranje plinov in olajšali vzdrževanje.

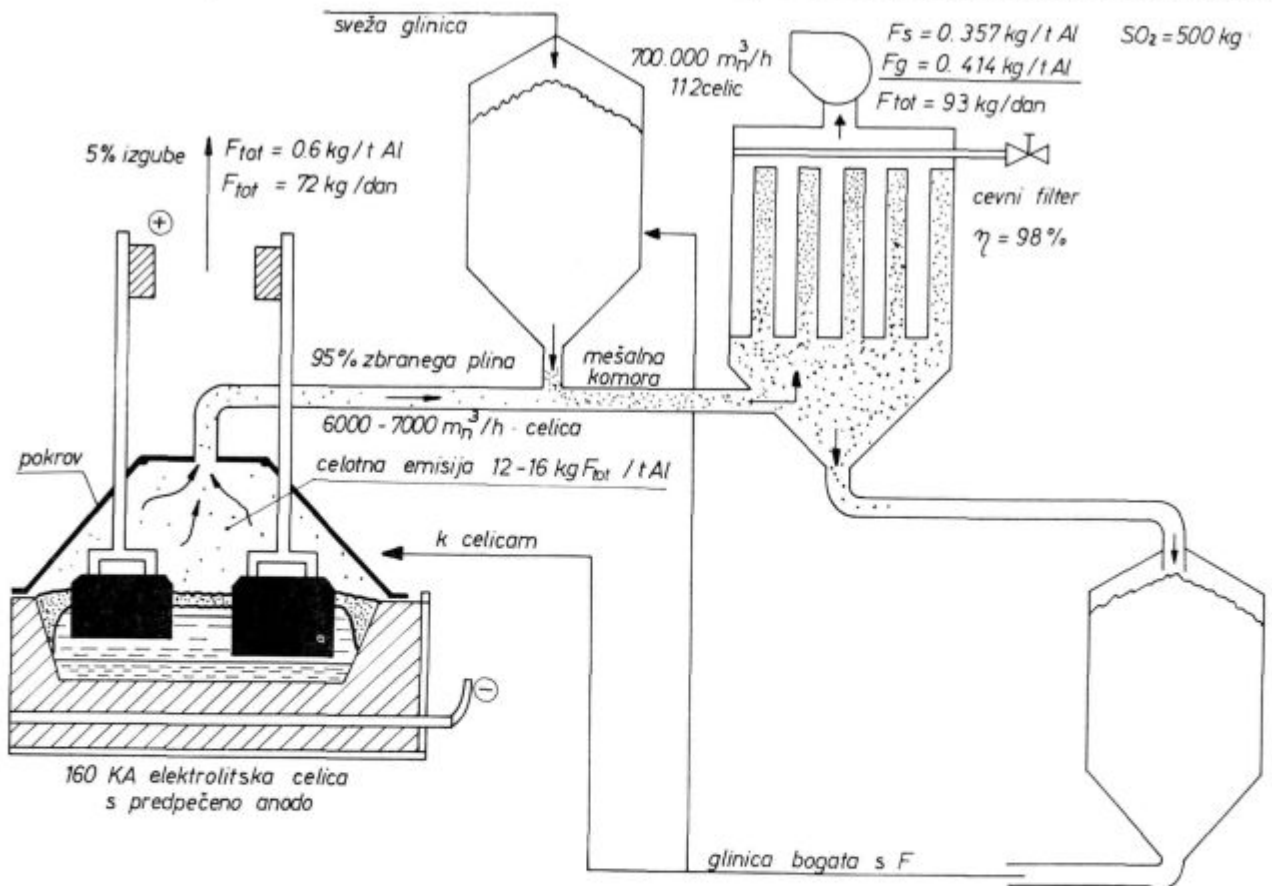
### 3. SREDNJEROČNI PROGRAM RAZVOJA REKONSTRUKCIJE NAPRAV ZA PROIZVODNJO ALUMINIJA

Do leta 1982 planiramo rekonstruirati polovico obstoječih elektrolitskih celic (elektroliza A), ki so v obratovanju že od leta 1954. Ta rekonstruk-

cija ni nujna samo zaradi velikih stroškov vzdrževanja dotrajanih naprav in zastarele tehnologije, ampak precej tudi zaradi izboljšave delovnih pogojev in zaščite okolja. To nam dokazuje tudi podatek, da bo od 80 milijard S din, kolikor bodo znašali celotni stroški rekonstrukcije, okrog 12 milijard vloženo za naprave za zbiranje in čiščenje plinov.

Projekt še ni končan (izdeluje ga švicarska firma Alusuisse), ampak na osnovi dobljenih podatkov in naših zahtev lahko damo dovolj izčrpen opis.

Namesto dosedanjih Söderbergovih 56 kA celic bomo vgradili 160 kA celice s predpečeno anodo. Takšen tip omogoča pokritje celotne celice, kar bistveno vpliva na izboljšavo delovnih pogojev in tudi okolja. Zaprta celica ne zmanjšuje samo emisijo F (ki znaša 12—16 kgF/t Al), ampak tudi preprečuje širjenje prahu (katrana sploh ni) in zmanjšuje delovno temperaturo. Zaprta celica je edina rešitev za elektrolizo A z ozirom na to, da nima naravne ventilacije od spodaj, ampak samo od strani. Razen tega so tudi naprave za posluževanje celic projektirane tako, da povzročajo minimalni ropot, posebna razsvetljava itd., lahko rečemo, da bomo dosegli optimalne pogoje dela.



Slika 2  
Suho čiščenje plina  
Fig. 2  
Dry cleaning the gases



Suho čiščenje je najnovejši postopek nevtralizacije F komponent in ostalih nečistoč v pilnu. (kaže ga slika 2). Pri tem postopku se poslužujejo ugodnih reakcijskih lastnosti med  $Al_2O_3$  in F v plinski obliki (HF) in v obliki delcev. Glede na izvor (področje pridobivanja), kakor tudi na tehniko priprave (kalcinacija glinice) nastopa glinica v različnih modifikacijah, ki se razlikujejo po površinski sestavi, kar vpliva na reakcijsko hitrost in tečenje glinice. Za časa kalciniranja se kristalna struktura spreminja od zelo aktivne (gama) glinice do neaktivne (alfa) glinice. To pomeni, da pri pripravi glinice za suho čiščenje moramo prilagoditi tudi postopek pridobivanja glinice tako, da ne vsebuje več kot 60 % alfa komponente.

El. celice so med obratovanjem popolnoma zaprte. Samo pri menjavi anod, pri prebijanju skorje, polnjenju z glinico in dodatnimi materiali, pri črpanju aluminija itd., se celice odprejo. Ker se iz notranjosti celice neprenehoma črpajo dimni plini je dosežen 95 % efekt zajemanja nastalega plina.

Plini, ki prihajajo iz celice, se direktno sesajo do cevnihih filtrov z visoko učinkovitostjo, od koder očiščeni gredo v atmosfero. V cevovodu, ki povezuje celice s filtrirno napravo se dodaja odvisno od obstoječih obratovalnih pogojev določeno količino glinice, ki pa jo v filtru zopet odvezamo.

S takšnim vodenjem koncentriranega plina dosežemo reakcijo med F in glinico. Vodenje čiščenja s pomočjo cevnihih filtrov poteka tako, da ostane na filtrovi površini, skozi katerega teče surovi plin, enakomerna plast glinice. Na ta način se dokončuje proces odstranjevanja F, ki se je pričel že v cevovodih. S čiščenjem s pomočjo

sunkov stisnjenega zraka se sproti del nasičenih oksidov odstranjuje s površine filtra, med tem pa istočasno z dodatkom surovega plina se dodaja sveža glinica na površino filtra. Glinico bogato s F lahko mešamo s svežo glinico, ali pa jo direktno porabimo v el. celici.

Takšen postopek čiščenja je tudi zelo gospodaren, ker so dodatki svežega kriolita in  $AlF_3$  zmanjšani na minimum.

Pri elektrolitski proizvodnji aluminija nastajajo kriolitne pene, katere so sestavljene iz ogljika in kriolita. Ta »odpad« se je nabral v velikih količinah (cca 4500 t), predvidena zbrana količina 150 t/leto, kar smo predvideli v splošnem programu odstranjevanja in koriščenja industrijskih odpadkov. TGA zajema ta projekt kot investicijo v obdobju 1976—1980 in njegovo realizacijo postavlja v začetno obdobje. Izgradnja te naprave v skupni vrednosti okrog 6.000.000 din bo financirana iz lastnih sredstev.

#### 4. ZAKLJUČEK

Lahko zaključimo, da je upravičena odločitev, da se pri rekonstrukciji vgradijo najučinkovitejše čistilne naprave. Na ta način bomo pridobili izkušnje za rekonstrukcijo elektrolize B, tako da večino naprav potem lahko sami projektiramo in izdelamo.

Pri starih Söderbergovih celicah (ki jih je v svetu vse manj), se je treba izključno orientirati na izboljšavo odvleka plinov in delovnih pogojev (ne samo zaradi F), ker TGA Kidričevo tudi z majhno učinkovitostjo čistilnega sistema (glede F) ne ogroža okolja.

#### ZUSAMMENFASSUNG

Aluminiumelektrolyse ist spezifisch in Hinsicht der Umweltverschmutzung. Diese Besonderheiten sollen bei der Projektausarbeitung für neue Werke oder beim Umbau der bestehenden Anlagen für die Absaugung und Entstaubung berücksichtigt werden. Es ist zu berücksichtigen:

- die Werkslage
- die Empfindlichkeit der Umgebung
- die meteorologischen und mikroklimatischen Bedingungen
- die angewandte Technologie
- Werkskapazität
- Werkshallenkonstruktion

Bei der Projektierung der Anlagen für die Absaugung und Entstaubung der Gase soll folgenden Bedingungen genügt werden:

- Arbeiterschutz an Arbeitsplätzen
- Umweltschutz in breiten Raum mit allen Elementen die in diesem Raum auftreten.

Dabei sind die MDK Normvorschriften zu berücksichtigen, welche am Arbeitsplatz max 2,5 ppm HF, 50 ppm CO und 4 ppm  $SO_2$  zulassen.

Die Normvorschriften für Staub und Pechdampf wie auch für andere weniger schädliche Gase sind bei uns nicht den Arbeitsbedingungen in den Elektrolysen angepasst. Die obengenannten Normvorschriften können nur bei der Anwendung der Technologie mit vorgebackten Anoden erreicht werden. Solche Technologie ermöglicht vollkommene Verschlussung des Ofens und Trockenentstaubung der Gase. Deswegen werden in der TGA Aluminiumhütte beim Bau der neuen Elektrolyse mit der Kapazität von 44.000 Jahrestonnen an Aluminium auch solche Elektrolitzellen mit einer effektiven Trockenentstaubung gebaut. Die Tagesemission von Fluor in die Umgebung wird auf diese Weise bis auf die 120 kg F pro Tag vermindert.

Bei den alten Söderbergelektrolysezellen ist es dringend um die Arbeitsbedingungen zu verbessern vor allem die Absaugung wirkungsvoller zu machen. In TGA ist eine komplette Rekonstruktion der überbliebenen 184 Elektrolitzellen geplant, welche eine 80 bis 90 % Absaugung mit einen 95 % Entstaubungswirkungsgrad der abgesaugten Gase ermöglichen soll.

Die gesamte Emission der Fluorbestandteile wird damit auf rund 500 kg F pro Tag reduziert was im Vergleich zu der heutigen Emission von 2000 kg pro Tag einen sichtbaren Fortschritt in der Umweltbeschützung darstellt.

## SUMMARY

Analysing the aluminium electrowinning process from the viewpoint of environmental protection gives some characteristics which must be taken in account in designing a new plant or in reconstructing the existent set-ups for collecting and cleaning the gases. The demands are the following:

- position of plant
- sensibility of the environment
- meteorological conditions and micro-climate
- applied technological process
- output of the plant
- structure of the building

In designing equipment for collecting and cleaning the flue gases, the following conditions must be fulfilled:

- protection of workers during work
- environmental protection in a wider region taking in account all the specific characteristics.

Besides, the MDK regulations allowing 2.5 ppm HF, 50 ppm CO, and 4 ppm SO<sub>2</sub> on the working place must be

taken in account. The regulations for dust, tar vapours and other less harmful gases are not adjusted to the working conditions in the electrowinning plants with us. The previously mentioned regulations can be fulfilled only when prebaked anodes used which enables complete closing the furnace and dry cleaning the gases. Therefore in TGA a new electrowinning plant for 44,000 tpy Al will be built with cells for prebaked anodes and the most effective dry gas cleaning will be applied. Daily emission of fluorine will thus be reduced to 120 kg.

With old Soderberg cells mainly the improvement of working conditions must be achieved (not only because of fluorine) which demands greater effectiveness of the collecting system. TGA plans the complete reconstruction of the rest 184 electrolytic cells which should enable a 80 to 90 % collection of gases and 95 % cleaning effect for gases.

The total fluorine emission will thus be reduced to about 500 kg/day which represents a great improvement in the environmental protection compared with the present emission of 2000 kg F/day.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При анализе электролиза алюминия, что касается загрязнения окружающей среды обнаружено, что при выработке проектов для новых заводов или при реконструкции (усовершенствовании) существующих сооружений для собирания и для очистки газов, надо считаться с определенными характеристиками самого электролиза. Вследствие этого надо соблюдать следующее:

- локализацию завода;
- чувствительность окружающей среды;
- метеорологические и микроклиматические условия;
- принятая технология;
- производственная мощность завода;
- конструкция здания.

При проектировании сооружения собирания и очистки газов надо удовлетворить следующие условия:

- защита людей на рабочих местах;
- защита окружающей среды на более широком пространстве со всеми возникшими там элементами.

При этом надо принять во внимание нормы МАК по которым количество вредных газов на рабочем месте не должно превышать:

2,5 ппм для HF
50 ппм для CO и
4 ппм для SO <sub>2</sub>

Нормы на пыль и на смолистые испарения, а также на менее вредные газы не согласованы с условиями электролиза в нашей промышленности алюминия. Упомянутые нормы можно получить только при применении технологии с предварительно спекаемыми анодами, что позволяет полное закрытие печи и очистку газов сухим способом. Вследствие этого в нашем заводе в Кидричеве новая установка для электролиза алюминия емкости 44,000 т Al в год будет снабжена с такими электролитическими ячейками и с самым эффективным устройством очистки газов сухим способом. Суточная эмиссия фтора в окружающую среду уменьшится тогда на 120 кг F в день.

При электролизерах с ячейками по Седербергу надо стремиться только на улучшение условий работы (не только из-за фтора), что представляет увеличение эффективности аккумуляции газов. В заводе планирована реконструкция всех оставшихся 184 ячеек электролизера, чтобы дать возможность отведения 80—90 % газов и 95 %-ный эффект очистки газов от пыли. Совокупная эмиссия компонент фтора уменьшится таким образом приблизительно на 500 кг в сутки. При сравнении с теперешней эмиссией, которая составляет 2000 кг фтора в сутки это будет очевидный успех в смысле охраны окружающей среды.

## Društvene vesti

### DELO ZVEZE RUDARSKIH, GEOLOSKIH IN METALURŠKIH INZENIRJEV IN TEHNIKOV SLOVENIJE V LETU 1976—1977

Po izredni skupščini aprila 1976 je delo ZRGMIT potekalo predvsem preko dela predsedstva in Izvršnega odbora. V kratkem želimo seznaniti strokovno javnost s področja metalurgije o aktivnosti in akcijah Zveze.

V letu 1976 je bilo veliko dela vloženega v izdelavo Statuta Zveze, da je bil v celoti usklajen z Zakonom o društvi. Čeprav je bil Statut sprejet na Izredni skupščini Zveze in smo vnesli vse spremembe ter upoštevali pripombe s strani RK SZDL, je kasneje dal pripombe še Republiški sekretariat za notranje zadeve. Zelo bistvenih pripomb ni bilo, treba je bilo le točneje določiti pravice in dolžnosti društev kot članov ter pravice različnih organov Zveze. Zveza je bila nato registrirana.

Naslednja pomembna akcija Zveze je pobuda, da se ustanovi ljubljansko društvo RGMIT, saj je predvsem ustanovitev in delovanje strokovnih društev v večjih mestih povsod problematično. Na ustanovnem občnem zboru aprila 1976 je bilo prisotnih enajst ustanovnih članov, od katerih jih je deset overovalo podpise pri sodišču v Ljubljani, kakor zahteva postopek ustanovitve. Trenutno je v pripravi statut društva.

Novembra 1976 je bila v Hercegovnem skupščina Saveza inženjera i tehničara RGM struke, katere se je udeležilo 8 delegatov iz Slovenije. Skupščina je razpravljala o delu SITJ-RGM v obdobju 1972—1976, o planu nadaljnje aktivnosti, o poslovanju dela skupščine, o statusu Zveze, o organiziranju jugoslovanskega komiteja svetovnih rudarskih kongresov. Na Skupščini sta bila izvoljena dipl. inž. Mlakar iz Trbovelj in dipl. inž. Piščanec iz Jesenic v Predsedstvo SITJ-RGM, dr. inž. Paulin pa v Izvršni odbor, kjer je bil v okviru zadolžitve izvoljen v komisijo za mednarodno sodelovanje, kadre in znanstveno-raziskovalno delo.

Med strokovnimi manifestacijami je naša Zveza sodelovala pri organizaciji metalurškega, rudarskega in geološkega strokovnega posvetovanja marca 1977, v okviru jubilejnega XXV. Skoka čez kožo. Metalurško posvetovanje je imelo dve tematiki: Zaščita okolja s strani metalurških podjetij, ter Raziskovalno delo na odseku za metalurgijo, VTO montanistika, rudarsko posvetovanje pa je bilo predvsem posvečeno pridobivanju premoga.

V letu 1976 je Zveza organizirala obisk rudarske razstave ob svetovnem rudarskem kongresu v Düsseldorfu.

V oktobru 1977 je Zveza organizirala strokovno ekskurzijo rudarjev v Anglijo, kjer so obiskali mednarodno razstavo rudarske opreme v Birminghamu ter premogovnik v okolici tega mesta. Ekskurzije se je udeležilo 33 članov iz Zasavja, Velenja, Rudarskega inštituta in Zveznega zavoda za standardizacijo (Beograd).

Izvršni odbor je na šesti redni seji januarja 1977 sprejel pravilnik za podeljevanje Zoisovih plaket, ki ga je potem sprejelo Predsedstvo. Trenutno se dela na likovnem osnutku Zoisove plakete, tako, da bo možno prve take plakete za uspešno strokovno objavlanje podeliti na prihodnji skupščini naše Zveze.

V okviru Zveze inženirjev in tehnikov Slovenije — ZITS, kjer našo zvezo v izvršnem odboru zastopa podpredsednik dr. inž. Paulin, so izoblikovali predlog pomembnih članov ZITS za publikacijo Jugoslovanske enciklopedije. S področja RGM so bili predlagani naslednji člani: R. Ahčan — rudar, M. Drovenik — geolog, J. Duhovnik — geolog, V. Fettich — metalurg, V. Gostiša — rudar, V. Kersnič — rudar, G. Klančnik — metalurg, Nikitin — geolog, D. Ocepek — rudar, C. Pelhan — metalurg, C. Rekar — metalurg, K. Slokan — rudar, M. Zumer — metalurg.

Iz pogovora predsednika ZITS dipl. inž. Čačoviča s predsednikom RK SZDL Slovenije tov. Ribičičem in predsednikom Gospodarske zbornice Slovenije tov. Verbičem o pomenu in vlogi društev IT sledi, da so ta pobjega programa podporo RK SZDL, konkretno sodelovanje pa naj poteka v povezavi z Gospodarsko zbornico Slovenije v današnjem času in da imajo pri izvajanju svojine na področju pridobivanja in prenašanja sodobnega znanja v gospodarsko prakso, z angažiranjem na področju standardizacije, ki naj se razširi tudi na področje unifikacije oz. tipizacije proizvodov in s konkretiziranjem mehanizma sodelovanja na področju inovacij.

Finančno stanje Zveze je glede na prejšnja obdobja zadovoljivo, vendar ne omogoča večjih akcij, ki bi bile povezane s finančnimi stroški. Ob zaključnem računu koncem leta 1976 je bilo na poslovnem skladu Zveze 24.331.—din, predvideva pa se, da se bo ta sklad povečal v letu 1977 za nekaj tisočakov.

Za leto 1978 je Izvršni odbor na zadnji seji novembra letos sklenil predlagati Predsedstvu naslednje pomembne akcije in manifestacije: 1. Organizacija strokovne ekskurzije za rudarje in metalurge v Romunijo (ekskurzija je bila že predvidena v letu 1977, pa je zaradi potresa v Romuniji odpadla). Nadaljnja možnost za organizacijo strokovnih ekskurzij v prihodnjih letih je tudi strokovni obisk podjetij črne in barvne metalurgije v Veliki Britaniji. 2. Zveza naj bo pobudnik za sklicanje »okrogle mize« o študiju in razvoju rudarstva v Sloveniji, na kateri naj bi sodelovali predstavniki zainteresiranih gospodarskih organizacij, šol, raziskovalnih ustanov ter društev RGMIT. Okrogla miza naj bi bila priprava za Konferenco o kadrih v rudarstvu, geologiji in metalurgiji, ki jo organizira Savez inženjera i tehničara Jugoslavije RGM struke koncem leta 1978. Če društva metalurških IT smatrajo za potrebno, je lahko Zveza pobudnik tudi za sklic podobne »okrogle mize« za področje metalurgije.

**Podpredsednik ZRGMIT SRS:  
dr. inž. Andrej Paulin**

Odgovorni urednik: Jože Arh, dipl. inž. — Člani Jože Rodič, dipl. inž., Mirko  
Doberšek, dipl. inž., dr. Aleksander Kveder, dipl. inž., Edo Žagar, tehnični urednik

Oproščeno plačila prometnega davka na podlagi mnenja Izvršnega sveta SRS  
— sekretariat za informacije št. 421-1/72 od 23. 1. 1974

Naslov uredništva: ZPSZ — Železarna Jesenice, 64270 Jesenice, tel. št. 81-341  
int. 880 — Tisk: GP »Gorenjski tisk«, Kranj

# VSEBINA

UDK 669.14.018.29

ASM/SLA: Q 26 n, Q 26 s, M 9-69

Metalurgija, anizotropija jeklenih plošč, sulfidni vključki, trakasta mikrostruktura

F. Vodopivec, M. Gabrovšek, I. Rak, B. Ralič, J. Zvokelj

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

Zelezarski zbornik 12 (1978) 1 s 1-16

Pri enaki količini žvepla v jeklu je v ploščah iz različnih jekel različna količina sulfidnih vključkov. Mehanske lastnosti plošč v smeri debeline so bile določene po dveh nstopkih varjenja in po različnih toplotnih obdelavah. Naraščujoča dolžina sulfidnih vključkov na enoto površine zmanjšuje kontrakcijo jekla, nima pa pomembnega vpliva na trdnostne lastnosti. Slojasta porazdelitev ferita in perlita ne vpliva pomembno na lastnosti jekla. Oblika preloma je odvisna od vrste vključkov, ki so sodelovali v procesu dekohezije.

Avtorski izvleček

UDK 669-18:620.18:669.046.558

ASM/SLA: D 11 r, AD-r

Metalurgija, izdelava jekla, velikost zrna

V. Prešeren, V. Macur

**Vpliv modifikatorjev pri izdelavi jekla na velikost avstentnega zrna**  
Zelezarski zbornik 12 (1978) 1 s 17-22

Opisana je analiza vpliva topnega aluminija v jeklu ter kombinacije topnega aluminija in titana na velikost avstentnega zrna. Podan je verjetni mehanizem zaviranja rasti zrna pri uporabi različnih afinatorjev.

Ugotovljeno je optimalno območje vsebnosti topnega aluminija za doseganje drobnega zrna, s pomočjo statistične analize velikega števila industrijsko izdelanih talin pa je postavljena linearna odvisnost velikosti zrna od kombinirane vsebnosti aluminija in titana.

Avtorski izvleček

UDK 669.2/8:331.82:614.7

ASM/SLA: EG-a 38, W 16 C, W 13 J

Barvne kovine, delovni pogoji, delovni prostori, higiena zraka

L. Puklavac

**Izkušnje Mariborske livarne pri izboljšanju delovnih pogojev in zmanjšanju onesnaževanja zraka**

Zelezarski zbornik 12 (1978) 1 s 23-27

V Mariborski livarni, ki ima v svoji sestavi več proizvodnih obratov za taljenje, litje, predelavo in obdelavo barvnih kovin smo zgradili številne sisteme za zajetje, odvajanje in filtriranje dimov in prahu. Pri tem smo zbrali številne izkušnje pri saniranju emisij v ozračje.

Izvršene meritve mikroklima v delovnih prostorih kažejo zadovoljive efekte sanacijskih ukrepov. Meritve filtriranih emisij pri izpustu v atmosfero dokazujejo dobre efekte zgrajenih filtriranih naprav.

Avtorski izvleček

UDK 669.71:628.512:331.82

ASM/SLA: Al, W 16 c, W 13 j

Metalurgija, varstvo okolja, zbiranje in čiščenje anodnih plinov

J. Ercegović

**Aluminijska industrija in zaščita okolja**

Zelezarski zbornik 12 (1978) 1 s 29-34

Podani so osnovni podatki glede količin odpadnih škodljivih snovi, ki so potrebni za izdelavo projektov pri zbiranju in čiščenju plinov pri elektrolizi aluminija. Pristop k tej nalogi je odvisen od uporabljenih tehnologije in konstrukcije elektrolitske celice mora se upoštevati tudi občutljivost okolja ter zahtevi na delovnih mestih in varstvo okolja. Poudarjene so pomanjkljivosti in nepopolnosti naših normativov, ki so preveč splošni in v nekaterih primerih neuporabni v praksi.

Opisan je tudi program razvoja TGA v obdobju do leta 1980 na področju varstvene problematike.

Avtorski izvleček

# INHALT

UDK 669-18:620.18:669.046.558  
ASM/SLA: D 11 r, AD-r

Metallurgie — Stahlerzeugung — Korngrösse  
V. Prešeren, V. Macur

## **Einfluss der Impfmittel auf die Austenitkorngrösse bei der Stahlherstellung**

Zelezarski zbornik 12 (1978) 1 S 17—22

Die Analyse des Einflusses des säurelöslichen Aluminiums im Stahl und der Kombination von säurelöslichem Aluminium und Titan auf die Austenitkorngrösse ist beschrieben. Ein wahrscheinlicher Mechanismus der Verzögerung des Kornwachstums bei der Anwendung verschiedener Keimbildungselemente ist angegeben.

Der günstigste Bereich des säurelöslichen Aluminiumgehaltes zur Erzielung feines Kornes ist bestimmt worden. Mit Hilfe der statistischen Analyse einer grossen Anzahl der Industrieschmelzen ist eine lineare Abhängigkeit der Korngrösse vom Aluminium und Titangehalt festgestellt worden.

Auszug des Autors

UDK 669.14.018,29  
ASM/SLA: Q 26 n, Q 26 s, M 9—69

Metallurgie- Anisotropie der Bleche — Schweißeeinschlüsse —  
Zeilen-mikrogefüge  
F. Vodopivec, M. Gabrovšek, J. Rak, B. Ralič, J. Zvokelj

## **Untersuchungen über den Einfluss des Mikrogefüges und der Homogenität auf die Eigenschaften der Stahlbleche in der Dickenrichtung**

Zelezarski zbornik 12 (1978) 1 S 1—16

Bei einer gleichen Schwefelmenge im Stahl ist in Blechen aus verschiedenen Stählen die Menge der sulfidischen Einschlüsse verschieden. Die mechanischen Eigenschaften in Dickenrichtung sind nach zwei Schweißverfahren und verschiedenen Wärmebehandlungen bestimmt worden. Mit zunehmender Sulfidlänge in der Flächeneinheit wird die Einschnürung kleiner, hat aber keinen nennenswerten Einfluss auf die mechanischen Eigenschaften. Zeilenförmige Verteilung von Ferrit und Perlit hat keinen nennenswerten Einfluss auf die Stahleigenschaften. Die Bruchform ist von der Einschlussart, welche im Prozess der Dekohesion beteiligt sind, abhängig.

Auszug des Autors

UDK 669.71:628.512:331.82  
ASM/SLA: Al, W 16 c, W 13 j

Metallurgie — Umweltschutz — Absaugung und Entstaubung der Anodengase  
J. Ercegović

## **Aluminiumindustrie und die Verbesserung der Umweltbedingungen**

Zelezarski zbornik 12 (1978) 1 S 29—34

Die Grunddaten in Hinsicht der Menge der abfallenden schädlichen Stoffe, welche bei der Projektausarbeitung der Absaugungs und Entstaubungsanlagen in der Aluminiumelektrolyse nötig sind, sind angegeben. Der Zutritt zur solchen Aufgabe ist abhängig von der angewendeten Technologie, und der Konstruktion der Elektrolysezellen. Die Empfindlichkeit der Umgebung, die Umweltschutzvorschriften und die Vorschriften am Arbeitsplatz müssen berücksichtigt werden. Betont sind die Mangelhaftigkeiten, und Unvollkommenheiten unserer Normvorschriften, welche zu allgemein und im machen Fällen in der Praxis ganz unbrauchbar sind.

Auch der Entwicklungsprogramm auf dem Gebiet der Verbesserung der Umweltbedingungen in der TGA Aluminiumhütte im Zeitabschnitt bis 1980 ist beschrieben.

Auszug des Autors

UDK 669.2/8:331,82:614.7  
ASM/SLA: EG-a 38, W 16 C, W 13 J

Buntmetalle — Arbeitsbedingungen — Arbeitsräume — Lufthygiene  
L. Puklavac

## **Die bisherigen Erfahrungen der Giesserei »Mariborska livarna« bei der Verbesserung der Arbeitsbedingungen und Verminderung der Luftverschmutzung**

Zelezarski zbornik 12 (1978) 1 S 23—27

Die Giesserei »Mariborska livarna« besteht aus mehreren Betrieben für das Schmelzen, Giessen, die Verarbeitung und Bearbeitung der Buntmetalle. In diesen Betrieben sind mehrere Systeme für die Einschliessung, Absaugung und Entstaubung von Rauchgasen und Staub ausgebaut worden. Dabei sind unzählige Erfahrungen, bei der Verminderung der Emissionen in die Luft, gesammelt worden.

Die ausgeführten Messungen von Mikroklima in Arbeitsräumen zeigen zufriedenstellende Ergebnisse der Sanierungsmassnahmen. Die Messungen der filtrierten Emissionen beim Austritt in die Atmosphäre beweisen, dass die ausgebauten Entstaubungsanlagen mit einem guten Wirkungsgrad arbeiten.

Auszug des Autors

# CONTENTS

UDK 669.14.018.29

ASM/SLA: Q 26 n, Q 26 s, M 9-69

Metallurgy, Anisotropy of Steel Plates, Sulphide Inclusions, Band Microstructure

F. Vodopivec, M. Gabrovšek, I. Rak, B. Ralić, and J. Zvokelj  
**Investigations on influence of sulphide inclusions, microstructure, and homogeneity on the properties of steel plates in the direction of thickness**

Zelezarski zbornik 12 (1978) 1 P 1-16

At the same amount of sulphur in steel various amounts of sulphide inclusions were found in the plates of different steel. Mechanical properties of plates in the direction of thickness were determined after two processes of welding and various methods of heat treatment. The increased length of sulphide inclusions per unit area reduces the contraction of steel but it has no special influence on the strength properties. Layered distribution of ferrite and pearlite does not influence essentially the steel properties. The shape of fracture depends on the type of inclusions which took part in the process of decohesion.

Author's Abstract

UDK 669-18:620.18:669.046.558

ASM/SLA: D 11 r, AD-r

Metallurgy, Steel Manufacturing, Grain Size

V. Prešeren, V. Macur

**Influence of modifiers on the size of austenite grain in manufacturing steel**

Zelezarski zbornik 12 (1978) 1 P 17-22

Influence of soluble aluminium in steel and the combination of soluble aluminium and titanium on the size of austenite grain was analyzed. The probable mechanism for hindered grain growth with application of various refining agents is presented.

The optimal content of soluble aluminium for obtaining fine grain is determined by statistical analysis of numerous industrial melts, and linear relationship between the grain size and the combined content of aluminium and titanium was stated.

Author's Abstract

UDK 669.2/8:331.82:614.7

ASM/SLA: EG-a 38, W 16 C, W 13 J

Non-ferrous Metals, Working Conditions, Working Places, Hygiene of Air

L. Puklavac

**Experiences of Mariborska livarna in improvement of working conditions and environmental protection**

Zelezarski zbornik 12 (1978) 1 P 23-27

Mariborska livarna consists of plants for melting, casting, working, and finalising products of non-ferrous metals. Numerous systems for collecting and filtering flue gases and collecting dust were constructed. Thus useful experiences were gained to reduce emission into atmosphere. Measurements of micro-climate in working places showed satisfactory results of improvements. Measurements of emission into atmosphere confirm the good efficiency of the constructed equipment.

Author's Abstract

UDK 669.71:628.512:331.82

ASM/SLA: Al, W 16 c, W 13 j

Metallurgy, Environmental Protection, Collecting and Cleaning Anode Flue Gases

I. Ercegović

**Aluminium industry and environmental protection**

Zelezarski zbornik 12 (1978) 1 P 29-34

Basic data on amount of harmful matter are given. They are needed in designing the collecting and cleaning of gases in aluminium electrowinning. The solution of this task depends on the applied technology and construction of electrolytic cells. Simultaneously also sensibility of environment and the demands for working conditions and environmental protection must be taken in account. Disadvantages in incompleteness of our regulations are stressed since they are too general and sometimes useless for practical use. The program of development of TGA till 1980 in the field of protection problematics is described.

Author's Abstract

# СОДЕРЖАНИЕ

УДК: 669.18:620.18:669.046.558  
АСМ/СТА: Д 11 р, АД р

Металлургия — производство стали — величина зерен  
V. Prešeren, V. Macur

Влияние модификаторов при выплавки стали на величину аустенитных зерен  
Zelezarski zbornik 12 (1978) 1 С 17—22

Дано описание анализа влияния растворимого в стали алюминия, а также комбинации растворимого алюминия и титана на величину аустенитных зерен. Рассмотрен возможный механизм замедления нарашения зерен при употреблении различных средств аффинажа.

Установлена оптимальная область содержания растворимого алюминия для достижения мелких зерен. ри помощи статистического анализа значительного числа плавов из промышленного производства определена линейная зависимость величин зерен от содержания алюминия и титана.

Автореф.

УДК: 669.14.018.29  
АСМ/СТА: Q 26 и, Q 26 с М 9—69

Металлургия — анизотропия стальных пластин — сульфидные включения — ленточная микроструктура

F. Vodopivec, M. Gabrovšek, I. Rak, B. Ralič, J. Zvokeļ

Исследования о влиянии сульфидных включений, микроструктуры и гомогенности на свойства стальных пластин в направлении толщины.

Zelezarski zbornik 12 (1978) 1 С 1—16

При одинаковом количестве серы в стали содержат пластинные включения — ленточная микроструктура. Механические свойства пластин в направлении толщины определяли двумя способами сварки и по различных способах термической обработки.

С увеличением длины сульфидных включений на единицу поверхности уменьшается сужение стали, но это не имеет существенного влияния на свойства прочности. Слоистое распределение феррита и перлита не оказывает существенного влияния на свойства стали. Форма излома зависит от типа включений, которые приняли участие в процессе декогезии.

Автореф.

УДК: 669.2/8:331.82:614.7  
АСМ/СТА: Ег-а 38, В 16 ц, В 13 я

Цветные металлы — условия работы — рабочее место — гигиена воздуха.

L. Puklavac

Опыт мариборской литейной при улучшении условий работы и уменьшения загрязнения воздуха.

Zelezarski zbornik 12 (1978) 1 С 23—27

В мариборском литейном цехе, в составе которого несколько производственных отделений для выплавки, литья, переработки и обработки цветных металлов, сооружены многочисленные системы для аккумуляции, отведения и фильтрации дыма от пыли. При этом собрано большое количество опытов, что касается эмиссии в окружающую среду.

Выполненные в рабочих помещениях микроклиматические измерения показали удовлетворительные результаты мероприятия санаций. Измерения отфильтрованных эмиссий перед выпуском в атмосферу доказали правильность конструкции и действия фильтровальных установок.

Автореф.

УДК: 669.71:628.512:331.82  
АСМ/СТА: Ал, В 16 ц, Н 13 я

Металлургия — охрана окружающей среды — собирание и очистка анодных газов

J. Ercegović

Производство алюминия и охрана окружающей среды

Zelezarski zbornik 12 (1978) 1 С 29—34

Приведены основные данные что касается количества отходов вредных веществ необходимых при разработки проектов для собирания и для очистки газов при электролизе алюминия. Выполнение этой задачи зависит от принятой технологии и от конструкции электролитического фотоэлемента; также надо принять во внимание обстоятельства окружающей среды, требования на рабочие места и на защиту окружающей среды. Подчеркнуты недостатки и недоделанности наших норм, так как они имеют слишком общее значение и при некоторых примерах неприменимы в промышленной практике.

Рассмотрена программа развития ТГА (Алюминиевый завод, Кидричево, Словения) что касается проблематики защиты за период до 1980 г.

Автореф.