

# ŽELEZARSKI ZBORNIK

VSEBINA	Stran
Arh Joža, M. Demšar, A. Miakar — Železarna Jesenice	
M. Debelak — Metal. inšt. Ljubljana	
TEHNOLOSKE IN PRAKTICNE IZKUSNJE PRI KONTINUIRNEM VLIVANJU JEKEL Z VSEB- NOSTJO ALUMINIJA NA PETZILNI KONTINU- IRNI LIVNI NAPRAVI ZA GREDICE Z RAVNO KOKILO	189
Vodopivec Franc, D. Gnidovec — Metalurški inštitut Ljubljana	
F. Vizjak, S. Senčič, G. Manojlovič — Železarna Store	
AFINACIJA KONTINUIRNO VLITEGA CEMEN- TACIJSKEGA JEKLA C 4320 Z NIOBIJEM IN VANADIJEM	203
Kmetič Dimitrij, F. Vodopivec, J. Žvokelj, B. Arzenšek — Metalurški inštitut Ljubljana	
F. Vizjak — Železarna Store	
PRIMERJALNE PREISKAVE KONVENCIONAL- NEGA IN KONTINUIRNO VLITEGA CEMEN- TACIJSKEGA JEKLA C 4320, KI JE LEGIRANO Z NIOBIJEM	213
Rosina Andrej — Metalurški inštitut Ljubljana	
MERITVE VISKOZNOSTI METALURŠKIH ŽLINDER Z VIBRACIJSKIM VISKOZIMETROM II. VISKOZNOST SINTETICNIH RAFINACIJ- SKIH ŽLINDER	219

LETO 15 ŠT. 3 - 1981  
ŽEZB BQ 15 (3)189-224 (1981)

552134

## VSEBINA

- Gatellier C., M. Devaux, M. Olette — IRSID St. Germain en Laye, France  
VPLIV DODATKA KALCIJA NA TOPNOST NEKATERIH NEKOVINSKIH OLIGOELEMENTOV V TEKOCEM JEKLU — INFLUENCE D'UNE ADDITION DE CALCIUM SUR LA SOLUBILITE DE CERTAINS OLIGO-ELEMENTS NON METALLIQUES DANS L'ACIER LIQUIDE 37
- Koroušič Blaženko — SŽ Metalurški inštitut Ljubljana  
O VPLIVU OLIGOELEMENTOV PRI ELEKTRICNEM PRETALJEVANJU VISOKOKVALITETNIH JEKEL POD ZLINDRO — ON BEHAVIOUR OF RESIDUAL ELEMENTS IN ELECTRO-SLAG-REMELTING OF HIGH QUALITY STEELS 49
- Torkar Matjaž, F. Vodopivec — SŽ Metalurški inštitut Ljubljana  
O VPLIVU BAKRA IN KOSITRA NA VROČO KRHKOST LITEGA KONSTRUKCIJSKEGA JEKLA Z 0.12% C IN 1.2% Mn — ON THE INFLUENCE OF COPPER AND TIN ON THE HOT SHORTNESS OF AS CAST STRUCTURAL STEEL WITH 0.12% C AND 1.2% Mn
- Vodopivec Franc, M. Torkar — SŽ Metalurški inštitut Ljubljana  
O STRUKTURI IN VROCI KRHKOSTI LITEGA JEKLA Z 0.16% C IN DODATKI ALUMINIJA, MANGANA, DUSIKA IN ZVEPLA — ON THE STRUCTURE AND HOT BRITTLINESS OF AS CAST 0.16% C STEEL WITH ALUMINIUM, NITROGEN, MANGANESE AND SULPHUR ADDITIONS
- Goux C. in sodelavci — Ecole National Supérieur Des Mines De Saint-Etienne France  
VPLIV OLIGOELEMENTOV NA NEKATERE LASTNOSTI ZELO ČISTEGA ZELEZA IN JEKLA — INFLUENCE OF RESIDUALS ON SOME PROPERTIES OF HIGH PURITY IRON AND STEEL
- Rodič Jože — SŽ Železarna Ravne  
VSEBNOST OLIGOELEMENTOV V SPECIALNIH JEKLIH IN NJIHOV VPLIV NA LASTNOST JEKEL V PREDELAVI IN UPORABI — CONTENT OF RESIDUALS IN SPECIAL STEEL GRADES AND SOME OBSERVATIONS OF PROPERTIES INFLUENCE BY THEM
- Desalos Y., R. Laurent — IRSID, Saint Germain en Laye  
Rousseau P., D. Thivellier — Centre de Recherche d'Ugine  
VPLIV OLIGOELEMENTOV NA PREKALJIVOST IN HLADNO DEFORMACIJSKO SPOSOBNOST OGLJIKOVEGA ALI MANGANOG LJIKOVEGA JEKLA — INFLUENCE DES ELEMENTS RESIDUELS COURANTS SUR LA TREMPABILITE ET LA DUCTILITE A FROID DES ACIERS AU CARBONE OU CARBONE-MANGANESE 111
- Aubrun Ph. — SOLLAC, Flovange, France  
VPLIV OLIGOELEMENTOV NA MEHANSKE KARAKTERISTIKE JEKLA ZA GLOBOKI VLEK — INFLUENCE D'ELEMENTS RESIDUELS SUR LES CARACTERISTIQUES MECANIQUE D'ACIERS EXTRA - DOUX POUR EMBOUTISSAGE PROFOND 127
- Guttman M. — Centre des Matériaux ENSMP EVRY, CEDEX, France  
VPLIV SEGREGACIJ OLIGOELEMENTOV PO MEJAH NA LASTNOSTI ZELEZOVIIH ZLITIN — INFLUENCE OF INTERFACIAL SEGREGATION OF RESIDUALS ON THE PROPERTIES OF IRON BASE ALLOYS 131
- Erhart H., H. Y. Grabke — Max-Planck-Institut für Eisenforschung, Düsseldorf, F. R. Germany  
SEGREGACIJA FOSFORJA PO KRISTALNIH MEJAH V ZELEZOVIIH ZLITINAH — GRAIN BOUNDARY SEGREGATION OF PHOSPHORUS IN IRON ALLOYS 149
- Dumoulin Ph., M. Guttman — Centre des Matériaux, ENSPM EVRY, CEDEX, France  
POPUSTNA KRHKOST KONSTRUKCIJSKIH JEKEL ZARADI NEČISTOČ — IMPURITY INDUCED TEMPER EMBRITTELEMENT OF STRUCTURAL STEELS 157
- Krause M., — Krupp Stahl AG Bochum  
Jim Yu — Max-Planck Institut für Eisenforschung Düsseldorf, F. R. Germany  
69 POPUSTNA IN LEZNA KRHKOST Cr-Mo-V JEKLA Z OKOLI 1% C ZARADI OLIGOELEMENTOV — TEMPER AND CREEP EMBRITTELEMENT OF A CrMoV STEEL WITH ABOUT 1% CHROMIUM BY RESIDUAL ELEMENTS 167
- Keienburg K. H., V. Thien — Kraftwerk Union AG, Bereich Technik Werkstoffe, Mühlheim/Ruhr, F. R. Germany  
83 POSLABSANJE DUKTILNIH LASTNOSTI 3.5% Ni-Cr-Mo-V JEKLA MED DOLGOTRAJNO TOPLOTNO OBREMENITVIJO — DUCTILITY LOSSES AFTER LONG TIME EXPOSURE OF 3 1/2 Ni-Cr-Mo-V STEELS 175
- Goyard T. in sodelavci — ENSM Saint Etienne France  
95 VPLIV ALUMINIJEVEGA NITRIDA NA VROČO DUKTILNOST MALOLEGIRANIH JEKEL. OPAZOVANJE V ELEKTRONSKEM MIKROSKOPU (REZIME) — INFLUENCE DU NITRURE D'ALUMINIUM SUR LA DUCTILITE A CHAUD DES ACIERS FAIBLEMENT ALLIES. OBSERVATIONS AU MICROSCOPE ELECTRONIQUE (RESUME) 185
- Horgas Z., M. Horgas — Metalurški inštitut Hasan Brkić, Zenica  
REZIDUALNI ELEMENTI V ZELEZOVIIH RUDAH, MED AGLOMERACIJO IN V VISOKI PEČI ZELEZARNE ZENICA (REZIME) — RESIDUALS IN IRON ORES DURING AGGLOMERATION AND IN THE BLAST FURNACE OF ZENICA IRON WORKS 187

SS2134

# ŽELEZARSKI ZBORNIK

IZDAJAJO ŽELEZARNE JESENICE, RAVNE, ŠTORE IN METALURŠKI INŠTITUT  
LETO 15 LJUBLJANA OKTOBER 1981

Vsebina	Inhalt	Contents	Содержание
Stran	Seite	Page	
Joža Arh, M. Demšar, A. Mlakar, M. Debelak	Joža Arh, M. Demšar, A. Mlakar, M. Debelak	Joža Arh, M. Demšar, A. Mlakar, M. Debelak	Joža Arh, M. Demšar, A. Mlakar, M. Debelak
<b>Tehnološke in praktične izkušnje pri kontinuirnem vlivanju jekel z vsebnostjo aluminija na petžilni kontinuirni livni napravi za gredice z ravno kokilo</b> 189	<b>Technologische und praktische Erfahrungen beim Glessen aluminium-haltiger Stähle an einer fünfsträngigen Knüppelstrang-glessanlage mit gerader Kokille</b> 189	<b>Technological and Practical Experiences in Continuous Casting of Steel with Aluminium in a Five-strand Continuous Casting Machine for Billets with a Straight Mould</b> 189	<b>Технологические и практические опыты при непрерывном литье сталей с содержанием алюминия с пятижильной установкой для непрерывного литья для заготовок с ровной изложницей.</b> 189
UDK: 669.183.2:621.746.047: 669.14.018.295 ASM/SLA: ST-e, D9-q	UDK: 669.183.2:669.14.018. .295:621.746.047 ASM/SLA: ST-e, D9-q	UDK: 669.183.2:669.14.018. .295:621.746.047 ASM/SLA: ST-e, D9-q	UDK: 669.183.2:669.14.018.295 ASM/SLA: ST-e, D9-q
Franc Vodopivec, F. Vizjak, S. Senčič, G. Manojlovič, D. Gnidovec	Franc Vodopivec, F. Vizjak, S. Senčič, G. Manojlovič, D. Gnidovec	Franc Vodopivec, F. Vizjak, S. Senčič, G. Manojlovič, D. Gnidovec	Franc Vodopivec, F. Vizjak, S. Senčič, G. Manojlovič, D. Gnidovec
<b>Afinacija kontinuirno vliteta cementacijskega jekla Č 4320 z niobijem in vanadjem</b> 203	<b>Affination des stranggegossenen Einsatzstahles Č 4320 mit Niobium und Vanadium</b> 203	<b>Grain Refinement of Continuously Cast Case-Hardenable Steel Č 4320 with Niobium and Vanadium</b> 203	<b>Аффинаж цементуемой стали Č 4320 с ниобием и танталом для непрерывного литья.</b> 203
UDK: 621.746.047:669.14.018 .298 ASM/SLA: D9-q, Ay-b, V, Nb	UDK: 621.746.047:669.14.018 .298 ASM/SLA: D9-q, Ay-b, V, Nb	UDK: 621.746.047:669.14.018 .298 ASM/SLA: D9-q, Ay-b, V, Nb	UDK: 621.746.047:669.14.018.298 ASM/SLA D9-q, Ay-b, V, Nb
Dimitrij Kmetič, F. Vodopivec, J. Žvokelj, F. Vizjak, B. Arzenšek	Dimitrij Kmetič, F. Vodopivec, J. Žvokelj, F. Vizjak, B. Arzenšek	Dimitrij Kmetič, F. Vodopivec, J. Žvokelj, F. Vizjak, B. Arzenšek	Dimitrij Kmetič, F. Vodopivec, J. Žvokelj, F. Vizjak, B. Arzenšek
<b>Primerjalne preiskave konvencionalnega in kontinuirno vliteta cementacijskega jekla Č 4320, ki je legirano z niobijem</b> 213	<b>Vergleichsuntersuchungen an einem konventionell erzeugten und einem stranggegossenen Einsatzstahl Č 4320 legiert mit Niobium</b> 213	<b>Comparative Investigations of Conventional and Continuously Cast Case-Hardenable Č 4320 Steel alloyed with Niobium</b> 213	<b>Исследования свойств сравнения классической и непрерывно отантой цементуемой стали Č 4320, легированной с ниобием.</b> 213
UDK: 669.14.018.298:620.17 ASM/SLA: Ay-b, S21, Nb	UDK: 669.14.018.298:620.17 ASM/SLA: Ay-b, S21, Nb	UDK: 669.14.018.298:620.17 ASM/SLA: Ay-b, S21, Nb	UDK: 669.14.018.298:620.17 ASM/SLA: Ay-b, S21, Nb
Andrej Rosina	Andrej Rosina	Andrej Rosina	Andrej Rosina
<b>Meritve viskoznosti metalurških žlinder z vibracijskim viskozimetrom</b>	<b>Viskositätsmessungen der Raffinationsschlacken mit Vibrationsviskosimeter</b>	<b>Viscosity Measurements of Metallurgical Slags by a Vibration Viscosimeter</b>	<b>Измерения вязкости металлургических шлаков с вибрационным вискозиметром.</b>
<b>II. Viskoznost sintetičnih rafinacijskih žlinder</b> 219	<b>II. Viskosität der synthetischen Raffinationsschlacken.</b> 219	<b>II. Viscosity of Synthetic Refining Slags</b> 219	<b>II. Вязкость синтетических рафинированных шлаков.</b> 219
UDK: 539.57 ASM/SLA: D10-f, X29-s	UDK: 539.57 ASM/SLA: D10-f, X29-s	UDK: 539.57 ASM/SLA: D10-f, X29-s	UDK: 539.57 ASM/SLA: D10-f, X29-s





## Tehnološke in praktične izkušnje pri kontinuirnem vlivanju jekel z vsebnostjo aluminija na petžilni napravi za gredice z ravno kokilo

UDK: 669.183.2:669.14.018.295:621.746.047

ASM/SLA: STc, D9-q

Jože Arh, Marjan Demšar,  
Anton Mlakar, Miran Debelak

*Izvršili smo preiskave vpliva različnega načina dezoksidacije z uporabo kalcijevih zlitin in obdelave jekla s CaSi v ponovci na mašenje izlivkov. Z določanjem celokupnega kisika, določanjem mikročistoče in analizo vključkov v primerjavi s številom čiščenj izlivka v ponovci s kisikom, smo ugotavljali vpliv posameznih parametrov izdelave jekla na mašenje izlivkov. Glavna vplivna faktorja, ki vplivata na intenzivnost mašenja sta vsebnost aluminija v jeklu in izkoristek aluminija pri dezoksidaciji. Poseben poudarek je dan SM jeklu, ki zaradi specifičnega načina izdelave in prisotne oksidne žilindre ni najbolj primerno za izdelavo jekel, ki so pomirjena z aluminijem za kontinuirno vlivanje.*

### UVOD

Železarna Jesenice je integralna železarna z zelo pestrim proizvodnim in kvalitetnim programom. Približno 30 % celotne proizvodnje surovega jekla predelamo v gredice oziroma žico in profile. Med temi proizvodi so po količini in kvaliteti najpomembnejša jekla za patentirano žico z vsebnostjo aluminija od 0.025 do 0.050 %, potem jekla za žico za varjenje v atmosferi CO<sub>2</sub>, jekla za verige, za vijake in matice, jekla za hladno masivno preoblikovanje in podobna. Precejšen del te proizvodnje zavzemajo tudi avtomatna jekla legirana z žveplom in svincem, ki pa jih ta čas še ne moremo vlivati kontinuirno. Poudariti moramo tudi, da pretežni del jekla dobimo iz SM jeklarne in le manjši del iz elektro jeklarne. Presek gredic

znaša 135 mm kv. Večino jekel vlijemo po zaprtem sistemu s potopljenimi izlivki. Delež odprtega vlivanja znaša le 5 %. Naš zelo zahteven kvalitetni program je bil tudi razlog, da smo se odločili za napravo z ravno kokilo. Dosedanje dve in polletne izkušnje kažejo, da je bila naša odločitev glede tega pravilna.

### 2. PROBLEMI KONTINUIRNEGA VLVANJA SM JEKLA

Železarna Jesenice spada med tiste redke železarne kjer vlivamo kontinuirno SM jekla. Ta kombinacija tehnologije nam povzroča mnogo težav. Težave so še toliko večje, ker gre za kvalitetna z Al pomirjena jekla, ki jih vlivamo v razmeroma majhen kvadrat kokile.

Najhujši problemi so:

— omejena možnost regulacije temperature v SM peči

— velike količine žilindre

— neenakomerni pogoji pri prebodu

Visoka temperatura jekla in žilindre in dolg čas zadrževanja jekla v ponovci so praktično onemogočili uporabo šamotne obzidave ponovc. Potrebno je bilo mnogo razvojnega dela, da smo rešili najhujše probleme in sicer z:

— vpeljavo drsnih zapiral

— dolomitne obzidave ponovc in

— ogrevanjem ponovc

Ostal je problem z žilindro, ki ga zaradi zastarelosti obrata in tehnologije verjetno ne bomo mogli uspešno rešiti.

Pri šaržah, ki pridejo iz elektro jeklarne navedenih težav ni ker je jeklo narejeno po dvožlindrnem postopku in ker doseganje dovolj visokih temperatur ni problematično.

### 3. PROBLEM MAŠENJA IZLIVKOV PRI KONTINUIRNEM VLVANJU JEKEL Z VSEBNOSTJO ALUMINIJA OD 0.025 DO 0.050 %

Jeklo, ki vsebuje aluminij in je izdelano po nekem standardnem postopku nujno vsebuje večjo ali manjšo količino nekovinskih vključkov tipa  $Al_2O_3$ . Med ognjestalno oblogo in talino in žlindro in talino se stalno vzpostavlja medsebojno ravnovesje tako, da lahko napravimo čisto jeklo le pri povsem določenih pogojih in to če so ponovce obzidane z dolomitno ali visokoaluminatno obzidavo in če talina ni pokrita z oksidacijsko žlindro. Pri normalnih pogojih pa je jeklo, ki je izdelano v SM peči vedno pokrito z večjo ali manjšo količino oksidacijske žlindre. V jeklu, ki je v ponovci pomirjeno z aluminijem bomo imeli poleg določene količine aluminija neko količino nekovinskih vključkov tipa  $Al_2O_3$  neglede na to kakšna je obzidava ponovce. Pri vlivanju takšnega jekla se vključki, ki so v jeklu, ali ki nastanejo pri reakciji med v jeklu raztopljenim aluminijem in ognjestalnim materialom obzidave, če je ta šamotna, ali izlivka, izloča na stenah izlivka v ponovci kakor tudi v vmesni ponovci in le-te lahko v zelo kratkem času zamašijo, tako da se tok jekla popolnoma prekine. Mehanizem tega mašenja je že precej raziskan, zato na tem mestu ne bomo navajali podrobne razlage.

Zaradi mašenja je treba izlivke v ponovci zelo pogosto čistiti s kisikom, da vlivanje lahko sploh poteka. Če pa se zamašijo izlivki v vmesni ponovci pa je vlivanja konec.

Jasno je, da se jeklo s pogostim čiščenjem s kisikom močno onečisti. Močna je tudi reoksidacija curka, ki ga prav zaradi potrebe po rezanju ne moremo zaščititi.

Ko smo se na Jesenicah pred petimi leti pripravljali na gradnjo naprave za kontinuirno vlivanje gredic teh problemov še nismo poznali. Razvoj na področju vlivanja jekel z vsebnostjo aluminija v gredice majhnih presekov se je v teh letih šele začel. Omenjeni problemi in pa rešitve so bili javnosti prvič predstavljeni na prvi Scaninject konferenci junija 1977 na Švedskem.

Jeklarji smo bili na Jesenicah postavljeni pred težko nalogo kako zmanjšati težave z mašenjem izlivkov. Poskuse smo vršili v treh smereh

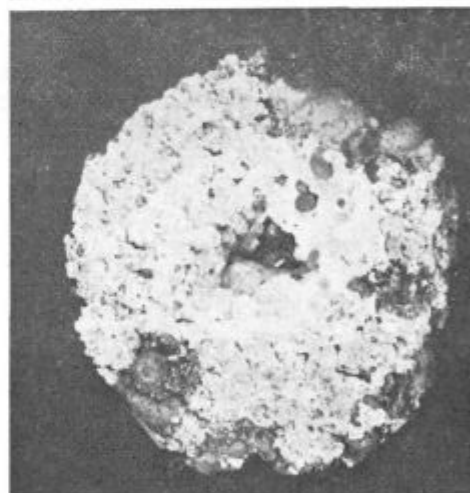
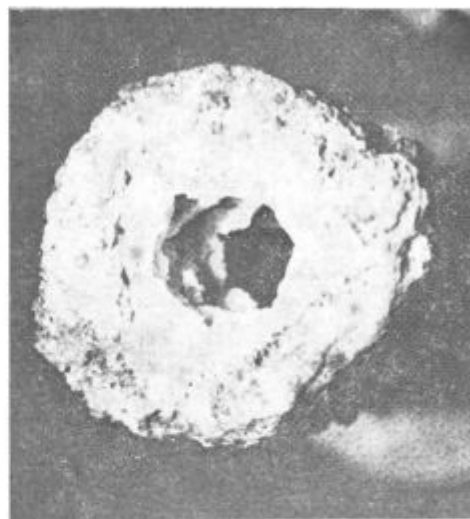
— poskusi napraviti bolj čisto jeklo odnosno spremeniti naravo nekovinskih vključkov

— poskusi uvajanja različnih materialov za izlivke drsnega zapirala

— poskusi obdelave jekla z uvajanjem CaSi v ponovci

Naj takoj povemo, da smo mašenje izlivkov v vmesni ponovci dovolj dobro rešili z uvajanjem majhnih količin argona skozi zamašne drogove.

Zgodi pa se, na srečo ne prepogosto, da je mašenje izlivkov vmesne ponovce tako močno, da ga tudi z uvajanjem argona skozi zamašni drog ne moremo preprečiti. Izlivki se povsem zapro in vlivanje se samo prekine. Primer tako zamašenega izlivka kaže slika 1.



Slika 1

Primeri zamašenega potopljenega izlivka iz vmesne ponovce  $\varnothing$  35 mm

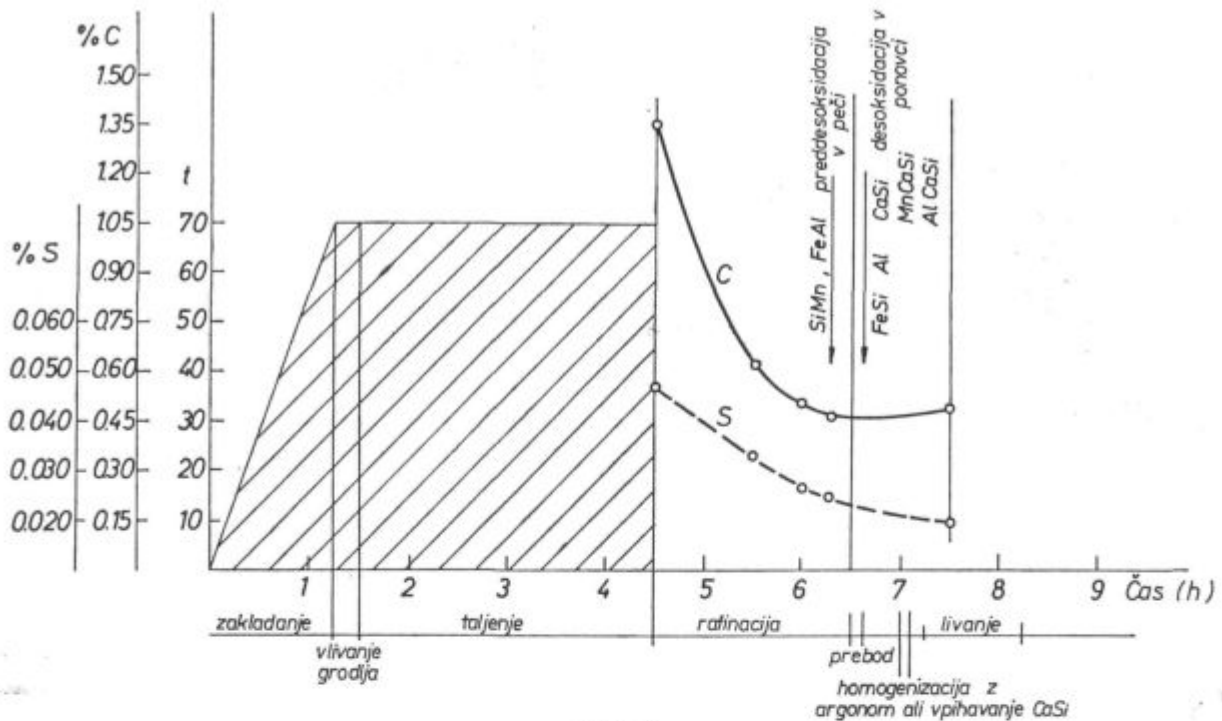
Fig. 1

Examples of stuffed immersed nozzle  $\varnothing$  35 mm in the intermediate ladle

Vzrok za to je predvsem v močni reoksidaciji curka jekla, ki teče iz ponovce. Zaradi potrebe po stalnem čiščenju izlivka v ponovci pa curka ne moremo učinkovito zaščititi.

Tako ves čas rešujemo le en problem in to mašenje v izlivkih drsnega zapirala v ponovci.





Slika 2  
Shematski prikaz izdelave jekla v SM peči

Fig. 2  
Flowsheet of manufacturing steel in open-hearth furnace

#### 4. IZDELAVA JEKLA V SM PEČI

Izdelava jekla je shematsko prikazana na sliki 2, kemijska sestava obravnavanih vrst jekel pa v tabeli 1.

Tabela 1: Kemijska sestava jekel za patentirano žico v %

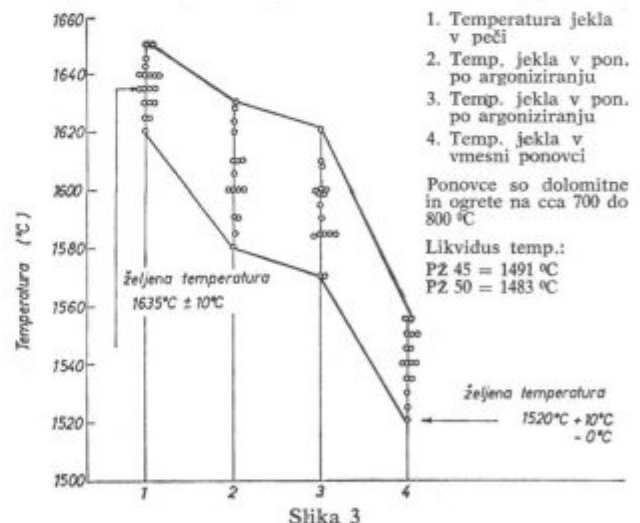
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Sn	Al
PZ 45	.45								
	.49								
PZ 50	.50								
	.54								
PZ 55	.55	.15	.55	maks.	maks.	maks.	maks.	maks.	.030
	.59	.25	.70	.035	.035	.12	.20	.020	.050
PZ 60	.60								
	.64								
PZ 65	.65								
	.69								

Kovinski vložek sestoji iz 50 % starega železa in 50 % grodlja. Takšna sestava vložka zagotavlja dovolj visok procent ogljika ob raztalitvi, ki v času žilavenja omogoča normalni dvig temperature jekla do prebodne temperature in dovolj intenzivno kuhanje taline.

Temperatura jekla v peči pred prebodom je 140 do 150° C nad likvidus temperaturo. Doseganje teh razmeramo visokih temperatur pa je možno

le v dobro delujočih pečeh in pri dovolj dolgem kuhanju taline.

Potek temperature jekla od peči do vmesne ponovce prikazuje slika 3. Značilen je visok raztros temperature jekla v ponovci in v vmesni ponovci.



Slika 3  
Potek temperature jekla od peči do vmesne ponovce

Fig. 3  
Variation of steel temperature from the furnace to the intermediate ladle

Preddeoksidacijo v peči smo izvajali pred uvedbo kontinuirnega vlivanja s silikomanganom, dezoksidacijo v ponovci pa s ferosilicijem in aluminijem.

Po sedANJI tehnologiji uporabljamo za predde-  
zoksidacijo feroaluminij v količini ca 1 kg Al/t  
jekla kot desulfurant pa še kalcij-silicij.

## 5. POSKUSI IZDELAVE JEKEL ZA PATENTIRANO ŽICO ZA KONTINUIRNO VLIVANJE Z UPORABO KOMPLEKSNIH DEZOKSIDANTOV

### 5.1. Namen in program poskusov

Namen poskusov je bil ugotoviti, če se z ukrepi  
dezoksidacije da vplivati na zmanjšanje mašenja  
izlivkov »šmiranja« v ponovci. Na voljo nismo  
imeli veliko možnosti zato smo program skrčili na:

- dezoksidacijo jekla s kosovnim MnCaSi v  
ponovci pri prebodu
- dezoksidacijo jekla s kosovnim CaSi v po-  
novci pri prebodu
- dezoksidacijo jekla s kosovnim AlCaSi v  
ponovci pri prebodu

Značilno za kalcij je visok parni tlak pri tem-  
peraturi tekočega jekla, ki znaša pri čistem Ca  
okoli 10 bar. Parni tlak Ca pada, če je ta vezan na  
eno ali več kovin. Izkoristek Ca v zlitini CaSi je  
slab pod 10 %, ker Ca hitro izpari in zgori v CaO,  
ki ga vidimo kot gost bel dim. Izkoristek Ca je  
večji v zlitini MnCaSi in AlCaSi.

### 5.2. Izdelava poskusnih šarž

Vse šarže smo izdelali na SM pečeh 02, 03, 06  
in 07 od katerih lahko jeklo transportiramo na  
kontinuirno livno napravo. Zaradi majhne proiz-  
vodnje teh jekel v času poskusov in majhnih koli-  
čin kompleksnih dezoksidantov število poskusnih  
šarž ni bilo veliko.

V tabelah 2, 3 in 4 prikazujemo rezultate po-  
skusov najprej za MnCaSi nato za CaSi in nazad-  
nje za AlCaSi.

Pri vseh šaržah smo v peči preddezoksidirali  
s feroaluminijem in silikomanganom. V ponovci  
pa smo dezoksidirali s ferosilicijem in aluminijem.  
Kompleksne desoksidante pa smo dodajali v več  
porcijah ves čas dokler ni pritekla žindra. S po-  
vršine taline smo skušali odstraniti čim več žlin-  
dre tako, da smo jo z žilindrno banjo izrinili preko  
roba.

Obzidava ponovc je dolomitna.

Pri vlivanju smo šteli kolikokrat smo morali  
čistiti izlivke s kisikom, kar je navedeno tudi v  
tabelah.

Poskusi so pokazali, da dajeta MnCaSi pred-  
vsem pa AlCaSi nekoliko boljše rezultate v pri-  
merjavi s CaSi. Predvsem lahko to trdimo za  
AlCaSi, ki smo ga uporabili le polovico količine  
CaSi odnosno MnCaSi. Poudariti pa moramo, da  
pri nobenem od teh poskusov količina aluminija

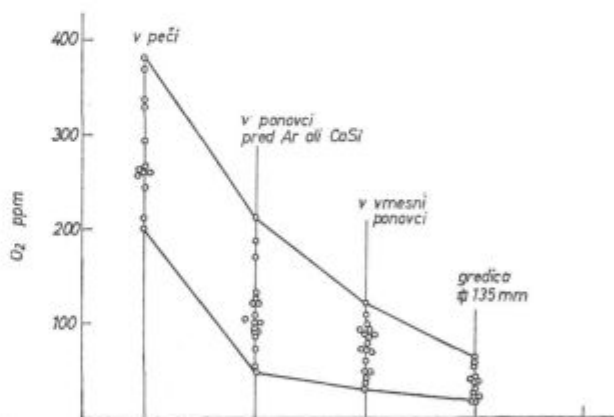
v jeklu ni bila ekstremno visoka. Iz vsakdanje  
prakse namreč vemo, da količina aluminija v  
jeklu dosega in presega 0.050 % in da je v takih  
primerih treba čistiti izlivke s kisikom tudi 20 x  
ali še več.

### 5.3. Preiskave izdelanih šarž

Iz tabel 2, 3 in 4 vidimo, da je število čiščenj  
izlivkov v ponovci s kisikom različno. Dogodi se  
tudi, da nekatere šarže kljub visoki vsebnosti alu-  
minija ne »šmirajo«, izlivki se torej ne mašijo in  
čiščenje s kisikom ni potrebno. Sklepamo lahko,  
da je takšno jeklo, ki ne »šmira« bolj čisto od  
tistega, ki »šmira«, če sta sicer podobne kemijske  
sestave. Zanimalo nas je torej če se da z analizo  
skupnega kisika v tekočem jeklu in v gredici in z  
mikroskopskimi preiskavami čistoče ugotoviti raz-  
like med različnim ponašanjem jekla pri vlivanju.

#### 5.3.1. Gibanje skupnega kisika v jeklu

Na sliki 4 prikazujemo gibanje celokupnega ki-  
sika pri jeklu PZ 45 in PZ 50 od peči do gredice.  
V tabeli 5 pa podajamo primerjavo vsebnosti  
skupnega kisika pri različni dezoksidaciji jekla in  
sicer v ponovci pred prepihanjem z argonom, v  
vmesni ponovci, v kontinuirno vlti gredici in pre-  
valjani gredici 17.5 mm kv.



Slika 4  
Gibanje celokupnega kisika pri jeklu PZ 45 in PZ 50 od  
peči do gredice

Fig. 4  
Variation of total oxygen in PZ 45 and PZ 50 steel between  
the furnace and the billet

Tabela 5:

	ΣO pred Ar		ΣO vmes. pon.		ΣO gr. 135 mm kv.		ΣO gr. 17.5 mm kv.	
	$\bar{x}$	S	$\bar{x}$	S	$\bar{x}$	S	$\bar{x}$	S
MnCaSi	62	9.5	72	17.2	52	18.3	50	15.0
CaSi	92	39.4	77	19.8	52	22.4	56	23.4
AlCaSi	88	1.4	56	10.0	82	18.9	54	6.4

Tabela 2:

Št. šarže	Kval.	Preddezoksid. v peči				Dezoksidac. v ponovci				Končna sestava				Vsebnost S		Stopnja odžvepl. v %		Temperatura °C			
		FeAl	SiMn	FeMn	MnCaS	FeSi	Al	t	Rezanje n/uro	C	Si	Mn	P	S	Al	ob rast.	pred preb.	med skup. preb.	v peči	po arg.	vmes. ponov.
02 7420	PZ 55	150	250	—	200	140	45	71	2	.56	.16	.017	.022	.010	.049	.019	55	—	1625	1595	1535
02 7426	PZ 45	250	250	—	200	160	35	67	4	.44	.26	.025	.022	.037	.065	.026	66	15	1630	1609	1540
02 7429	PZ 50	250	300	—	200	140	40	67	5	.50	.20	.018	.020	.014	.070	.026	71	23	1625	1580	1550
03 6957	PZ 45	230	300	—	200	160	50	69	7	.44	.27	.019	.017	.032	.050	.020	66	15	1630	1580	1550
06 8628	PZ 45	100	300	—	200	150	80	70	7	.48	.25	.013	.025	.020	.050	.026	50	4	1635	1590	1540
07 8512	PZ 55	200	200	—	200	140	50	—	—	.57	.17	.009	.017	.013	.044	.020	64	20	1620	1586	—

Tabela 3:

Št. šarže	Kval.	Preddezoksid. v peči				Dezoksidac. v ponovci				Končna sestava				Vsebnost S		Stopnja odžvepl. v %		Temperatura °C			
		FeAl	SiMn	FeMn	CaSi	FeSi	Al	t	Rezanje n/uro	C	Si	Mn	P	S	Al	ob rast.	pred preb.	med skup. preb.	v peči	po arg.	vmes. ponov.
02 7445	PZ 70	200	250	—	200	130	40	72	4 x	.72	.30	.015	.019	.019	.063	.022	70	14	1630	1590	1540
02 7467	PZ 45	150	—	—	150	130	60	59	6 x	.44	.29	.016	.016	.022	.038	.020	58	20	1635	1580	1505
02 7498	PZ 45	250	250	—	200	100	60	66	12 x	.46	.23	.013	.021	.021	.075	.024	72	13	1620	1590	1545
06 8690	PZ 45	250	200	—	200	100	50	79	5 x	.43	.35	.022	.018	.037	.055	.025	67	28	1625	1585	1530
07 8618	PZ 40	—	250	300	200	150	90	78	6 x	.43	.24	.027	.024	.024	.066	.035	64	31	1640	1610	1560
07 8640	PZ 50	200	300	—	200	150	70	76	8 x	.52	.30	.017	.020	.027	.055	.025	64	20	1640	1595	1515
03 7356	PZ 65	200	250	200aff	200	70	80	67	7 x	.67	.24	.021	.022	.027	.042	.022	48	0	1640	1590	1515
03 7386	PZ 60	200	200	230	170	60	80	67	6 x	.62	.14	.012	.018	.023	.077	.021	75	14	1620	—	1480
03 7418	PZ 55	200	200	200	180	70	75	76	0 x	.58	.13	.009	.022	.009	.064	.030	65	27	1630	1590	1535
07 8932	PZ 45	200	300	50	200	70	80	81	5 x	.45	.18	.016	.018	.020	.052	.022	65	18	1620	1600	1560
07 8970	PZ 70	200	200	250	200	70	80	78	7 x	.70	.23	.009	.019	.026	.052	.024	64	21	1620	1575	1520

Tabela 4:

Št. šarže	Kval.	Preddezoksid. v peči				Dezoksidac. v ponovci				Končna sestava				Vsebnost S		Stopnja odžvepl. v %		Temperatura °C			
		FeAl	SiMn	FeMn	CaSi	FeSi	Al	t	Rezanje n/uro	C	Si	Mn	P	S	Al	ob rast.	pred preb.	med skup. preb.	v peči	po arg.	vmes. ponov.
02 7886	C 1531	200	300	—	100	200	60	72	4 x	.47	.19	.016	.026	.023	.051	.024	49	—	1635	1595	1515
02 7901	C 1430	200	300	—	100	180	70	69	4 x	.37	.26	.018	.019	.043	.077	.026	75	27	1630	1600	1530
03 7459	PZ 45	200	200	—	100	180	60	66	4 x	.47	.22	.024	.023	.030	.053	.028	57	18	1620	1605	1510

poprečno 4 x  
x̄ = 62.5 %

Nihanja v vsebnosti celokupnega kisika so zelo velika kar se kaže iz velikosti standardnega odklona. Vendar pa primerjava vrednosti za posamezne šarže s potrebnim številom čiščenj s kisikom ne kaže nabene prave odvisnosti.

### 5.3.2. Vpliv aktivnega kisika v jeklu na intenzivnost mašenja izlivkov

Meritve aktivnega kisika smo vršili istočasno z jemanjem vzorcev za celokupni kisik, to je v ponovci pred homogenizacijo z argonom in v vmesni ponovci. Število meritev je bilo močno omejeno zaradi pomanjkanja merilnih sond. Za meritve uporabljamo sonde tipa FOX (Cr/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

Rezultate navajamo v tabeli 6 le za dezoksidacijo z MnCaSi, kjer so rezultati popolni.

Tabela 6:

	C	Si	Mn	P	S	Al	O <sub>a</sub> v (ppm)		
							pred Ar	vmes. pon.	rez. n/uro
02 7420	.56	.16	.60	.017	.022	.010	7.9	15.3	2
02 7426	.44	.26	.75	.025	.022	.037	13.4	4.6	4
02 7429	.50	.20	.73	.018	.020	.014	—	8.7	5
03 6957	.44	.77	.65	.019	.017	.032	10.9	3.6	7
06 8628	.48	.25	.74	.013	.025	.020	2.4	3.5	7
07 8512	.57	.17	.59	.009	.017	.013	4.6	9.0	5

Meritve potrjujejo le, da je vsebnost aktivnega kisika odvisna od stopnje dezoksidacije.

Sicer pa je tekočnost jekla v obratni odvisnosti od stopnje dezoksidacije.

Vsi dosedanja rezultati in vsakdanja praksa kažejo le, da je neposredna zveza med vsebnostjo aluminija v jeklu in nagnjenostjo k mašenju izlivkov.

### 5.3.3. Preiskave mikročistoče in narave nekovinskih vključkov

Kontrola mikročistoče po načinu JK spada med redne preiskave jekel za patentirano žico, ki jo določamo na polproduktu, to je 17.5 mm kv.

V tabeli 7 podajamo pregled mikročistoče po JK za preizkane šarže. Pri tem vrednost pod A predstavlja velikost in število sulfidnih nekovinskih vključkov, vrednost pod D pa aluminatnih nekovinskih vključkov.

Primerjava s tabelami 2, 3 in 4 kaže, da obstoji zveza med skupno čistočo in še posebno med številom aluminatnih nekovinskih vključkov in številom potrebnih čiščenj izlivkov s kisikom. Seveda moramo upoštevati, da je tudi število čiščenj s kisikom relativno število, saj je odvisno od subjektivne ocene delavca, ki to delo izvaja.

Tabela 7:

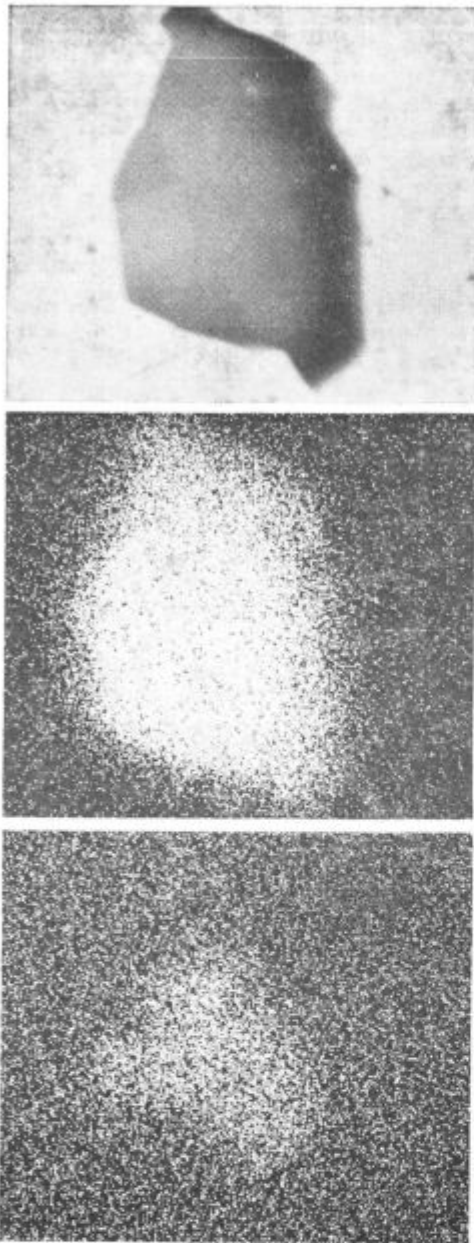
Št. šarže	A	B	C	D	Vsota
<b>MnCaSi</b>					
02 7420	1.96	0.24	0.00	1.74	3.94
02 7426	2.30	0.06	0.10	1.72	4.18
02 7429	2.16	0.06	0.00	1.58	3.80
03 6957	2.22	0.04	0.00	1.70	3.96
06 8628	2.58	0.00	0.00	1.68	4.26
	$\bar{x} = 2.24$			$\bar{x} = 1.68$	$\bar{x} = 4.03$
	S = 0.20			S = 0.05	S = 0.17
<b>CaSi (kosi)</b>					
02 7445	2.16	0.10	0.00	1.32	3.58
02 7467	2.12	0.12	0.00	1.78	4.02
02 7498	2.02	0.24	0.40	1.60	4.26
07 8640	2.28	0.03	0.00	1.78	4.09
03 7356	1.88	0.00	0.00	1.55	3.43
03 7386	2.36	0.38	0.00	1.34	4.08
03 7418	2.52	0.30	0.00	1.32	4.14
07 8932	2.42	0.00	0.04	1.38	3.84
07 8970	2.00	0.02	0.00	1.64	3.66
	$\bar{x} = 2.19$			$\bar{x} = 1.52$	$\bar{x} = 3.90$
	S = 0.20			S = 0.18	S = 0.27
<b>AlCaSi</b>					
02 7886	2.50	0.26	0.00	1.50	4.26
02 7901	2.84	0.00	0.00	1.32	4.16
03 7459	2.56	0.04	0.00	1.48	4.08
	$\bar{x} = 2.63$			$\bar{x} = 1.43$	$\bar{x} = 4.16$

Raziskave številnih avtorjev, ki so raziskovali mehanizem zapiranja izlivkov npr. S. K. Saxena s sodelavci,<sup>1</sup> so pokazale, da je predvsem potrebno v osnovi spremeniti morfologijo oksidnih nekovinskih vključkov — aluminatov v kalcijeve aluminatate, ki so v nasprotju z aluminati pri temperaturi vliivanja jekla tekoči, da se izognemo mašenju izlivkov. Preiskave nekovinskih vključkov z elektronsko mikroanalizo so pokazale, da se z uporabo CaSi in drugih kompleksnih kalcijevih zlitin tudi v veliki količini do 0.6 kg Ca/t v kosovni obliki pri preobodu ne da spremeniti morfologije aluminatnih nekovinskih vključkov v taki meri, da bi to bistveno vplivalo na livne lastnosti.

Da pa tudi pri uporabi CaSi in drugih kompleksnih Ca zlitin pride do spremembe narave nekovinskih vključkov v Ca aluminatate kažejo slike 5.

## 6. POSKUSI Z UPORABO IZLIVKOV RAZLIČNIH KVALITET S CILJEM DOSEČI ZMANJSANJE MAŠENJA LE-TEH V DRSNEM ZAPIRALU

Vrsta materiala iz katerega je narejen izlivek vpliva na pojav mašenja izlivkov. Ti problemi so



ES
Al
Ca

Slika 5

Modificiran nekovinski vključek po obdelavi jekla s kompleksnimi Ca zlitinami

Fig. 5

Modified non-metallic inclusion after treating steel with complex Ca alloys

poznani že od klasičnega vliivanja. Vpliv izlivka je dvojen in sicer vpliva na eni strani materiala npr.  $\text{SiO}_2$  v izlivku reagira z aluminijem v jeklu, na drugi strani pa vpliva izlivek s svojo toplotno

prevodnostjo. Čim bolj odvaja toploto bolj se mašijo izlivki.

Ves ognjestalni material za izlivke v drsnih zapiranih je od firme Didier. Uporabljamo različne vrste izlivkov z različno vsebnostjo  $\text{Al}_2\text{O}_3$  in različno vzdržnostjo. Na izbiro tipa izlivka vpliva predvsem vrsta jekla, ker so jekla z različno kemično sestavo različno erozivna.

Normalno uporabljamo naslednje vrste izlivkov:

	PZ 12—PZ 30		% $\text{Al}_2\text{O}_3$		PZ 30—PZ 70		% $\text{Al}_2\text{O}_3$
notranji izlivek	Sanit 065/4 051/1	ali	90	Ø	Sanit K 340	Ø	45
zunanji izlivek	Sanit 051/1		80	Ø	Sanit K 340	Ø	45

	notranji izlivek	$\text{Al}_2\text{O}_3$	Ø	zunanji izlivek	Ø	% $\text{Al}_2\text{O}_3$
1. Sanit K 340 TSV	45—48	50	40	Sanit 051/1	40	
2. Grasanit C 6 — 360	56—58	50	45	Fermal 320	45	37—40
3. Rexal 153 DSV	92 MgO	50	40	Fermal 320	40	
4. Sanit 065/4	90	60	40	Fermal 320	40	

ZrO vložkom

Skupno s firmo Didier smo z namenom zmanjšati mašenje izlivkov preizkusili še naslednje vrste izlivkov:

Sanit K 340 TSV, ki je prepojen s terom je pri prvem vliivanju popolnoma preprečil mašenje. Toda že pri drugem vliivanju, ko je ogljik v izlivku izgorel smo morali ponovno čistiti s kisikom.

Izlivki tipa Grasanit in Rexal niso dali boljših rezultatov.



Najboljši rezultat smo dobili z izlivki Sanit 065/4 s cirkonoksidnim vložkom. Kasnejše preskave so pokazale, da je bil dober rezultat bolj posledica čistejšega jekla (skupni kisik pod 50 ppm) in manjše vsebnosti aluminija. Vzdržnost teh izlivkov pa je bila zelo dobra od 8 do 16 livanj odvisno od potrebe po čiščenju s kisikom.

Poskusi z različnimi vrstami izlivkov so pokazali, da pri naših razmerah z izbiro izlivkov ne moremo preprečiti mašenja izlivkov. Pri vseh izlivkih ne glede na vsebnost  $Al_2O_3$  odnosno  $SiO_2$  smo lahko opazovali močno mašenje če je v jeklu več kot 0.020 % Al.

## 7. POSKUSI OBDELAVE JEKLA Z UVAJANJEM CaSi V PONOVCU

Niti z različnimi načini dezoksidacije niti z uporabo različnih vrst izlivkov nismo uspeli preprečiti mašenja izlivkov. Posamezni primeri, ko teče jeklo iz ponovce kljub normalni vsebnosti aluminija neovirano (brez šmiranja) so plod slučajnosti in zelo majhnega odgora aluminija, ki ima za posledico čisto jeklo.

Ker pa normalna proizvodnja ne more temeljiti na slučajnostih smo se odločili za poskuse obdelave jekla s prašnatim CaSi v ponovci. Metalurški inštitut iz Ljubljane je namreč dobil napravo firme Paulus s katero smo napravili opisane poskuse.

Z vpihovanjem CaSi globoko v jeklo (ca 2 m) dosežemo visok izkoristek kalcija, visoko stopnjo odžveplanja in spremembo morfologije nekovinskih vključkov.

Pri naših poskusih smo vpihovali od 1 do 2.5 kg CaSi na tono jekla, dočim znaša dodatek kosovnega CaSi pri normalnem delu 3 kg/t. Pri vseh poskusih smo dosegli odlično livnost brez potrebe po čiščenju izlivka s kisikom. To pa pomeni, da je možno uvesti zaščito curka jekla s keramičnimi izlivki in preprečiti reoksidacijo jekla pri iztoku iz iz glavne ponovce v vmesno ponovco.

Podatki o poskusih so zbrani v tabeli 8. Odlična livnost pri teh poskusnih šaržah je posledica spremembe sestave aluminatnih nekovinskih vključkov.  $Al_2O_3$  daje s CaO pri zadostni količini kalcija v jeklu tekoče kalcijeve aluminatne, ki lažje kaogulirajo ter izplavajo v žilindrno in ne mašijo izlivkov. Merilo za to je vsebnost kalcija v jeklu.

Odvisnost tekočnosti jekla od vsebnosti kalcija po znanem Hiltyjevem diagramu<sup>2</sup> prikazuje slika 6. Šrafirano področje z vsebnostjo Ca od 40 do 60 ppm predstavlja naše poskusne šarže.

CaSi smo vpihali pod oksidno žilindro, ki smo jo delno odstranili in zatrdili tako, da smo zmanjšali njeno aktivnost. Redukcija fASFORJA in mangana je pri teh višje ogljičnih jeklih neznatna in ne vpliva bistveno na kemično sestavo jekla.

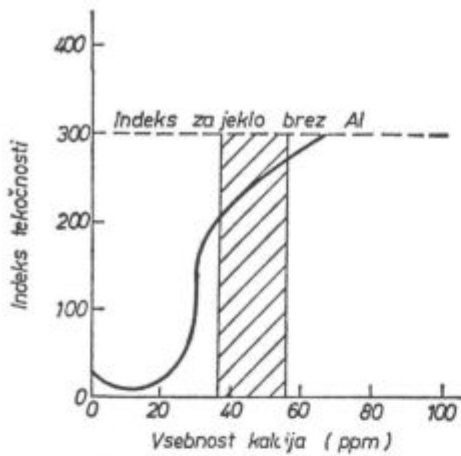
Odlični rezultati glede livnih lastnosti, ki smo jih dobili z obdelavo jekla s CaSi so dali pobudo za postavitev industrijske naprave, ki je sedaj v gradnji.

Tabela 8:

Št. šarže	Kval.	Preddesoksid. v peči				Dezoksidac. v ponovci				Končna sestava				Vsebnost S		Stopnja odžvep. pred v % skup. v pon.		Temperatura po vmes. pih. CaSi		ponov. A		
		FeAl	SiMn	FeMn	CaSi	CaSi	FeSi	Al	Pihan CaSi	t	C	Si	Mn	P	S	Al	ob rast.	pred. pih.	v peči			
02 7508	PZ 45	200	300	200	—	100	50	60	65	.47	.22	.58	.012	.018	.022	.052	.022	65	18	1630	—	1530
02 7547	KV 35	200	200	50	—	180	60	90	70	.35	.30	.69	.021	.021	.023	.067	.021	69	—	1640	1588	1550
02 2560	C 1530	200	—	—	40	160	25	60	61	.48	.21	.83	.028	.027	.011	.060	.029	55	7	1635	1585	1535
06 8775	PZ 65	250	—	180	140	100	65	90	72	.61	.26	.70	.022	.013	.017	.047	.026	72	50	1640	1598	1540
06 8778	PZ 45	250	—	80	—	170	75	140	72	.49	.26	.76	.028	.017	.022	.078	.028	78	40	1645	1600	1570
06 8781	PZ 45	200	—	80	—	180	80	70	77	.47	.26	.65	.022	.022	.029	.072	.034	69	35	1635	1568	1530
03 7589	PZ 55	200	150	30	180	60	70	70	64	.52	.26	.57	.009	.022	.030	.082	.029	74	24	1635	1590	1540
02 8042	PZ 60	200	250	50	100	80	80	80	64	.63	.19	.71	.017	.010	.041	.032	.015	69	33	1640	1580	1530
10 0476	C 1431	150	200	—	—	50	30	145	58	.41	.48	.77	.024	.012	.018	.060	.028	80	57	1685	1590	1540

$\bar{x} = 70.6 \%$





Slika 6

Vpliv Ca v jeklu na tekočnost po Hilfy-ju; šrafirano področje predstavlja vrednosti naših poskusov

Fig. 6

Influence of Ca in steel in the fluidity by Hilfy; shadowed area represents values of own experiments

### 7.1. Preiskave mikročistoče in narave nekovinskih vključkov

Pregled mikročistoče šarž, ki so bile obdelane s CaSi v ponovci, podajamo v tabeli 9.

Primerjava s tabelo 7 kaže, da je pri teh jeklih predvsem manj sulfidov kar se sklada z nižjo vsebnostjo žvepla pri teh šaržah.

Nekovinski vključki so delno modificirani. Pri višji vsebnosti žvepla še vedno najdemo razpotegnjene manganove sulfide, kot je prikazano na primeru šarže 06 7547 z 0.021 % S na sliki 7.

Popolno modifikacijo sulfidov nekovinskih vključkov dosežemo šele pri zelo majhni vsebnosti žvepla pod 0.007 %. Pri tako nizkem žveplu v jeklu razpotegnjenih manganovih sulfidov v žici ni več opaziti. Kolikor še ostane žvepla se nahaja kot ovoj kalcijevega sulfida kakor je razvidno iz slike 8.

Tabela 9:

St. šarže	Končna sestava v %						Vsebnost kisika (ppm)					
	C	Si	Mn	P	S	Al	pred Ar	v vmesni ponvi		gredica		
							O	O <sub>a</sub>	O	O <sub>a</sub>	135 kv.	17.5 kv.
CaSi (vpihan)												
02 7508	.47	.22	.58	.012	.018	.022	90	—	55	—	54	50
02 7560	.35	.30	.69	.021	.021	.023	71	5.79	42	5.18	64	71
02 6560	.48	.21	.83	.028	.027	.011	85	7.6	70	16.9	53	68
06 8775	.61	.26	.70	.022	.013	.017	70	—	37	—	46	29
06 8778	.49	.26	.76	.028	.017	.022	109	36.1	62	10.9	31	54
06 8781	.47	.26	.65	.022	.022	.029	125	18.2	88	4.46	60	41
03 7589	.52	.26	.57	.009	.022	.030	124	—	115	—	—	—
02 8042	.63	.19	.71	.017	.010	.041	141	—	69	—	—	—
10 0476	.41	.48	.77	.024	.012	.018	53	—	43	—	—	—

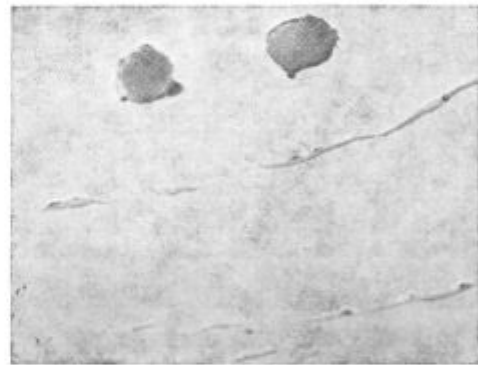
Pri naših poskusih pa to ni bil naš cilj, ker razpotegnjeni vključki MnS v žici za patentiranje niso škodljivi. Zato žvepla pod 0.012 % niso potrebna.

Naš cilj — dobro livnost pa smo s tem dosegli.

### 8. OCENA OPISANIH POSKUSOV IN DOSEDANJE IZKUŠNJE KONTINUIRANEGA VLIVANJA JEKEL ZA PATENTIRANO ŽICO Z VIŠJO VSEBNOSTJO ALUMINIJA

Iz opisanih poskusov in dosedanjih dvoletnih izkušenj pri vlivanju jekel za patentirano žico lahko napravimo naslednje zaključke:

Izdelava z aluminijem pomirjenih jekel v SM pečeh za kontinuirno vlivanje gredic majhnih presekov ni ugodna. Tehnološka ovira je predvsem velika količina žlindre, ki ostane na jeklu.

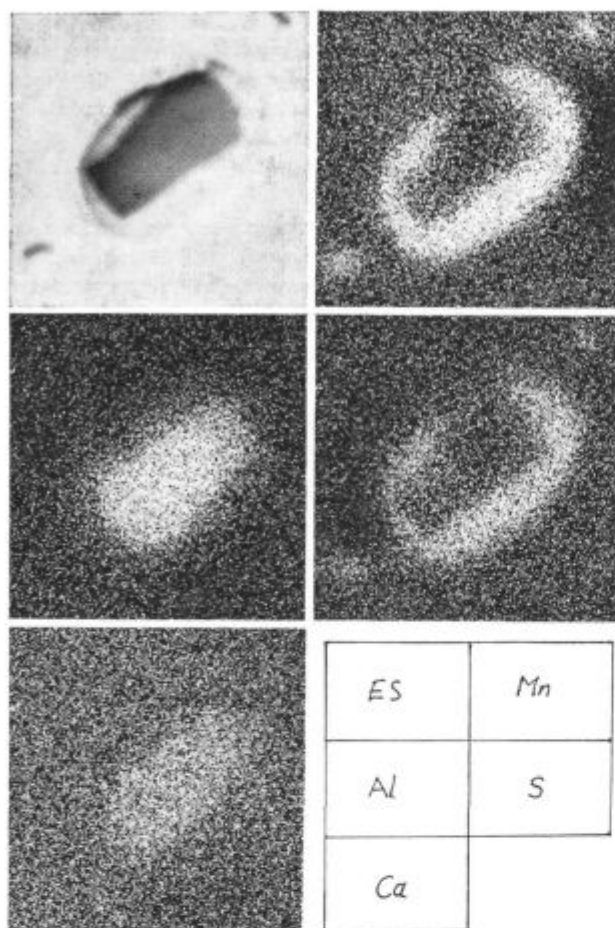


Slika 7

Primer modificiranega vključka in razpotegnjenega manganovega sulfida po obdelavi s CaSi pri širši 06 7547, S = 0,021 %

Fig. 7

Example of modified inclusion and stretched manganese sulphide after treatment with CaSi in the 06 7547 melt, S = 0.021 %



Slika 8

Primer modificiranega vključka po vpihovanju CaSi pri šarži 06 8775 — PZ 6 T

Fig. 8

Example of modified inclusion after blowing CaSi into 06 8775 — PZ 65 melt

Z uporabo CaSi, MnCaSi in AlCaSi v kosovni obliki pri desoksidaciji v ponovci tudi v velikih količinah do 4 kg/t oziroma do 1.2 kg Ca/t ni mogoče doseči tolikšne spremembe narave nekovinskih vključkov v Ca aluminat, da bi se bistveno izboljšala livnost jekla. Izkoristek Ca je tako slab, da ga v jeklu nismo zasledili.

Livnost lahko izboljšamo le če jeklo, ki je pomirjeno z aluminijem (min. 0.020 % Al) obdelamo s CaSi v ponovci. Za doseganje dobre livnosti zadošča že 1 kg CaSi/t pri čemer zasledimo od 40 do 60 ppm Ca v jeklu (glej sliko 6). Navedeno velja za jekla z 0.40 % C navzgor, če smo odstranili večji del žlindre, ostanek pa zatrdil.

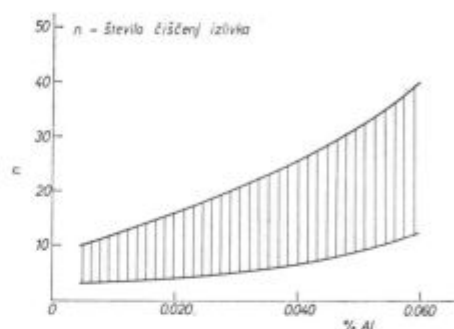
Pri maloogljičnih jeklih pa je potrebna popolna odstranitev oksidne žlindre, če ne pride do nekontrolirane redukcije P in Mn iz žlindre.

Jeklo je lahko dobro livno, če je dovolj čisto. Celokupni kisik mora biti pod 50 ppm. Izdelava čistega jekla pa je doslej bolj plod slučajnosti. Oksidna žindra, homogenizacija jekla v ponovci

z argonom skozi kopje od zgoraj povzroča večji odgor aluminija in onečiščenje jekla. Če je odgor aluminija manjši od 60 % so dane možnosti, da bo jeklo dovolj čisto.

Pri maloogljičnih jeklih (PZ 12, Č 1220) je odgor aluminija od 70 do 80 %. Če pa so dani pogoji, da se jeklo očisti aluminatnih vključkov, skupni kisik je pod 50 ppm, tudi dosežemo dobro livnost.

Največji vpliv na livnost oziroma na mašenje izljev ima vsebnost aluminija v jeklu. Le to lahko poenostavljeno prikažemo na način kakor ga kaže slika 9.



Slika 9

Medsebojna odvisnost med vsebnostjo aluminija in številom čiščenj izliva s kisikom

Fig. 9

Mutual relationship between the aluminium content and the number of nozzle openings by oxygen

### Mašenje potopljenih izljev v vmesni ponovci

Za mašenje potopljenih izljev v vmesni ponovci veljajo enaki zakoni kakor za glavno ponovco. Z uvajanjem argona skozi zamašne drogove direktno v curek jekla pa to mašenje dovolj dobro preprečujemo. Zgodi pa se, da je mašenje izljev v vmesni ponovci tako močno, da ga s samim argonom ne moremo preprečiti. Razlog za ta pojav je verjetno v premočni sekundarni oksidaciji curka jekla ko teče nezaščiten iz glavne v vmesno ponovco.

## 9. PREIZKAVE HOMOGENOSTI JEKLA

### 9.1. Makroskopske preiskave

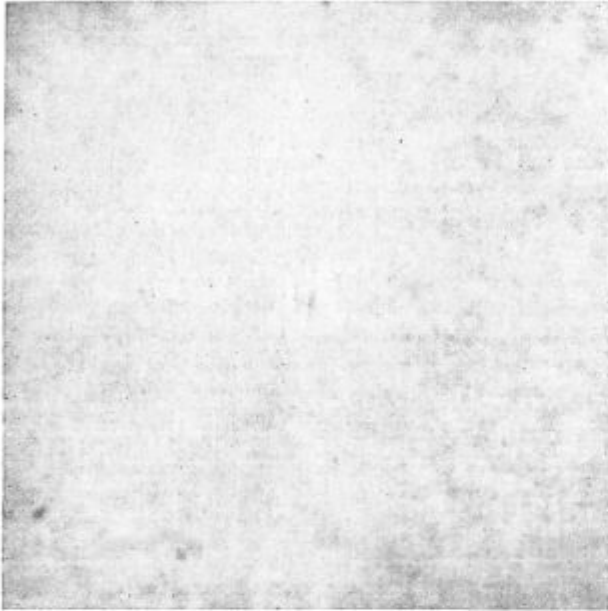
Notranja homogenost jekla, ki je definirana z velikostjo lunke s centralno poroznostjo, razpokami, vključki žlindre in livnega praška je pomembna za kvaliteto odlitih gredic za sposobnost nadaljne predelave in za lastnosti jekla.

Notranjo homogenost kontroliramo z Baumanovim odtisom in z makrojedkanjem. Omenjene preiskave delamo na skobelnem ali tudi na brusnem odrezku gredice.

Za redno kontrolo delamo le Baumanov odtis na žveplo, ki dovolj nazorno pokaže porazdelitev in količino sulfidnih vključkov in druge napake kot so mehurčki, lunke, razpoke in podobno.

Za odkrivanje notranjih napak predvsem homogenosti oziroma poroznosti, razpok vključkov žlindre ali livnega praška in makrostrukture pa je najboljše makro jedkanje.

Na sliki 10 prikazujemo dva Baumanova odtisa dveh vrst jekel in sicer PZ 50 z 0.025 % S in VAC 60 za varjenje pod CO<sub>2</sub> z 0.012 % S, na sliki 11 pa tipičen primerek makrojedkanih plošč nekega jekla za patentirano žico.

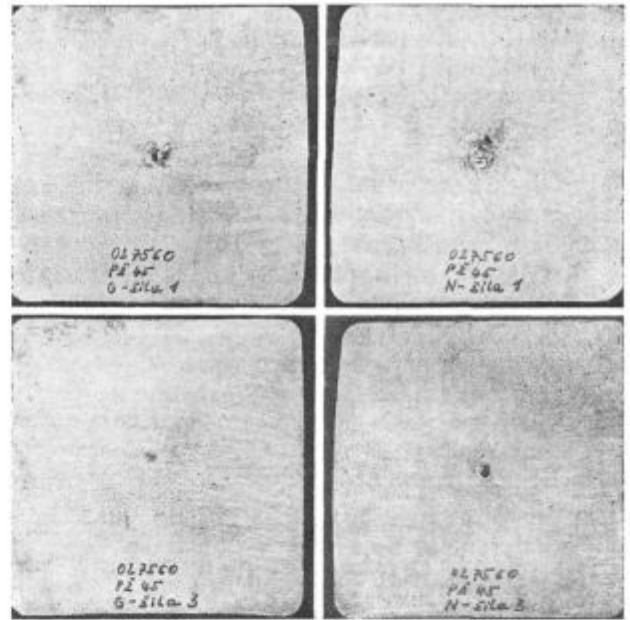


Slika 10

Baumannov odtis dveh vrst jekel  
zgoraj: S = 0,012 %  
spodaj: S = 0,025 %

Fig. 10

Baumann print of two steel  
Above: S = 0.012 %  
Below: S = 0.025 %



Slika 11

Primer makrojedkanih vzorcev

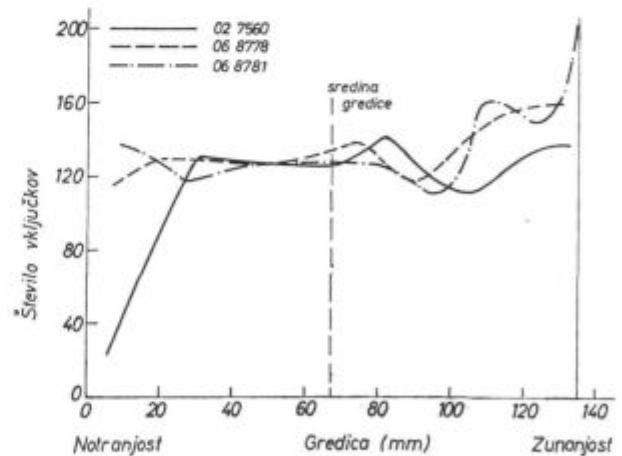
Fig. 11

Example of macroetched samples

## 9.2. Preiskave porazdelitve nekovinskih vključkov po preseku gredice

Za kvaliteto kontinuirno vlite gredice je zelo pomembna porazdelitev nekovinskih vključkov po preseku od notranjega radiusa k zunanemu.

Na sliki 12 je predstavljena porazdelitev nekovinskih vključkov po preseku za štiri šarže in sicer za jeklo, ki smo ga v ponovci obdelali s CaSi.



Slika 12

Porazdelitev nekovinskih vključkov po preseku gredice

Fig. 12

Distribution of non-metallic inclusions in the billet cross-section

## ZAKLJUČKI

Iz doseganjih dvoletnih izkušenj vlivanja z aluminijem pomirjenih jekel lahko napravimo naslednje zaključke:

SM peč ni najbolj primeren agregat za izdelavo jekel z vsebnostjo aluminija od 0.020 do 0.050 % za kontinuirno vlivanje gredic majhnih presekov predvsem zaradi problema mašenja izlivkov tako v glavni kot v vmesni ponovci ter zaradi potrebnih višjih temperatur, ki jih le s težavo dosegamo.

Izdelava s Si in Mn pomirjenih jekel za odprto vlivanje kakor tudi vlivanje samo ne predstavlja posebnih težav z izjemo visokih temperatur v peči, ki morajo biti v mejah od 1660 do 1670° C.

Če izdelamo jeklo v električnih obločnih pečeh po dvožlindrnem postopku potem mašenja izlivkov praktično ni. Tudi doseganje visokih prebodnih temperatur ne predstavlja nobenih težav.

Z uporabo kompleksnih kalcijevih zlitin pri prebodu ni mogoče bistveno izboljšati livnosti jekla.

Mašenje izlivkov je v največji meri odvisno od vsebnosti aluminija v jeklu in od izkoristka aluminija pri dezoksidaciji.

Livnost lahko učinkovito izboljšamo le z obdelavo jekla s CaSi v ponovci vendar je treba pri tem odstraniti večji del žlindre in ostanek zatrditi.

Homogenizacija taline v ponovci s preprihovanjem jekla skozi kopje od zgoraj ni dobra, ker vpliv mešanja ne sega do dna in ker pride zaradi močnega mešanja žlindre in taline do oksidacije taline z žlindro.

Kvaliteta jekla je kljub temu, da curka jekla iz ponovce do vmesne ponovce ne moremo zaščititi v poprečju dobra, tako v pogledu skupnega kisika, mikro in makročistoče in plastičnih lastnosti pri vročem valjanju in hladnem vlečenju.

Prepričani smo, da bo obdelava jekla s CaSi v ponovci z napravo, ki je v gradnji izboljšala livnost do take mere, da bo mogoče zaščita curka jekla iz ponovce in tako izboljšati čistočo in homogenost jekla.

## Literatura

1. S. K. — Saxena in sodelavci. Scandinavian Journal of Metallurg 7 (1978) 126—133.
2. D. C. Hilty: ISIJ/ASM international symposium on the inference of Metallurgy on Machinability, Tokyo, 26. sept. 1977.

## ZUSAMMENFASSUNG

Im Hüttenwerk Jesenice wird etwa 30 % der Gesamtstahlproduktion in Knüppel und weiter zu Draht und Stabstahl verarbeitet. Unter diesen Erzeugnissen sind an erster Stelle die Stähle für patentierte Drähte mit einem Aluminiumgehalt von 0.025 bis 0.050 % und Stähle für das Schweißen unter CO<sub>2</sub> Schutzgasatmosphäre. Der grösste Teil der Schmelzen wird deswegen nach dem geschlossenen System mit Tauchröhren vergossen.

Das grösste Problem beim Giessen dieser Stahlsorten stellt das Zuschmieren der Ausgüsse in der Pfanne wie auch in der Zwischenpfanne dar.

Die unmittelbare Ursache für das Zuschmieren der Ausgüsse ist das Ansetzen der Aluminiumoxydanschlässe an den Wänden der Ausgüsse, was im äussersten Fall bis zu einer vollkommenen Verstopfung des Ausgusses führt.

Die durchgeführten Untersuchungen hatten das Ziel die Möglichkeit einer Beeinflussung der Reinheit des Stahles, der Zusammensetzung, der nichtmetallischen Einschlässe und der Vergiessbarkeit zu untersuchen.

Die bisherigen zweijährigen Erfahrungen beim Giessen aluminiumhaltiger Stähle mit einem Aluminiumgehalt von 0.020 bis 0.050 % in Knüppel 135 mm 4 kt und die durchgeführten Untersuchungen zeigen folgendes:

— der SM Ofen ist für die Erzeugung von Stählen für das Stangiessen von Knüppeln nicht am besten geeignet, vor allem wegen der nötigen hohen Abstichtemperaturen. Die spezifische Erzeugungsart und die grossen Mengen oxydischer Schlacke machen die Erzeugung genügend

reinen Stahles für ein einwandfreies geschlossenes Giessen nicht möglich.

— durch die Desoxydation mit komplexen Calciumlegierungen beim Abstich ist es nicht möglich die Giessbarkeit erheblich zu verbessern.

— die Anwendung der Ausgüsse verschiedener chemischer Zusammensetzung hat keinen erheblichen Einfluss auf die Vergiessbarkeit.

— das Zuschmieren der Ausgüsse ist im grössten Umfang von Aluminiumgehalt im Stahl und vom Aluminiumausbringen bei der Desoxydation abhängig.

— die Vergiessbarkeit des Stahles kann nur durch die Calciumbehandlung des Stahles in der Pfanne wirkungsvoll verbessert werden. Es ist jedoch nötig den grössten Teil der Schlacke zu entfernen und den Rest abzusteifen.

— die Homogenisierung der Schmelze in der Pfanne mit Argon durch eine Lanze von oben ist nicht gut, da der Mischeffekt nicht bis zum Boden reicht und durch die Reaktion zwischen Schlacke und Stahl der Stahl zu stark oxydiert wird.

— die Stahlqualität ist hinsichtlich des mikroskopischen und makroskopischen Reinheitsgrades im Durchschnitt gut.

— durch die Einführung der Calciumbehandlung von Stahlschmelzen nach dem Ausbau der im Bau befindlichen Anlage und der Giessstrahlabschirmung von der Pfanne zum Verteiler, werden Bedingungen geschaffen, die Reinheit des Stahles zu verbessern.



## SUMMARY

About 30 % of total steel production in Jesenice Ironworks is processed into billets. Among those steels the most important is the steel for patented wire with 0.025 to 0.050 % aluminium and the steel for CO<sub>2</sub> welding. Most steel is cast in closed system with an immersed nozzle.

The most serious problem in casting these steels is stuffing of the nozzles in the ladle, i. e. in the pouring and the intermediate ladle.

The nozzles are stuffed due to the precipitation of aluminium oxide on the nozzle walls which finally can cause the complete stopping of casting.

The investigations were made to find the influence and the importance of various deoxidation methods in achieving better purity of steel, and how the changed composition of non-metallic inclusions can reduce the stuffing effect.

Experiences in continuous casting of steel with 0.020 to 0.050 % aluminium into 135 mm square billets and the investigations in the last two years show:

— open-heart furnace is not a very suitable set-up for manufacturing steel for continuous casting, mainly due problems in obtaining sufficient high tapping temperatures of steel. Specific way of manufacturing and great

amounts of oxide slag do not allow to obtain sufficiently pure steel for the closed system of casting.

— Application of complex calcium alloys during the tapping does not essentially improve the castability of steel.

— Stuffing of nozzles mainly depends on the aluminium content in steel and on the aluminium yield in the deoxidation process.

— Steel castability can be effectively improved only by treating the steel with CaSi in the ladle, but previously the greater amount of slag must be removed and the rest solidified.

Melt homogenizing in the ladle by the lance top blowing is not efficient since the stirring effect does not reach the bottom, and intensive stirring of melt and slag causes oxidation of melt by the present slag.

Steel quality with the respect to the homogeneity of macro- and micro-purity is generally good.

Introduction of the steel treatment with CaSi in the ladle in the set-up which is built and by bottom blowing and jet protection between the ladle and the intermediate ladle will further improve the steel quality.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В металлургическом заводе Железарна Есенице приблизительно 30 % от совокупного производства сырой стали изготовляется в форме заготовок.

В этом количестве по качеству преобладает сталь для изготовления патентованной проволоки с содержанием алюминия от 0,025 до 0,050 % и сталь для сварки в атмосфере CO<sub>2</sub>. Значит, главным образом литье стали выполняется при применении закрытой системы с погруженными выпусками.

Самый сложный вопрос при разливке этих сталей представляет закупоривание выпусков в ковше, а также и в промежуточном ковше. Непосредственная причина закупоривания выпускных отверстий представляет осаждение окиси алюминия на стенках выпусков, что в крайнем случае приводит до полного закупоривания и прекращения разливки.

Выполненными опытами авторы стремились определить насколько с различными способами раскисления можно повлиять на повышение чистоты, отн. на изменение состава неметаллических включений и, таким образом, уменьшить появления закупоривания.

Выполненные до сих пор двухлетние исследования непрерывного литья стали с содержанием от 0,020 до 0,050 % алюминия в форме заготовок 135 × 135 мм<sub>2</sub> показали следующее:

— СМ-печь не представляет собой агрегат соответствующий для изготовления сталей непрерывным литьем главным образом

из-за затруднений достижения необходимых высоких выпускных температур стали. Специфический способ изготовления и большое количество окислительного шлака не дают возможность изготовлению достаточно чистой стали закрытого литья.

— Применение комплексных сплавов кальция при выпуске не дает существенного улучшения литейных свойств стали.

— Закупоривание выпускных отверстий зависит главным образом от содержания алюминия в стали и от использования алюминия при процессе раскисления.

— Литейные свойства стали можно улучшить с обработкой стали с CaSi в ковше, но необходимо устранить большую часть шлака.

Гомогенизация расплава в ковше с продуванием стали при помощи копы сверху не рекомендуется, так как перемешивание не достигает дна ковша, также что вследствие интенсивного перемешивания шлака и расплава получается раскисление расплава с шлаком.

Качество стали, что касается гомогенности макро и микро включений в среднем удовлетворительно.

С обработкой стали с CaSi в ковше в установки, которая теперь в упомянутом металлургическом заводе сооружается, а также продуванием стали со дна ковша и защитой струн ковша до промежуточного ковша, авторы этой работы мнения, что улучшить качество стали удастся.





# Afinacija kontinuirno vlitega cementacijskega jekla Č. 4320 z niobijem in vanadijem

## I. del: Preiskave laboratorijskih jekel

UDK: 621.746.047:669.14.018.298  
ASM/SLA: D9-q, Ay-b, V, Nb

F. Vodopivec, F. Vizjak, S. Senčič  
G. Manojlovič in D. Gnidovec

*Izdelana so bila laboratorijska cementacijska jekla z različnimi dodatki niobija in vanadija in industrijsko jeklo z 0,02 % Nb vrste Č 4320. Preiskave so pokazale, da dodatek 0,02 % Nb učinkovito afinira in stabilizira austentna zrna, ne da bi pomembno vplival na druge lastnosti jekel v normaliziranem stanju. Dodatek niobija ne vpliva na proces konti ulivanja in kristalizacije gredic s presekom  $100 \times 100$  mm, zato se niobij lahko uporablja kot afinator za kontinuirno ulita cementacijska jekla, kot uspešno nadomestilo za aluminij.*

### 1. UVOD IN CILJ DELA

Aluminij je splošno uporabljeni legirni element za afinacijo avstenitnih zrn v cementacijskih jeklih. Pri kontinuirnem vlitvanju v gredice z majhnim presekom, na primer  $100 \times 100$  mm, nastajajo težave, ker usedline vključkov aluminijevega oksida mašijo kanal izlivnika in zmanjšujejo hitrost litja. Tej neprijetnosti se je mogoče izogniti tako, da aluminij dodajamo v curek ali v kokilo (1). To je precej občutljiv poseg, ker je nevarnost, da aluminij ne bo enakomerno porazdeljen v jeklu.

Vprašanje je, ali se ne bi dalo v konti litem jeklu aluminija kot afinatorja nadomestiti z drugimi elementi. Za preiskuse sta bila izbrana niobij in vanadij, ki se kot afinatorja uporabljata v številnih konstrukcijskih jeklih za varjenje s podobno osnovno sestavo kot cementacijsko jeklo Č 4320. Druga prednost teh dveh elementov pred drugimi, ki imajo tudi afinacijski učinek, na primer titan, je, da se ne vežeta s kisikom in žveplom, ker jeklo vsebuje silicij in mangan.

Kljub temu, da smo pričakovali pozitiven vpliv z legiranjem niobija in vanadija, smo menili, da je njun afinacijski učinek potrebno preveriti, ker bo jeklo brez aluminija, in je potrebno določiti najmanjši učinkoviti dodatek ter preveriti vpliv legiranja na vlitvanje in lastnosti jekla. Rezultati

raziskave so detaljno obdelani v dveh poročilih (2), v katerih je tudi pregled literature. V tem sestavku bomo poročali le o najvažnejših izledkih.

### 2. IZDELAVA IN SESTAVA LABORATORIJSKIH JEKEL IN METODIKA DELA

Iz tekoče proizvodnje železarne Štore je bila izbrana po ena šarža jekel Č 1221 in Č 4320, ki je bila po programu izvaljana na debelino 25 do 30 mm. Iz tega vložka smo pripravili s taljenjem v 20 kg indukcijski peči osnovno primerjalno šaržo brez dodatkov in šarže z dodatki niobija in vanadija v treh stopnjah. Pri izbiri dodatka smo upoštevali, da je v maloogljičnih jeklih učinek niobija močnejši. Upoštevali smo tudi, da je niobij učinkovit že pri majhnih dodatkih (3), medtem ko je pričakovati učinek vanadija šele od 0,05 % naprej (4). Dodatek niobija smo planirali na 0,02; 0,05 in 0,08 % ter dodatek vanadija na 0,05; 0,1 in 0,15 %. Močnejše legiranje smo uporabili predvsem zato, da lažje in zanesljiveje preverimo vpliv obeh elementov na lastnosti, ki so predpisane za obe vrsti jekla.

V tabeli 1 je pregled in sestava vseh jekel, ki so bila pripravljena s taljenjem v indukcijski peči, pa tudi sestava vložka.

Sestava laboratorijskih jekel nekoliko variira od šarže do šarže po količini mangana in kroma, ki najmočnejše odgorevata pri taljenju v indukcijski peči. Vendar razlike, tudi razlike od vložka, niso tolikšne, da bi ne bila mogoča realna ocena vpliva legiranja.

Vse ingote smo nato izvaljali v palice z debelino 28 mm v valjarni na Jesenicah. Ker je valjanje lahkih ingotov s temperaturnega stališča lahko zelo neenakomerno, predvsem pa je nekontrolirano ohlajanje valjanca, smo se omejili na preiskave po ustrezni toplotni obdelavi.

Tabela 1: Vrste in kemične sestave jekel

Vrsta jekla	Oznaka	Element v %									
		C	Mn	Si	Cr	V	Nb	N	S	P	Cu
Č 4320	1	0,18	0,86	0,23	0,91	—	0,031	0,009	—	—	—
	8	0,18	0,94	0,29	1,05	—	0,024	—	—	—	—
	29	0,17	0,84	0,26	0,96	—	0,057	—	—	—	—
	2	0,18	1,07	0,27	1,02	—	0,091	—	—	—	—
	4	0,20	0,88	0,27	1,01	0,056	—	0,0098	—	—	—
	5	0,18	0,99	0,29	0,99	0,11	—	—	—	—	—
	6	0,18	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	7	0,18	1,01	0,30	1,00	0,16	—	—	—	—	—
	3 <sup>1</sup>	0,18	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	13 <sup>2</sup>	0,19	1,10	0,27	1,00	—	—	—	0,013	0,014	0,30
Č 1221	16	0,14	0,28	0,26	—	0,05	—	0,0087	—	—	—
	17	0,13	0,27	0,24	—	0,11	—	—	—	—	—
	18	0,14	0,30	0,25	—	0,15	—	—	—	—	—
	19	0,13	0,25	0,22	—	—	0,025	0,010	—	—	—
	20	0,14	0,30	0,27	—	—	0,012	—	—	—	—
	21	0,13	0,30	0,25	—	—	0,10	—	—	—	—
	15 <sup>1</sup>	0,15	0,33	0,30	—	—	—	—	0,027	0,026	0,32
	31 <sup>2</sup>	0,15	0,35	0,27	—	—	—	—	—	—	—

Opombe:

2 — šarža industrijsko izdelana in izvaljana v železarni Štore

1 — šarža izdelana s pretaljevanjem vložka pod — 2

Preiskave so obsegale naslednje:

— velikost zrn feritno perlitne mikrostrukture po normalizaciji,

— velikost enakih zrn po 8-urnem ogrevanju pri temperaturi normalizacije,

— velikost avstenitnih zrn po polurni avstenitizaciji pri normalni temperaturi kaljenja,

— velikost avstenitnih zrn po 8-urni avstenitizaciji pri normalni temperaturi kaljenja,

— Jominy preizkus (jeklo Č 4320),

— mehanske lastnosti v normaliziranem in popoljšanem stanju,

— ocena rekristalizacije jekla po deformaciji pri 1000° C.

Velikost zrn smo določili po metodi linearne intercepcije, s tem da smo v mikroskopu prešteli število kristalnih mej, ki so sekale daljico določene dolžine pri enotni povečavi. Iz intercepcijske dolžine smo nato izračunali tudi velikost po ASTM. Avstenitizacija vseh jekel je bila izvršena pri zgornji temperaturi normalizacije, ki jo priporočajo za obe vrsti jekla, torej 920° C.

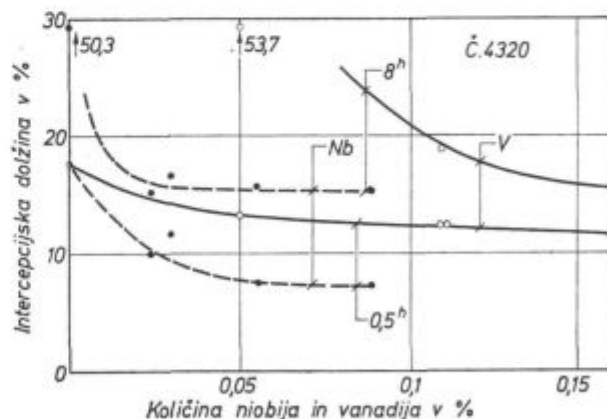
### 3. REZULTATI

#### 3.1. Velikost avstenitnih zrn

Na slikah 1 in 2 je prikazan vpliv naraščanja količine vanadija in niobija v jeklih na velikost avstenitnih zrn po avstenitizaciji, ki traja 0,5 in 8 ur. Po kratkotrajnem ogrevanju ima primerjalna šarža zelo drobna avstenitna zrna. Dodatek vana-

dija in niobija zrna še nekoliko zmanjša, vendar zmanjšanje ne presega 1 razreda po ASTM v obeh jeklih. Podaljšanje avstenitizacije na 8 ur je pokazalo, da dodatek najmanj 0,03 % niobija zavre rast zrn v jeklu Č 4320. Približno enak učinek ima še dodatek 0,15 % vanadija.

V jeklu Č 1221 legiranje vanadija pri 8-urni avstenitizaciji skoraj ne vpliva na velikost zrn, saj zrna zrastejo v vsem intervalu legiranja za približno 1 razred ASTM, podobno kot v obeh primerjalnih jeklih.

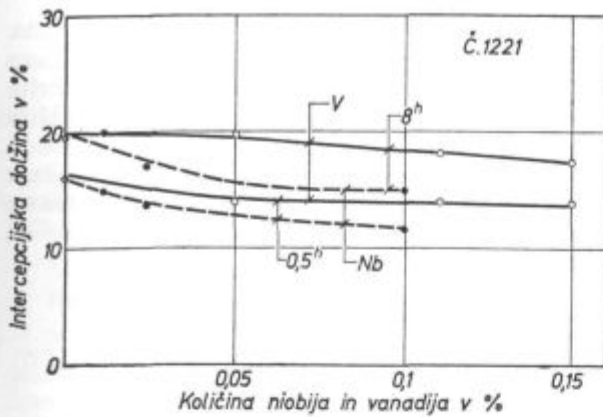


Slika 1

Odvisnost med količino niobija oz. vanadija in velikostjo avstenitnih zrn po avstenitizaciji jekla Č 4320 pri 920° C v trajanju 0,5 ure in 8 ur

Fig. 1

Relationship between the amount of niobium or vanadium and the size of austenite grains after austenitization of Č 4320 steel half and 8 hours at 920° C



Slika 2

Odvisnost med količino niobija oz. vanadija in velikostjo avstenitnih zrn po avstenitizaciji jekla Č 1221 pri 920°C v trajanju 0,5 ure in 8 ur

Fig. 2

Relationship between the amount of niobium or vanadium and the size of austenite grains after austenitization of Č 1221 steel half and 8 hours at 920° C

Iz izraza za topnostni produkt za niobijev karbonitrid v avstenitu:  $\log(CxNb) = 3,11 - \frac{7520}{T}$  (5)

lahko izračunamo, da je raztopljeno v avstenitu pri temperaturi 1150° C 0,03 % Nb. Karbonitrid, ki nastane iz 0,03 % raztopljenega niobija, je zadosten za afinacijo avstenitnih zrn, ne glede na količino ogljika.

Tudi na posnetkih je mogoče lepo razločiti stabilizacijski učinek niobija na rast avstenitnih zrn. Vse šarže jekla Č 4320 imajo po polurni avstenitizaciji drobna in enakomerna kristalna zrna (sl. 5). Po 8-urni avstenitizaciji pa so v jeklu brez dodatka niobija in vanadija zrna neenakomerna in enako kot v jeklu z dodatkom 0,05 % V je mikrostruktura agregat velikih in drobnih kristalnih zrn.

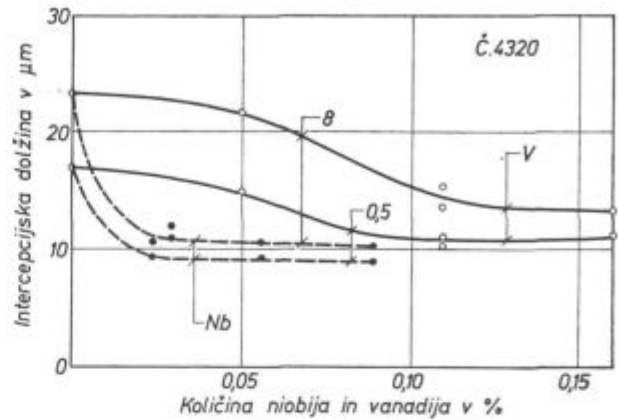
Konkavna oblika kristalnih mej velikih zrn pove, da ta zrna rastejo na račun sosednjih, manjših. V jeklu z 0,11 % V je mikrostruktura podobna, vendar so zrna, ki rastejo, manjša in redkejša, zato je tudi manjša povprečna velikost. V jeklu z 0,16 % V so vsa zrna enakomerna in drobna, podobno kot v jeklu z 0,024 % Nb. To je znak, da med avstenizacijo ni pomembne rasti zrn.

3.2. Velikost sekundarnih zrn

Na slikah 3 in 4 je prikazan vpliv naraščajoče količine vanadija in niobija v jeklu na velikost zrn feritno perlitne mikrostrukture po avstenitizaciji v trajanju 0,5 ure in 8 ur. V grafikonih vidimo, da dodatek 0,10 % vanadija zmanjša kristalna zrna v jeklu Č 4320 za približno en razred ASTM skale. Z naraščajočo količino vanadija narašča stabilnost kristalnih zrn pri podaljšanju avstenitizacije na 8 ur. Mnogo bolj je učinkovito legiranje jekla z niobijem, saj je že pri 0,03 % Nb dosežena podobna velikost zrn kot pri 0,16 % V, poleg tega pa so zrna mnogo bolj stabilna pri podaljšanju avstenitizaci-

je in je zanemarljiva razlika v velikosti med avstenitizacijo 0,5 ure in 8 ur.

Pri jeklu Č 1221 je dodatek vanadija in niobija manj učinkovit, ker ima jeklo boljše inherentno odpornost proti rasti avstenitnih zrn. Vendar je tudi v tem jeklu dodatek niobija bolj učinkovit kot dodatek vanadija, saj dosežemo enako velika zrna pri ca. 0,03 % Nb kot pri 0,15 % V.

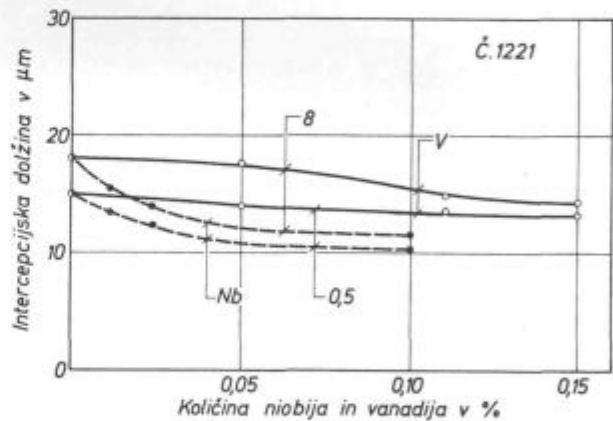


Slika 3

Odvisnost med količino niobija oz. vanadija in velikostjo feritnih zrn v jeklu Č 4320 po avstenitizaciji 0,5 ure in 8 ur pri 920° C in ohladitvi na zraku

Fig. 3

Relationship between the amount of niobium or vanadium and the size of ferrite grains in Č 4320 steel after austenitization half and 8 hours at 920° C and cooling in air



Slika 4

Odvisnost med količino niobija oz. vanadija in velikostjo feritnih zrn v jeklu Č 1221 po avstenitizaciji 0,5 ure in 8 ur pri 920° C in ohladitvi na zraku

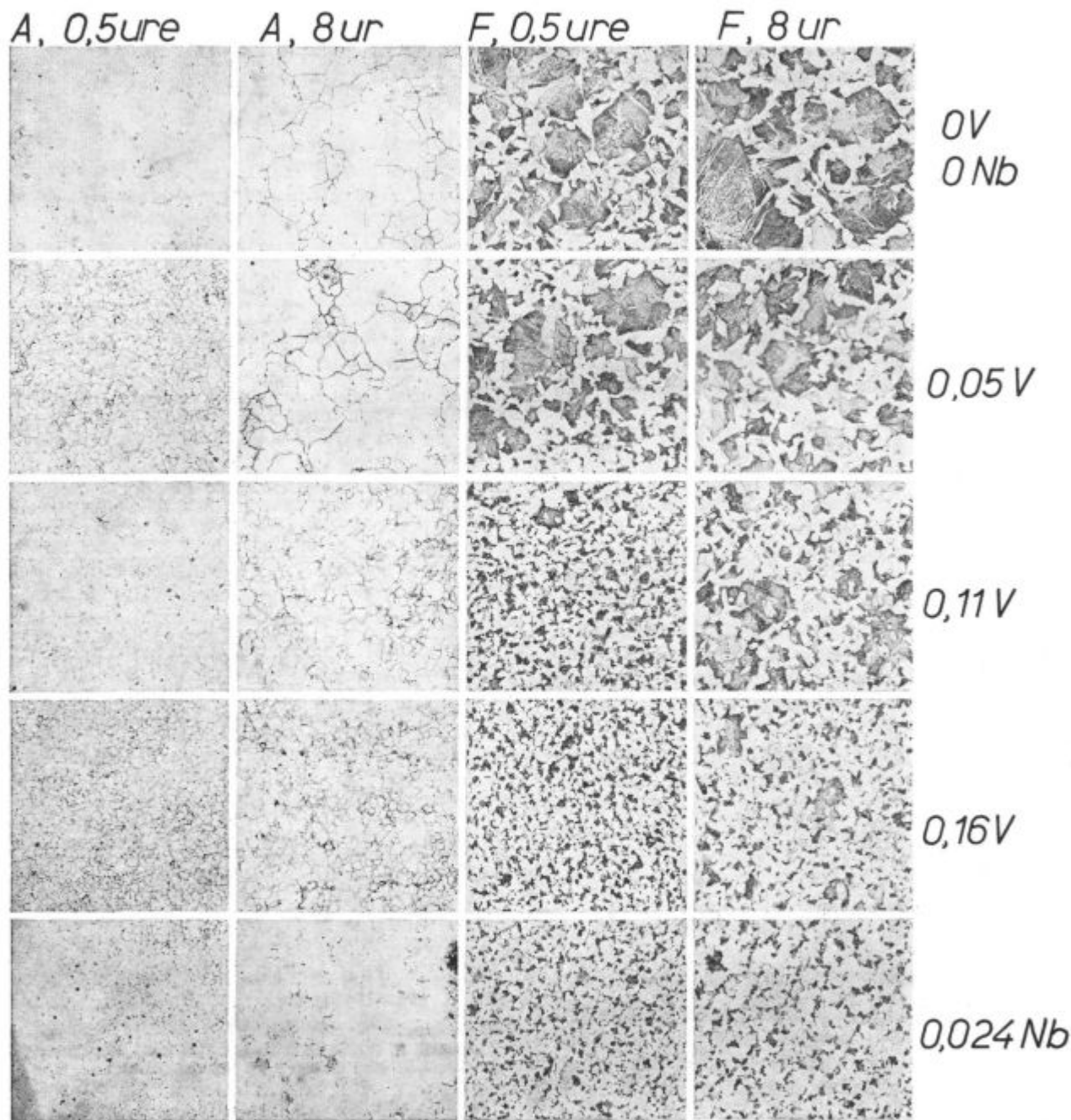
Fig. 4

Relationship between the amount of niobium or vanadium and the size of ferrite grains in Č 1221 steel after austenitization half and 8 hours at 920° C and cooling in air

Dodatek niobija in vanadija vpliva tudi na obliko feritno perlitne mikrostrukture. Na sliki 5 je prikazana mikrostruktura nekaterih jekel po avstenitizaciji v trajanju 0,5 ure in 8 ur ter enaki ohladitvi. Jeklo brez dodatkov ima po polurni avstenitizaciji mikrostrukturo iz poligonalnega ferita in iz perlita ter večjih bainitnih zrn z igličastim feritom. Po dodatku 0,05 % V je mikrostruk-

tura podobna, le da so bainitne tvorbe redkejše. Jeklo z 0,11 % V ima strukturo iz poligonalnega ferita in perlita, enako mikrostrukturo imata jekli z 0,16 % V in 0,024 % Nb. Po avstenitizaciji, dolgi 8 ur, je mikrostruktura nekoliko drugačna, ker je nastala iz večjih avstenitnih zrn. Jeklo brez dodatka niobija in vanadija ima mikrostrukturo iz poligonalnega ferita in perlita. Številna perlitna

zrna so velika in v njih so često bainitni vložki. Dodatek 0,05 % vanadija spremeni mikrostrukturo le toliko, da ni bainitnih vložkov v velikih perlitnih zrnih. Povečanje količine vanadija na 0,11 % ohrani enake komponente kot v jeklu z 0,05 % V, vendar so velika perlitna zrna manj številna in v povprečju manjša. V jeklu z 0,16 % V je mikrostruktura podobna, vendar so le posamična velika



Slika 5

Pov. 100 ×, jeklo C 4320 z različnimi dodatki niobija in vanadija  
 A — austenitna zrna po avstenitizaciji 0,5 ure in 8 ur pri 920° C  
 F — feritna zrna po avstenitizaciji 0,5 ure in 8 ur pri 920° C in ohladitvi na zraku

Fig. 5

Magnification 100 ×, C 4320 steel with various additions of niobium and vanadium  
 A — austenite grains after austenitization half and 8 hours at 920° C  
 F — ferrite grains after austenitization half and 8 hours at 920° C and cooling in air



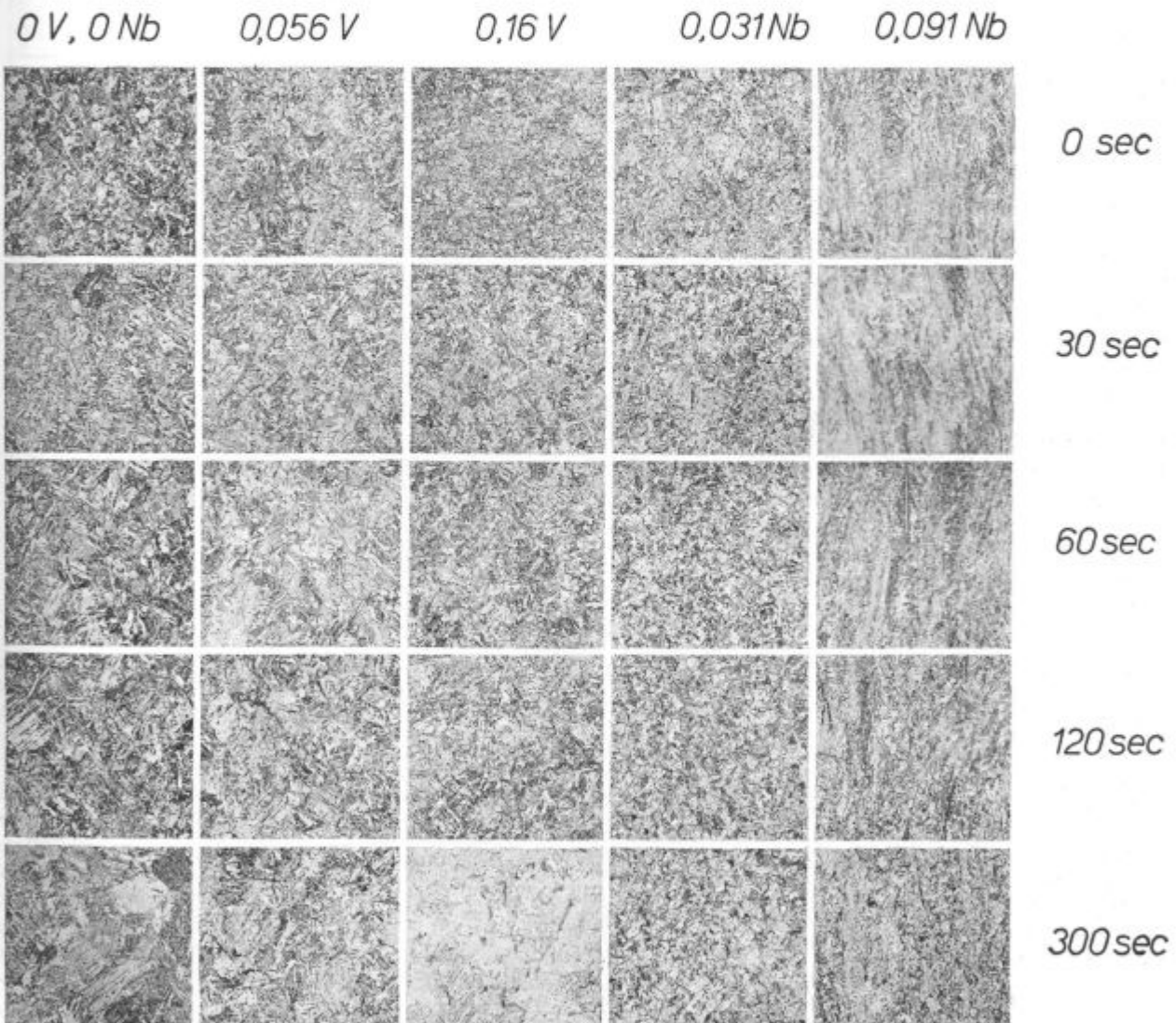
perlitna zrna. V jeklu z 0,024 % Nb imamo tudi po 8-urni avstenitizaciji mikrostrukturo iz enakomernih poligonalnih zrn ferita in perlita. Torej tudi mikrostruktura iz ferita in perlita potrjuje, da dodatek 0,03 % Nb v jeklu ohrani po daljšem ogrevanju enakomerno in fino zrnato mikrostrukturo, ki zagotavlja jeklu dobre mehanske lastnosti.

### 3.3. Rekristalizacija jekla in rast avstenitnih zrn po vroči deformaciji

Preizkuse vroče deformacije in statične rekristalizacije smo napravili pri 1000° C. Preizkušance smo ogrevali 1 uro pri 1250° C, nato ohladili na 1000° C z zadrževanjem 5 minut v peči, ogreti na to temperaturo; deformirali z enim udarcem pod padalnim kladivom; nato enega takoj kalili v vodi,

druge pa kalili v vodi po izotermnem zadržanju pri 1000° C v trajanju 30 sek, 1 min, 2 min in 5 min. To metodo zasledovanja statične rekristalizacije jekla po vroči deformaciji smo uporabili že v preteklosti (6). Ogrevanje pri 1250° C je potrebno, da se niobijev in vanadijev karbonitrid raztopi v avstenitu, to je, da imamo pri vroči deformaciji enako stanje jekla kot v gredicah pred začetkom valjanja.

Na kaljenih vzorcih je težko opredeliti realno velikost avstenitnih zrn v trenutku gašenja vzorcev. Posebno je to težko v primerih, ko avstenit ni rekristaliziral, ampak so zrna ostala stlačena od deformacije, in v primerih, ko se je izvršila le rekristalizacija jekla in so zato avstenitna zrna zelo drobna.



Slika 6

Pov. 100 ×, mikrostruktura jekla Č 4320 z različnimi dodatki niobija in vanadija, ki je bilo po deformaciji pri 1000° C in različno dolgem zadržanju pri tej temperaturi kaljeno v vodi

Fig. 6

Magnification 100 ×. Microstructure of Č 4320 steel with various additions of niobium and vanadium which was after deformation at 1000° C and various times of holding at this temperature quenched in water

Zato rezultate teh preizkusov prikazujemo na sliki 6 v obliki posnetkov kaljene mikrostrukture. Temperaturo deformacije 1000<sup>o</sup> C smo izbrali zato, ker je blizu dejanske temperature konca valjanja jeklenih palic. Stopnja deformacije 34 % je bila enaka pri vseh vzorcih.

Med deformacijo in kaljenjem vzorcev so pretekle največ 3 sek, zato pokaže vzorec, ki je bil kaljen takoj po deformaciji, pravo velikost zrn rekristaliziranega avstenita. Preizkušanci, ki so bili zadržani po deformaciji različno dolgo pri 1000<sup>o</sup> C, pa pokažejo, kolikšna je hitrost rasti zrn rekristaliziranega avstenita.

Pazljiv ogled posnetkov na sl. 6 pokaže naslednje:

— Zrna rekristaliziranega avstenita imajo v vseh jeklih podobno velikost. Torej legiranje jekla z vanadijem in niobijem ne povzroči razlike v velikosti zrn, ki nastanejo s statično rekristalizacijo avstenita, ki je bil deformiran v vročem.

— Legiranje jekla z vanadijem ne vpliva na začetek statične rekristalizacije. V primerjalnem jeklu in v jeklih z 0,05 do 0,16 % V je avstenit rekristaliziran že v preizkušancu, ki je bil kaljen takoj po deformaciji.

— V jeklu z 0,031 % Nb je avstenit nepopolno rekristaliziran takoj po deformaciji. Rekristalizacija je končana šele po 1-minutnem zadržanju pri 1000<sup>o</sup> C. Po istem zadržanju se šele začne rekristalizacija avstenita v jeklu z 0,091 % Nb in še ni končana tudi po 5-minutnem zadržanju jekla pri 1000<sup>o</sup> C. Torej niobij zadržuje statično rekristalizacijo avstenita tem bolj, čim več ga je v jeklu. Že 0,031 % Nb v raztopini toliko zadrži rekristalizacijo avstenita, da pri valjanju ne bi prišlo do rekristalizacije v času, ki je na voljo med deformacijo jekla v dveh zaporednih kalibrih v primeru, da je temperatura valjanja 1000<sup>o</sup> C ali nižja.

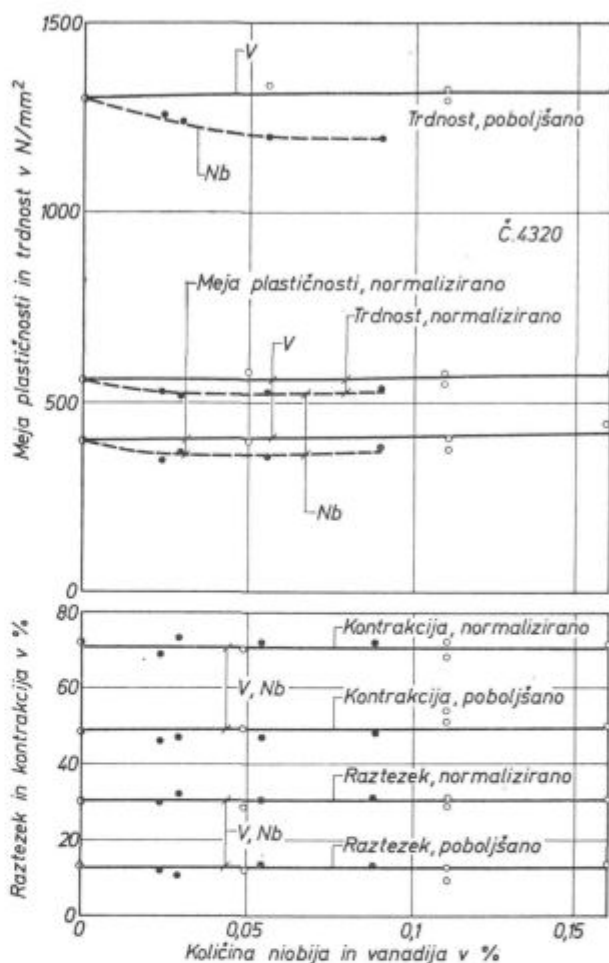
— Rast zrn rekristaliziranega avstenita je približno enako hitra v primerjalnem jeklu in v jeklih, legiranih z vanadijem. Torej legiranje jekla z vanadijem ne vpliva na hitrost, s katero rastejo zrna avstenita po vroči deformaciji.

— Rast zrn rekristaliziranega avstenita je počasnejša v jeklu 0,031 % Nb kot v primerjalnem jeklu in v jeklih, legiranih z vanadijem. Še počasnejša je rast zrn rekristaliziranega avstenita v jeklu z 0,091 % Nb. To pove, da zavira niobij tudi rast zrn rekristaliziranega avstenita in to tem bolj, čim več ga je v jeklu. Že dodatek 0,03 % Nb pa zmanjša rast zrn na stopnjo, ki je zanemarljiva v tehnoloških pogojih predelave v primerjavi z jekli brez niobija. Zato lahko pričakujemo, da bo imelo jeklo, ki je legirano že z 0,03 % Nb, v valjanem stanju zelo fino zrnato mikrostrukturo, če le končna temperatura valjanja ne bo previsoka.

### 3.4. Mehanske lastnosti

Mehanske lastnosti so prikazane na slikah 7 in 8, v odvisnosti od naraščajoče količine niobija in

vanadija. Iz grafikonov lahko razberemo, da dodatek vanadija skoraj ne vpliva na mehanske lastnosti jekla Č 4320, pač pa dodatek niobija nekoliko zmanjša mejo plastičnosti in trdnost v normaliziranem in v poboljšanem stanju. To tolmačimo z zmanjšanjem kaljivosti jekla zaradi bolj drobnih avstenitnih zrn.



Slika 7

Odvisnost med količino niobija oz. vanadija in mehanskimi lastnostmi (meja plastičnosti, trdnost, raztezek in kontrakcija) jekla Č 4320 v poboljšane in normaliziranem stanju

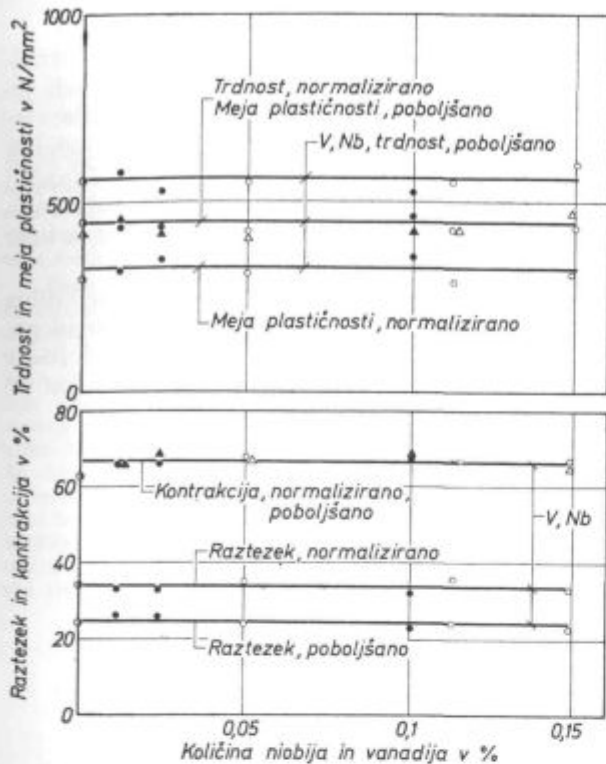
Fig. 7

Relationship between the amount of niobium or vanadium and the mechanical properties (yield point, strength, elongation, contraction) of C 4320 steel as quenched and tempered, and normalized

Legiranje jekla Č 1221 z vanadijem in niobijem ne vpliva na mehanske lastnosti v normaliziranem in poboljšanem stanju, če izvzamemo majhno povečanje meje plastičnosti v normaliziranem stanju.

Sprememba mehanskih lastnosti v normaliziranem in poboljšanem stanju dosega največ 15 % pri legiranju jekel z 0,15 % V, zmanjšanje pa ne dosega 10 % pri legiranju z do 0,1 % Nb. Zato sklepamo, da se lahko vpliv obeh elementov zanemari





Slika 8

Odvisnost med količino niobija oz. vanadija v jeklu ter mehanskimi lastnostmi (meja plastičnosti, trdnost, raztezek in kontrakcija) jekla Č 1221 v poboljšanem in normaliziranem stanju

Fig. 8

Relationship between the amount of niobium or vanadium and the mechanical properties (yield point, strength, elongation, contraction) of Č 1221 steel as quenched and tempered, and normalized

ali pa se nadoknadi s spremembo količine drugih legiranih elementov in pri tem ostane sestava jekla v predpisanem intervalu.

Pri avstentizaciji pred valjanjem in normalizaciji se ves niobij veže v karbonitridne izločke. Ti neposredno vplivajo na kaljivost jekla, jo pa indirektno zmanjšujejo s tem, da zmanjšujejo avstenitna zrna. Pri ogrevanju pred valjanjem se niobij raztopi v avstenitu, pri valjanju pri padajoči temperaturi se ne veže ves v karbonitridne izločke. Niobij, ki je v trdni raztopini v avstenitu, znižuje temperaturo perlitne premene in povzroča sekundarno utrditvev zaradi diskontinuirne precipitacije med nastajanjem ferita, ali celo izločilno utrditvev ferita (7), če pogoji ohlajanja niso omogočili izločanja pred premeno in med njo. V odvisnosti od pogojev pri ohlajanju valjanega jekla, oz. izločanja Nb karbonitrida zato lahko pričakujemo v valjanem stanju povečanje trdnostnih lastnosti jekel, legiranih z niobijem.

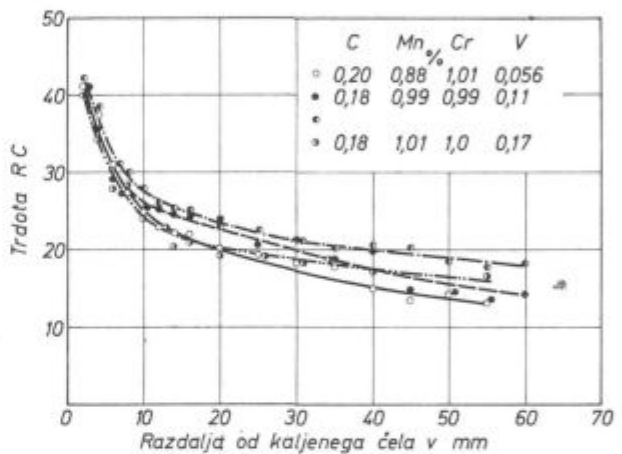
Vanadijev karbonitrid se raztopi v avstenitu pri ogrevanju za normalizacijo v količini, ki je odvisna od temperature in količine ogljika v jeklu (8). Med valjanjem jekla se vanadij ne veže v kar-

bonitrid, ker so previsoke temperature predelave, tudi temperatura konca valjanja. Zato bo večja kaljivost jekla po valjanju in temu ustrezno večje trdnostne lastnosti. Po analogiji s sliko 8 pa sklepamo, da bo razlika zanemarljiva v primerjavi z jeklom brez vanadija.

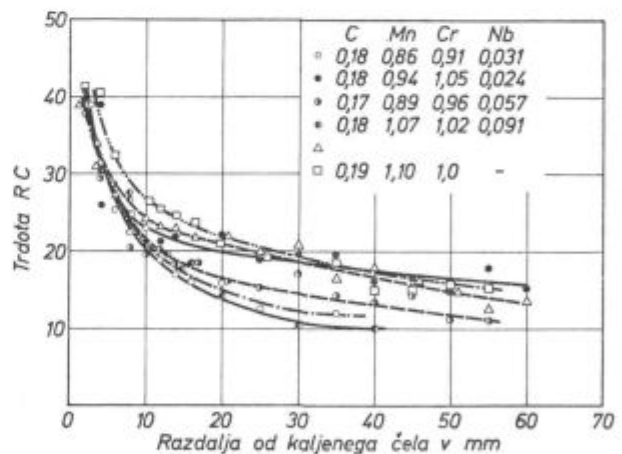
### 3.5. Jominy preizkusi kaljivosti

Na sliki 9 so prikazane krivulje čelne kaljivosti za posamične šarže jekla Č 4320.

Legiranje jekla z niobijem zmanjšuje kaljivost jekla Č 4320. To potrjuje rezultate mehanskih preizkusov, kar si razlagamo z zmanjšano kaljivostjo zaradi drobnejših avstenitnih zrn. Legiranje vanadija povečuje kaljivost tega jekla. Tako jekla z vanadijem kot jekla z niobijem ležijo v intervalu kaljivosti, ki je predpisana za to jeklo, pri čemer ležijo jekla z niobijem ob spodnji meji.



Slika 9a



Slika 9b

Slika 9

Jominy krivulje čelne kaljivosti za jeklo Č 4320 z različnimi dodatki niobija in vanadija

Fig. 9

Jominy curves of the face hardenability of Č 4320 steel with various additions of niobium and vanadium

#### 4. SKLEPI

Iz jekel 2 različnih vrst, ki sta bili izdelani, uliti in izvaljani v palice z debelino 28 do 33 mm v železarni Store, smo izdelali v 20 kg indukcijski peči jekla z različnimi dodatki niobija in vanadija z namenom, da ugotovimo naslednje:

— koliko niobija in vanadija zmanjša avstenitna zrna in zrna feritno perlitne mikrostrukturo v jeklu in kolikšen je optimalen dodatek obeh elementov za učinkovito afincijo;

— kako dodatek niobija in vanadija v količini, ki zmanjša zrna, vpliva na predpisane lastnosti jekel, predvsem mehanske lastnosti in kaljivost.

Rezultati raziskave so pokazali naslednje:

— legiranje niobija v količini 0,03 % učinkovito zmanjša avstenitna in feritna zrna v obeh jeklih, podoben učinek ima še 0,15 % vanadija;

— legiranje jekla z 0,03 % Nb zavre začetek statične rekristalizacije avstenita po deformaciji pri 1000°C in zavre rast kristalnih zrn rekristaliziranega avstenita, dodatek 0,15 % vanadija je brez vidnega učinka;

— legiranje niobija v količini 0,03 % ne vpliva toliko na lastnosti jekla v normaliziranem in poboljšanem stanju, da bi te lastnosti jekel padle zunaj intervala, ki je predpisan za posamične vrste jekel.

#### ZUSAMMENFASSUNG

Im Laboratorium sind Schmelzen der Einsatzstahlsorten C.4320 und C.1221 mit Zusatz bis zu 0.09 % Niobium und bis 0.16 % Vanadium hergestellt worden. Die Stähle sind zu Stäben ausgewalzt worden und Untersuchungen der Grösse und Stabilität der Austenitkörner beim Erwärmen auf 920°C und der Rekristallisation des Stahles C.4320 nach der Verformung bei 1000°C sind durchgeführt worden. An dem Stahl ist noch die Härbarkeit mittels der Stirnabschreckprobe nach Jominy bestimmt worden.

Die experimentellen Schmelzen zeigten, dass die mechanischen Eigenschaften der Stähle nach dem Zusatz bis zu 0.09 % Nb und bis zu 0.16 % V im vorgeschriebenen Intervall bleiben. Der Zusatz von Niobium verkleinert die Korngrösse und vergrössert deren Stabilität bei verlängerter Erwärmung, Vanadium ist dagegen viel weniger wirksam. Deshalb ist nach 8-stündigem Erwärmungsvorgang bei 920°C die Korngrösse im Stahl C.4320 mit 0.024 % Nb ungefähr gleich wie im gleichen Stahl mit 0.16 % V. Beim einstuendigen Erwärmungsvorgang ist der Unterschied in der Einflussintensität der beiden Elemente kleiner. Ein Zusatz von 0.024 % Nb verzögert stark die statische Rekristallisation von Austenit nach der Warmverformung bei 1000°C, indem der Zusatz von 0.16 % V die Rekristallisation nicht bemerkenswert beeinflusst.

Die Härbarkeit des Stahles wird beim Legieren mit Niobium schlechter und mit Vanadium besser, jedoch bleibt die Härbarkeit des Stahles im vorgeschriebenen Intervall.

Auf Grund der laboratorischen Untersuchungen ist im Lichtbogenofen eine Stahlschmelze mit 0.02 % Nb erzeugt und in Knüppel 100 mm 4 kt Strangvergossen worden. Die Untersuchungsergebnisse zeigten, dass das Mikrogefüge, die Ferritkorngrösse und die mechanischen Eigenschaften im gewalzten Zustand von dem Temperaturintervall beim Walzen abhängig sind. Nach kurzzeitiger Erwärmung bei 920°C sind die Austenitkörner ähnlich wie in zwei Vergleichsschmelzen der gleichen Sorte mit etwa 0.03 % Al, nach 8-stündiger Erwärmung sind diese jedoch kleiner und gleichmässiger.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen zeigen dass im Einsatzstahl C.4320 der Zusatz von Niobium bis zu 0.03 % erfolgreich für die Kontrolle der Austenitkorngrösse angewendet werden kann, dass dieser dem Aluminiumzusatz gleichwertig ist, ohne dass dabei Schwierigkeiten beim Vergiessen dieser Stähle entstehen.

## SUMMARY

Industrial C 4320 and C 1221 steel were chosen to prepare laboratory melts with additions up to 0.09 % niobium and up to 0.16 % vanadium. Steel was rolled into rods and basic metallurgical tests were made to determine the size and the stability of austenitic grains in annealing at 920 °C, and to investigate the recrystallization of C 4320 steel being deformed at 1000 °C. The Jominy end hardenability tests was made with the last mentioned steel.

Experimental melts show that the previously mentioned additions of niobium and vanadium do not change mechanical properties of steel out of the prescribed range. Addition of niobium reduces the grain size and increases their stability in long annealing while vanadium is much less effective. After 8-hour annealing at 920 °C approximately the same size of grains was obtained in C 4320 steel with 0.024 % Nb as in the same steel with 0.16 % V. In one-hour annealing the difference in the intensity of influence of both alloying elements is much smaller. Addition of 0.024 % Nb highly retards the static recrystallization of austenite after hot deformation at 1000 °C while addition of 0.16 % V does not influence remarkably the recrystallization. Alloying steel with niobium reduces

the hardenability, alloying with vanadium improves it but the hardenability of steel remains in the prescribed intervals.

Based on laboratory investigations an industrial melt of C 4320 steel with 0.02 % Nb was manufactured in electric arc furnace and continuously cast into 100 × 100 mm billets. Investigations of this melt showed that the microstructure, size of ferrite grains, and mechanical properties in the rolled state depend on the temperature interval of rolling. After normalising at 920 °C all these properties become independent of the temperature interval of rolling. After short annealing at 920 °C the austenite grains are similar to those in two reference steels of the same type with about 0.03 % Al, after 8-hour annealing they are smaller and more uniform.

The results of investigations show that addition of 0.03 % Nb can be a successful addition for the control of the size of austenitic grains in the case-hardenable C 4320 steel, equivalent to the additions of aluminium but not causing problems during manufacturing and casting the steel.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из сталей C 4320 и C 1221, произведенные промышленным способом были изготовлены лабораторные расплавы с добавкой ниобия до 0,09 % и ванадия до 0,16 %.

Прокатка этих сталей заключалась в изготовлении сортовой стали с выполнением всех основных металлургических исследований, с определением величины и стабильности аустенитных зерен при нагреве на 920 °C и исследования рекристаллизации стали C 4320 по деформации при 1000 °C. При этой стали определена также торцевая закалка по Жомини.

Экспериментальные образцы показали, что механические свойства стали с добавкой ниобия до 0,09 % и ванадия до 0,16 % остаются в предписанном диапазоне. Добавка ниобия уменьшает величину зерен и при продолжении нагрева увеличивает их стабильность, влияние же ванадия гораздо слабее.

Поэтому, после 8-ми часового нагрева при 920 °C получена прибл. та же самая величина зерен в стали C 4320 с 0,024 % Nb как и при стали того же сорта с 0,16 % V.

При одно-часовом нагреве разница интенсивности влияния обоих элементов значительно меньше. Добавка ниобия в количестве 0,024 % резко снижает статическую рекристаллизацию аустенита после горячей деформации при 1000 °C; между тем

добавка ванадия до 0,16 % существенно не влияет на рекристаллизацию. Легирование стали с ниобием снижает закалку, а с ванадием увеличивает, но свойства закаленной стали остаются в предписанных пределах.

На основании лабораторных исследований изготовлена в электропечи сталь промышленного производства C 4320 с 0,02 % Nb, и из нее заготовки 100 × 100 мм из расплава непрерывного литья.

Исследование этого расплава показали, что микроструктура, величина ферритных зерен и механические свойства в катаном состоянии зависят от температурных пределах прокатки. По нормализации при 920 °C все эти свойства больше не зависят от температурного предела прокатки.

После непродолжительного нагрева при 920 °C аустенитные зерна подобны двум сталям из сорта прибл. с 0,03 % алюминия, которые послужили для сравнения, а после 8-ми часового нагрева эти зерна уже меньшей величины и более равномерной структуры. Результаты исследований показали, что для цементуемой стали C 4320 можно употребить как добавку до 0,03 % Nb, которой послужит для контроля величины аустенитных зерен и может являться как заместитель добавки алюминия. При этом не наступают при разливке и изготовлении никакие затруднения.



# Primerjalne preiskave konvencionalnega in kontinuirno ulitega cementacijskega jekla Č. 4320, ki je legirano z niobijem

UDK: 669.14.018-298:620.17  
ASM/SLA: Ay-b, S21, Nb

D. Kmetič, F. Vodopivec, F. Vizjak,  
J. Žvokelj, B. Arzenšek

Zaradi ekonomskih prednosti se vedno večji delež jekla lije po kontinuirnih postopkih. Od slovenskih železarn je napravo za konti litje prva dobila Železarna Store in za njo Železarna Jesenice. Predelovalna industrija bo imela na razpolago vedno več konti jekla. Zaradi specifičnih lastnosti, ki izvirajo iz načina izdelave, so za uporabnost teh jekel potrebne določene preiskave.

Namen dela je seznaniti uporabnike z lastnostmi in uporabnostjo cementacijskega jekla Č. 4320, pri katerem smo dosegli afinacijo kristalnih zrn z niobijem.

## 1. UVOD

Od kvalitetnih konstrukcijskih jekel, zlasti cementacijskih, se zahteva poleg homogenosti in predpisanih mehanskih lastnosti tudi določena velikost primarnih in sekundarnih kristalnih zrn. Za afinacijo kristalnih zrn se najpogosteje uporablja aluminij. Pri konti litju gredic manjšega preseka, jekla v ponovci ne moremo pomirjati z aluminijem, ker se vključki aluminijevega oksida nabirajo v izlivnem kanalu in onemogočajo normalno litje. Nekaj aluminija sicer dodajajo pri litju v curek, vendar premalo, da bi imelo jeklo dovolj topnega aluminija, torej aluminija, vezanega v nitrid, ki regulira velikost kristalnih zrn.

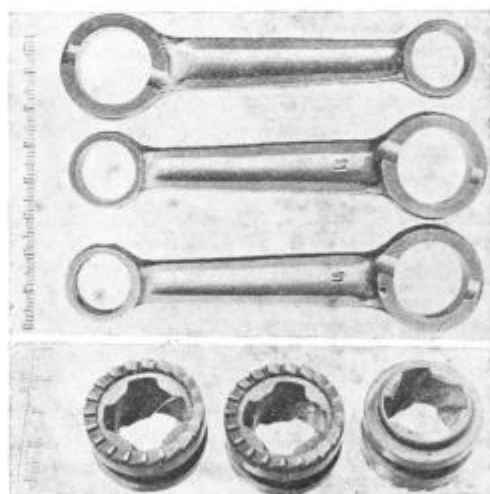
Podoben afinacijski učinek kot aluminij ima niobij, ki pa pri litju ne povzroča nobenih težav. Tudi v kristalizacijski strukturi gredic ni razlik v primerjavi s talinami brez dodatka niobija.

V prvem delu razprave<sup>1,2</sup> smo obravnavali fizikalno metalurške značilnosti cementacijskega jekla Č. 4320 z dodatkom niobija. V tem nadaljevanju obravnavamo njegovo obnašanje pri toplotni obdelavi in cementaciji ter ga primerjamo z jeklom iste vrste, v katerem so kristalna zrna stabilizirana z aluminijem.

## 2. REZULTATI PREISKAV

### 2.1. Izdelava motorskih delov

Da bi ugotovili, kako se to jeklo obnese v praksi, smo v sodelovanju z UNIOR-jem in TOMOS-om izbrali za preiskave dva elementa motorja (sl. 1), ojnico in sojemalec (zagonski zobnik). Tako smo lahko poleg fizikalno metalurških preiskav naredili tudi tehnološke preizkuse na pulzatorju (ojnice) in trajnostne preizkuse sojemalcev.



Slika 1

Makroposnetek ojníc in sojemalcev izdelanih iz konti jekla Č. 4320 legiranega z Nb

Fig. 1

Macropicture of shaft and starter toothed wheel made of continuously cast Č. 4320 steel alloyed with niobium

Kemična sestava primerjalnega konvencionalnega jekla Č. 4320 in konti jekla, kjer smo kot afinator uporabili niobij, je podana v tabeli 1.

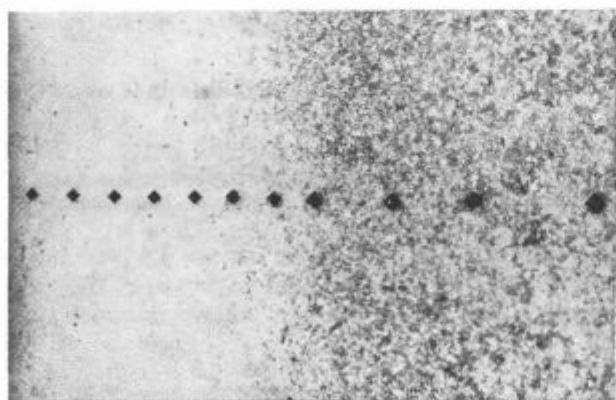
Tabela 1: Kemična sestava jekel v %

Jeklo	C	Si	Mn	P	S	Cr	Nb	Al <sub>topni</sub>
Č. 4320	0,16	0,18	1,05	0,016	0,014	0,88	—	0,01
Č. 4320 Nb	0,14	0,26	1,0	0,015	0,019	0,85	0,02	—

Ojnice smo utopno skovali v UNIOR-ju. V TOMOS-u so jih mehansko obdelali, izdelali sojemalce in vzorce toplotno obdelali v cementacijski peči IPSEN 4 pri enakih pogojih kot teče redna proizvodnja teh elementov. Sojemalci so v celoti cementirani, pri ojnicah pa je cementirano le večje oko, v katerem teče kotalni ležaj, steblo in manjše oko (drsní ležaj) pa sta pri cementaciji zaščitena s pasto No-Carb. Najvažnejši parametri termične obdelave in zahtevane ter izmerjene globine cementacije in trdote so navedene v tabeli 2.

Tabela 2:

	Ojnice	Sojemalci
Temperatura cementacije	920 <sup>0</sup> C	920 <sup>0</sup> C
Čas naogljčevanja	4,5 ure	2 uri
Temperatura kaljenja	820 <sup>0</sup> C	820 <sup>0</sup> C
Temperatura popuščanja	150 <sup>0</sup> C	180 <sup>0</sup> C
Čas popuščanja	60 min.	60 min.
Zahtevana globina cementacije	0,8—1,1 mm	0,2—0,4 mm
Dosežena globina cementacije	0,85 mm	0,4 mm
Zahtevana trdota cementiranih delov	60—64 HRC	56—60 HRC
Dosežena trdota cementiranih delov (Č. 4320)	63,2 HRC	59 HRC
Dosežena trdota cementiranih delov (Č. 4320 Nb)	61,7 HRC	57,9 HRC
Zahtevana trdota stebila ojnice	30—45 HRC	—
Dosežena trdota stebila ojnice (Č. 4320)	39,6 HRC	
Dosežena trdota stebila ojnice (Č. 4320 Nb)	36,1 HRC	

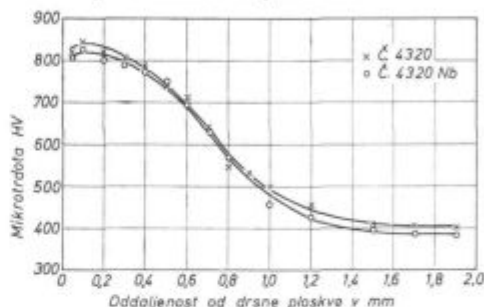


Slika 2

Povečava 50 ×. Mikrostruktura cementirane plasti na ojnici in na zobu sojemalca — jeklo Č. 4320 Nb

## 2.2. Mikrostruktura in trdota

Mikrostruktura ojnic in sojemalcev je podobna pri obeh vrstah jekel. Cementirana plast ima martenzitno mikrostrukturo, ki proti notranjosti prehaja v mešano martenzitno bainitno mikrostrukturo (sl. 2). Tudi na necementiranem delu ojnice je mikrostruktura ob robu martenzitna, v notranjosti pa martenzitno bainitna (sl. 3). Delež martenzita v mikrostrukturi je odvisen od velikosti preseka, saj so manjši preseki bolj prekaljeni. Večja kristalna zrna, ki jih opazimo na nekaterih presekih ojnice, so značilna za področja, ki so bila pri zadnjem udarcu kladiva le malo deformirana (kritična stopnja deformacije). Na teh mestih je prekaljivost boljša zaradi večjih zrn.

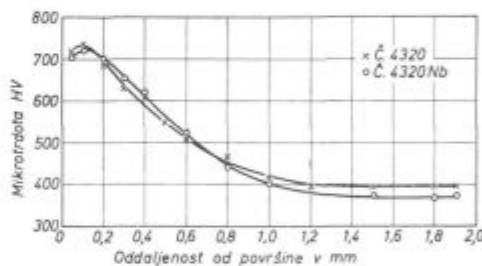


Slika 5

Potek mikrotrdote na cementiranem delu ojnice

Fig. 5

Variation of microhardness in the case of the shaft



Slika 6

Potek mikrotrdote pri sojemalcih

Fig. 6

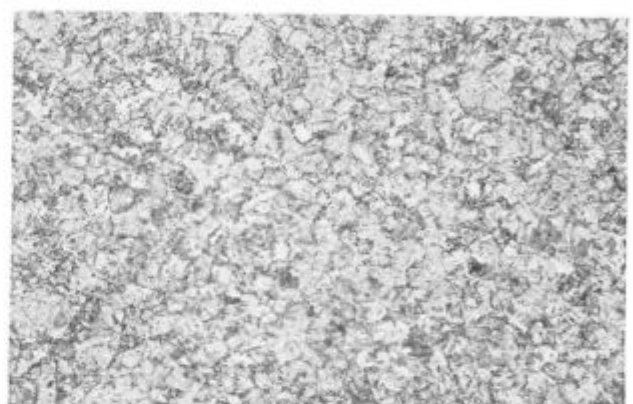
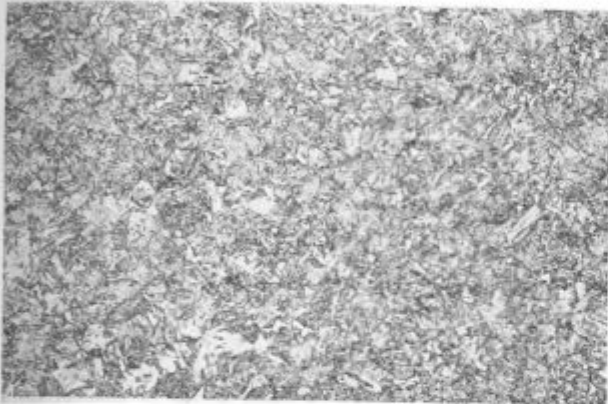
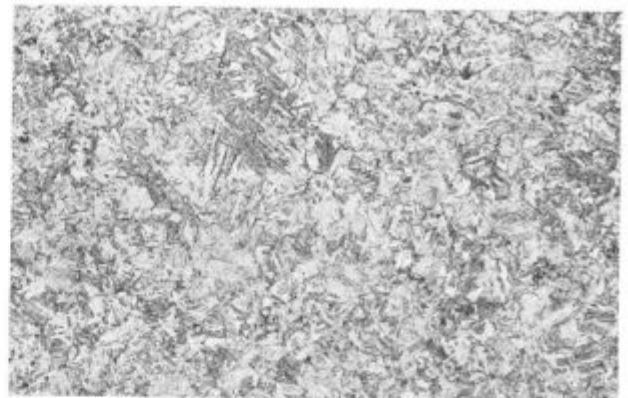
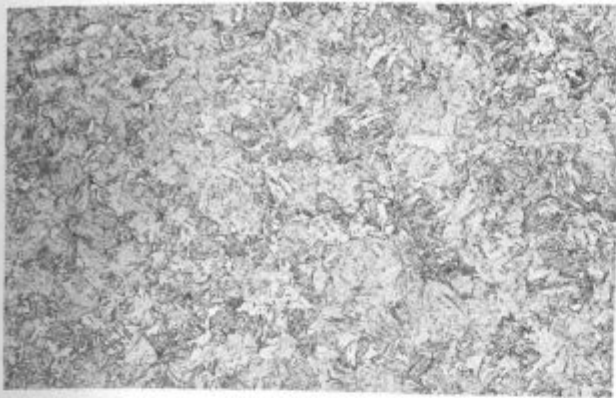
Variation of hardness in the starter toothed wheel



Fig. 2

Magnification 50 ×. Microstructure of the case on the shaft and the tooth of the starter toothed wheel — Č. 4320 Nb steel



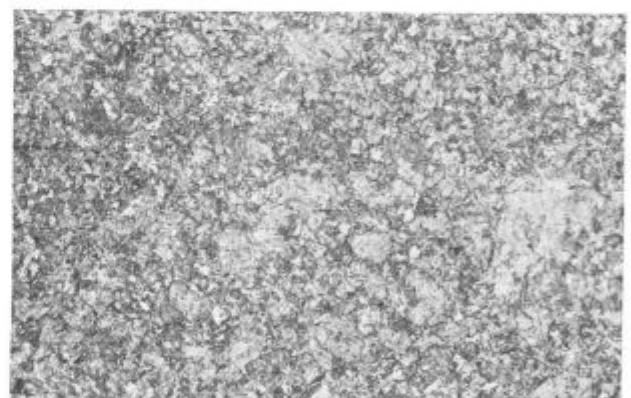
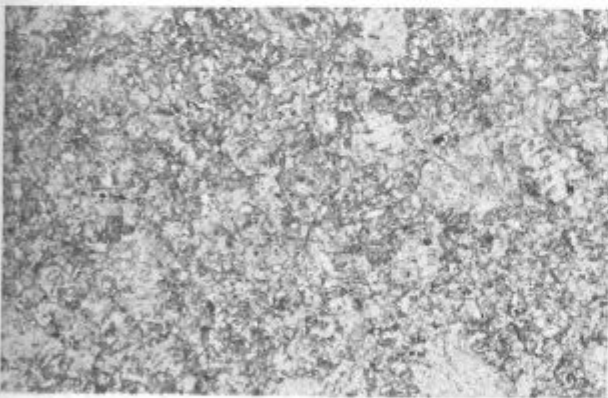


Slika 3

Povečava 200 ×. Martenzitno bainitna mikrostruktura na sredini dveh različnih presekov ojnice — levo konvencionalno jeklo Č. 4320, desno konti jeklo Č. 4320 Nb

Fig. 3

Magnification 200 ×. Martensite bainitic microstructure in the centre of two various sections of the shaft — left: conventional Č. 4320 steel, right: continuously cast Č. 4320 Nb steel



Slika 4

Povečava 100 ×. Martenzitno bainitna mikrostruktura na sredini preseka sojemalca — levo konvencionalno jeklo Č. 4320, desno konti jeklo Č. 4320 Nb

Fig. 4

Magnification 100 ×. Martensite bainitic microstructure in the centre of cross section of the starter toothed wheel — left: conventional Č. 4320 steel, right: continuously cast Č. 4320 Nb steel

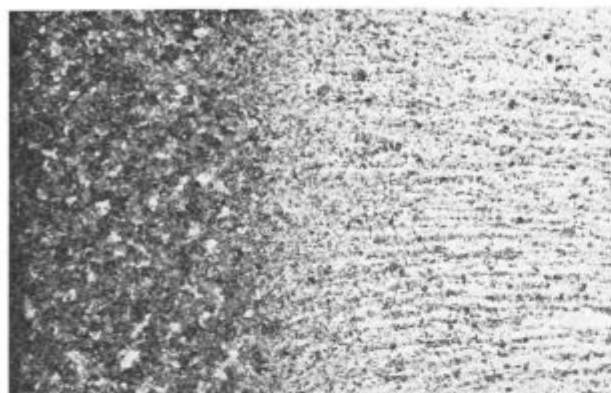
Avstenitna zrna so pri ojnica finejša kot pri sojemalcih (sl. 4) zaradi večje stopnje deformacije jekla in nizke končne temperature kovanja (1020—1050° C). V velikosti avstenitnih zrn med obema jekloma ne opazimo razlike. Vzorci iz konti jekla imajo v strukturi nekaj več bainita in bainitnega ferita.

Makro trdote cementirane plasti in jedra ojnice in sojemalcev ustrezajo predpisanim vrednostim. Globino cementirane plasti smo določili iz profilov mikro trdot (sl. 5 in 6) v odnosu na mejno trdoto, ki smo jo izračunali po enačbi (5):

$$G = 0,6 M + 0,4 J$$

Pri tem pomenijo G mejno trdoto globine cementacije, M maksimalno trdoto cementirane plasti in J trdoto jedra. Povprečna globina cementirane plasti je pri obeh vrstah jekel enaka in znaša pri ojnica 0,85 mm in pri sojemalcih 0,4 mm. Globino cementacije smo določili tudi metalografsko na normaliziranih vzorcih (sl. 7). Izmerjene vrednosti se dobro ujemajo z izračunanimi.

Meritve makro in mikro trdote so pokazale, da so ojnice in zobniki, izdelani iz konti jekla, nekoliko mehkejši.



Slika 7

Povečava 50 ×. Normalizirana mikrostruktura cementirane dela ojnice iz konvencionalnega jekla Č. 4320 (levo) in iz konti jekla Č. 4320 Nb (desno)

cementiranih vzorcih je pri absolutnih vrednostih trajne vrtilno upogibne trdnosti med jekloma določena razlika. Razmerje med trajno vrtilno upogibno in natezno trdnostjo je pri teh vzorcih bistveno višje kot pri kaljenih in popuščenih (0,67 oz. 0,65) in tudi v tem primeru ni odvisno od načina izdelave jekla. Pri nateznem preizkusu se cementirana plast krhko lomi, žilavost jedra ne pride do izraza in preizkušanci imajo nižje vrednosti mehanskih lastnosti kot v kaljenem in popuščenem stanju. Cementirana plast pa zaradi

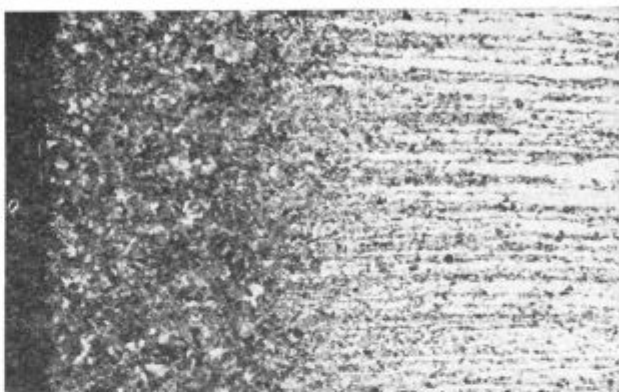


Fig. 7

Magnification 50 ×. Normalized microstructure of the case of the shaft made of conventional Č. 4320 steel (left) and of continuously cast Č. 4320 Nb steel (right)

### 2.3. Mehanske lastnosti

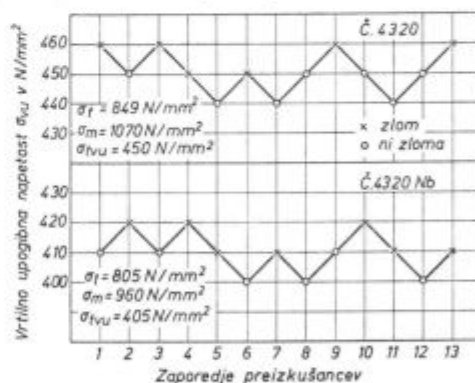
Cementirane vzorce za določitev mehanskih lastnosti smo termično obdelali istočasno z ojnica, kaljene in popuščane pa smo pripravili na Metalurškem inštitutu pri enakih temperaturah, kot so bile obdelane ojnice (tabela 2).

Mehanske lastnosti kaljenih in popuščenih preizkušancev ustrezajo v standardih predpisanim vrednostim. Meja plastičnosti in natezna trdnost sta pri konti jeklu nekaj nižji, pri raztezu (15 %) in kontrakciji (40 %) pa med jekloma ni razlike. V konti jeklu smo opazili večje silikatne vključke, ki izvirajo iz procesa izdelave jekla. V velikosti kristalnih zrn ni razlike. Zato lahko razlike v mehanskih lastnostih in tudi v trdoti pripišemo različni kemični sestavi jekla, saj ima konvencionalno jeklo  $C_{ekv}$  0,524, konti jeklo pa 0,488.

Za vrednotenje uporabnosti konstrukcijskih jekel je pomembna dinamična trajna trdnost, saj so strojni elementi večinoma obremenjeni izmenično. Dinamične lastnosti smo določili enkrat na za to pripravljenih preizkušancih in drugič direktno na ojnica, oz. na zagonskih zobnikih.

Trajno vrtilno upogibno trdnost smo določili po metodi stopnic (7). Pri kaljenih in popuščenih vzorcih imata jekla zaradi odstopanj v kemični sestavi različno trajno dinamično trdnost. Razmerje trajne vrtilno upogibne in natezne trdnosti pa je pri obeh jeklih enako in znaša 0,42. Tudi pri

svoje trdote močno poviša vrtilno upogibno trdnost, ker je pri taki obremenitvi najmočnejše obremenjena površinska plast preizkušanca.



Slika 8

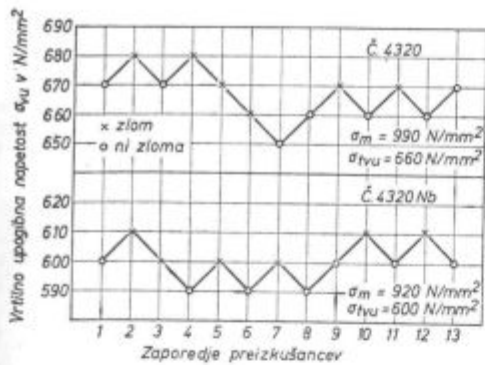
Potek vrtilno upogibnih preizkušanj za obe vrsti jekla v poboljšanem stanju

Fig. 8

Rotation-bending testing of both steel after quenching and tempering

V diagramih na slikah 8 in 9 je prikazan potek vrtilno upogibnih preizkušanj. Navedene so tudi vrednosti meje plastičnosti ( $\sigma_f$ ), natezne trdnosti ( $\sigma_m$ ) in trajno vrtilno upogibne trdnosti ( $\sigma_{tv}$ ).

Najustreznejše podatke o trajni trdnosti smo dobili z neposrednim preizkušanjem ojnica na statično dinamičnem preizkuševalnem stroju IN-



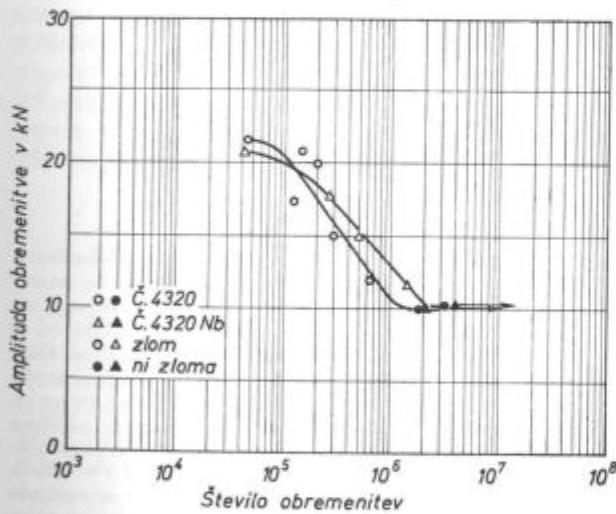
Slika 9

Potek vrtilno upogibnih preizkušanj za obe vrsti jekla v cementiranem stanju

Fig. 9

Rotation-bending testing of both steel being case hardened

STRON (500 KN). Preizkušali smo steblo ojnice, ki je kaljeno in popuščeno. Obe očesi, cementirano in necementirano, sta vpeti v čeljusti. Ojnice smo pulzirali pri frekvenci 25 Hz. Na lom ojnice vplivajo številni dejavniki (mehanske lastnosti, mikrostruktura, napake na površini, obdelava površine), zato so se ojnice lomile v širšem področju najožjega preseka stebila. Wöhlerjevi krivulji za obe vrsti ojnice sta prikazani v diagramu na sliki 10.



Slika 10

Wöhlerjevi krivulji za obe vrsti ojnice

Fig. 10

Wöhler curve for both shafts

Trajna dinamična trdnost je pri obeh vrstah ojnice skoraj enaka. V področju, kjer pride do zloma pri končnem številu nihajev (malonihajna utrujenost), ko so amplitude cikličnih napetosti tako visoke, da prihaja do elastično plastičnih deformacij, se krivulji nekoliko razlikujeta.

Sojemalce smo v TOMOS-u preizkušali na napravi, ki ponazarja delovanje v motorju. Obremenitev v motorju je 3 Nm. Preizkušanci iz obeh vrst jekla so vzdržali predpisano število zagonov (23000). Tudi pri povišani obremenitvi ni prišlo do lomov zob, niti nismo opazili nobenih znakov obrabe.

### 3. ZAKLJUČEK

Iz industrijskega jekla Č. 4320 z dodatkom niobija in brez aluminija smo izdelali in toplotno obdelali preizkusne vzorce dveh elementov motorja, ojnice in sojemalce. Fizikalno metalurške lastnosti jekla in rezultate tehnoloških preizkusov smo primerjali z vzorci iz konvencionalnega jekla. Mehanske lastnosti konti jekla ustrezajo vrednostim, ki jih predpisujejo standardi. Zlasti je pomembno, da je razmerje med dinamičnimi in statičnimi lastnostmi pri obeh jeklih enako in da imajo motorski deli ustrezno trajno trdnost. Niobij ne vpliva na cementacijsko sposobnost jekla. Vpliva pa posredno na kaljivost, saj je finejša mikrostruktura slabše prekaljiva.

Na osnovi teh primerjalnih preiskav lahko zaključimo, da ima dobro izdelano konti jeklo Č. 4320, pri katerem smo dosegli afinacijo kristalnih zrn z niobijem, ustrezne mehanske lastnosti in velikost kristalnih zrn. Pri izdelavi elementov, pri katerih je potrebna daljša toplotna obdelava pri temperaturah nad 900 °C, ima to jeklo zaradi večje stabilnosti avstenitne strukture boljše lastnosti kot konvencionalno jeklo.

### Literatura

1. F. Vodopivec, G. Manojlovič, F. Vizjak, O. Kürner, D. Gnidovec: Afinacija avstenitnih in feritnih zrn v kontinuirno ulitih jeklih. Poročilo MI, Ljubljana 1977 (objavljeno v Zelezarskem zborniku)
2. F. Vodopivec, F. Vizjak, G. Manojlovič, D. Kmetič: Afinacija kristalnih zrn v kontinuirno litih jeklih, Poročilo MI, Ljubljana 1979 (objavljeno v Zelezarskem zborniku)
3. D. Kmetič, F. Vodopivec, M. Gabrovšek: Kinetika nastajanja ferita v mikrolegiranem jeklu, Zelezarski zbornik, št. 1/2, 1980 (39-47)
4. F. Vodopivec: Opredelitev parametrov za perlitno kovanje. Poročilo MI, 1978
5. J. Žumer: Globina cementacije pod kritično lupo, Zbornik posvetovanja o toplotni obdelavi, Ravne na Koroškem 1980 (112-122)
6. D. Kmetič, F. Vodopivec, B. Ralič: Uvodjenje korištenja elektronske mikroskopske u rešavanju tehnoloških problema crne metalurgije — IX., Ispitivanje konti livenog i konvencionalno livenih kvalitetnih čelika istih vrsta, Poročilo MI, 1979
7. J. Zvokelj: Preizkušanje vrtilno upogibne trdnosti nekaterih konstrukcijskih in orodnih jekel, Poročilo MI, 1974
8. J. Zvokelj: Ponašanje jekel pri utrujanju z nizkim številom nihajev do loma, Poročilo MI, 1979

## ZUSAMMENFASSUNG

Auf Grund der vorherigen Untersuchungen haben wir aus einer industriellen Stahlschmelze eines mit Niobium legierten Einsatzstahles, Č. 4320 ohne Aluminiumgehalt zwei Versuchselemente des Otomotors, die Kurbelwelle und das Antriebszahnrad hergestellt und wärmebehandelt. Die physikalischen und metallurgischen Eigenschaften des Stahles und die Ergebnisse der technologischen Versuche sind mit den Ergebnissen, erhalten an Teilen aus konventionell hergestellten Stahles verglichen worden. Die mechanischen Eigenschaften des stranggegossenen Stahles entsprechen den Werten die durch Normen vorgeschrieben sind.

Es ist sehr wichtig, dass das Verhältnis zwischen den dynamischen und statischen Eigenschaften bei beiden Stählen gleich ist, und dass die Motorenteile eine ent-

sprechende Dauerfestigkeit besitzen. Niobium beeinflusst nicht die Einsatzhärtungsfähigkeit des Stahles. Indirekt beeinflusst er die Härtbarkeit, denn das feinere Mikrogefüge ist schlechter durchhärtbar.

Die Ergebnisse zeigten, dass ein gut hergestellter und stanggegossener Einsatzstahl Č. 4320, bei dem die Affination der Kristallkörner durch Niobium erzielt worden ist, entsprechende mechanische Eigenschaften und Kristallkorngröße besitzt.

Bei Erzeugung der Teile bei welchen längere Wärmehandlung bei Temperaturen über 900 °C nötig ist, hat dieser Stahl wegen der höheren Stabilität des Austenitischen Gefüges bessere Eigenschaften wie konventionell erzeugter Stahl.

## SUMMARY

Based on previous investigations the industrially made melt of case-hardenable Č. 4320 steel with added niobium and without aluminium was used for test samples of two motor constituents, i. e. of a shaft and of starter toothed wheel, all being heat treated. Physical metallurgical properties of steel and the results of technological tests were compared with the results obtained with the samples made of conventional steel. Mechanical properties of the continuously cast steel correspond to the values prescribed by the standards. Essential is the fact that ratio between the dynamic and the static properties of both steel is the same and that motor constituents have sufficient fatigue

strength. Niobium does not influence the case-hardenable-ability of steel. It directly influences the hardenability since the finer microstructure has lower through-hardenable-ability.

Results showed that correctly made continuously cast Č. 4320 steel with refined crystal grains with niobium has corresponding mechanical properties and the size of crystal grains. For the parts which demand longer heat treatment above 900 °C this steel has better properties than the conventional steel due to greater stability of austenitic structure.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании предыдущих исследований изготовили из расплава цементуемой стали С. 4320, легированного с ниобием без добавки алюминия, полученного промышленным способом образцы двух элементов мотора, олобан и разгонные шестерни. Эти опытные образцы также термически обработаны.

Физико-металлургические свойства стали и результаты технологических исследований были сравнены с результатами, полученными на образцах изготовленных из стали, выплавленной классическим способом.

Механические свойства стали непрерывного литья соответствуют значениям, которые предписаны действующим стандартам. В особенности надо отметить, что отношения между динамическими и статическими свойствами обеих сталей одинаковы, и что

образцы моторных частей имеют соответствующую прочность. Также установлено, что ниобий не оказывает влияние на способность цементации стали, но косвенно влияет на закалку, так как более мелкая микроструктура уменьшает прокаливаемость. В итоге исследования показали, что хорошо изготовленная сталь для непрерывного литья С. 4320, на которой аффинаж кристаллических зерен выполнен с элементом ниобием обладает соответствующими механическими свойствами и имеет желаемую величину кристаллических зерен. При изготовлении изделий, которые требуют более длительную термическую обработку при  $t$ -ре свыше 900° эта сталь, из-за более высокой стабильности аустенитной структуры, имеет более благоприятные свойства, чем сталь изготовлена классическим способом.



# Meritve viskoznosti metalurških žlinder z vibracijskim viskozimetrom

## II. Viskoznost sintetičnih rafinacijskih žlinder

UDK: 539.57

ASM/SLA: D10-f, X29-s

A. Rosina

S pomočjo novega elektronskega vibracijskega viskozimetra<sup>1</sup> smo izmerili viskoznost sintetičnih rafinacijskih žlinder za jeklarske elektro-obločne peči. Te žindre so razvili na Metalurškem inštitutu v Ljubljani z namenom, da bi pospešili in izboljšali potek jeklarskih procesov. Preiskane žindre so bile iz redne proizvodnje, sestavili pa smo jih tudi iz čistih komponent, da bi ugotovili vpliv nečistoč. Oboje žindre so vsebovale med 18 in 25 %  $\text{CaF}_2$ .

Viskoznosti, ki smo jih izračunali iz števila vibracij molibdenskega čutila in gostote žindre med 1730 in 1915 K, so med  $4 \cdot 10^{-1}$  in  $10^{-2}$  Pas. Ugotovljene razlike viskoznosti posameznih vrst žlinder so zelo majhne, tudi viskoznost žlinder iz čistih komponent se zelo malo razlikuje od viskoznosti industrijsko izdelanih žlinder.

### 1. UVOD

V že objavljenem poročilu o raziskavah viskoznosti rafinacijskih žlinder za EPŽ<sup>1</sup> navajamo podatke, ki smo jih izmerili s pomočjo novo razvitega vibracijskega viskozimetra. Enake meritve smo opravili tudi pri sintetičnih rafinacijskih žlindrah za elektroobločne peči, o dobljenih rezultatih pa poročamo v tem prispevku.

Na Metalurškem inštitutu so razvili nove vrste sintetičnih rafinacijskih žlinder, da bi z njimi pospešili potek jeklarskih procesov, zvečali stopnjo razžveplanja ter tako izdelali več in boljše elektro jeklo v obstoječih pečeh. Za določanje optimalne uporabnosti takih žlinder moramo poznati njihove značilne lastnosti, med katerimi je pomembna tudi viskoznost. Izmeriti viskoznost sintetičnih rafinacijskih žlinder je bil tako namen in cilj raziskave, o kateri poročamo v tem članku.

Merilno metodo, ki smo jo uporabili pri tej raziskavi, smo opisali že v prvem delu tega poročila.<sup>1</sup> Z daljšo uporabo merilnih metod smo pridobili nove raziskovalne izkušnje, kar nam je omogočilo natančnejše merjenje in s tem določitev zanesljivejših podatkov o raziskanih žlindrah.

### 2. PODATKI O RAZISKANIH SINTETIČNIH RAFINACIJSKIH ŽLINDRAH

Raziskali smo dve vrsti sintetičnih rafinacijskih žlinder, in to žlinder iz redne proizvodnje Tovarne dušika Ruše (oznake AI, AII, AIII) ter žindre približno enake sestave, ki smo jih izdelali iz čistih komponent (BI, BII, BIII) in ki niso bile onečiščene z raznimi primesmi, kot so to bile industrijsko izdelane žindre. Za primerjavo smo izmerili tudi viskoznost rafinacijske žindre, ki smo jo vzeli iz redne proizvodnje v jeklarni Železarne Jesenice (pri izdelavi kakovosti VC Mo 140, oznaka RŽ). V tabeli 1 navajamo kemično sestavo preiskanih žlinder.

Tabela 1: Kemična sestava preiskanih sintetičnih rafinacijskih žlinder

Oznaka žindre	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	CaF <sub>2</sub>
A—I	66,96	1,69	2,53	10,42	—	—	18,38
A—II	51,14	1,39	3,07	15,70	7,30	0,53	20,57
A—III	63,57	1,92	2,58	6,22	—	—	25,67
B—I	60,44	1,91	2,78	8,86	—	—	19,91
B—II	58,61	1,57	3,36	14,08	—	—	22,37
B—III	62,27	1,79	3,43	6,52	—	—	25,78
RŽ	40,04	11,97	11,12	10,24	10,58	4,23	2,63

Iz tabele 1 vidimo, da je pri vseh sintetičnih žlindrah sestava žlinder vrste A ter vrste B nekoliko različna, kar je seveda posledica nečistoč, ki pridejo v industrijsko izdelane žindre pri njihovi izdelavi. Značilen za preiskane žindre je visok delež CaO, nizek delež SiO<sub>2</sub>, količina Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ki niha med pribl. 5 in 15 % ter sorazmerno visok delež CaF<sub>2</sub>. Le-ta je naraščal od pribl. 18 % pri žlindrah A I in B I, preko 20 % pri žlindrah A II, oz. B II, do pribl. 25 % pri žlindrah A III in B III. Primerjalna žindra RŽ je vsebovala bistveno manj CaF<sub>2</sub>, saj ga je bilo le 2,63 %.

### 3. MERITVE VISKOZNOSTI

Znano je, da je merjenje viskoznosti staljenih metalurških žlinder dokaj težko ter moramo zaradi visokih temperatur, pri katerih viskoznost



merimo, pravilno izbrati talilno napravo, lonce, v katerih talimo žlindro, rešiti problem merjenja temperature itd. Posebno težavno je bilo meriti viskoznost preiskanih sintetičnih rafinacijskih žlinder zaradi njihovega napihovanja in kipenja ter močnega najedanja talilnih loncev. Korundni in cirkonski lonci so bili zaradi tega le kratek čas uporabni pri grafitnih loncih pa je bilo napihovanje žlindre močnejše. Zato smo morali pogosto meritve ponavljati, grelne cevi so hitro pregorevale, žlindra je najedala keramične zaščitne cevi termoelementov ipd.

### 3.1. Merilna metoda in umerjanje elektronskega vibracijskega viskozimetra

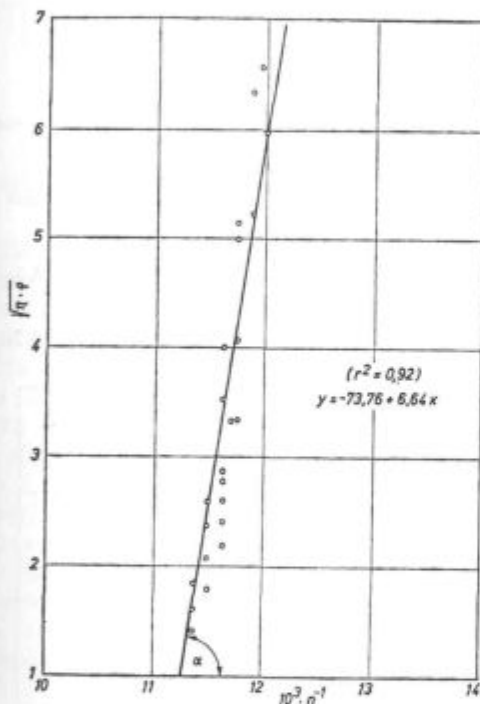
Po prvih objavah v literaturnih virih<sup>2,3</sup> o možnosti uporabe elektromagnetnega vibracijskega viskozimetra za merjenje viskoznosti metalurških žlinder je bilo objavljenih več poročil<sup>4,5</sup>, ki so navajala rezultate prvih meritev s pomočjo nove metode. Novejši podatki<sup>6,7</sup> opisujejo nadaljnja izboljšanja aparature in s tem večjo natančnost izmerjenih vrednosti, oz. odpirajo nadaljnje možnosti uporabe vibracijske merilne metode<sup>8,9</sup>.

Tabela 2: Umerjanje elektronskega vibracijskega viskozimetra

90 % glicerol					
temp. (K)	293	303	313	323	333
štev. vibracij n	75,5	79	82,5	83,5	84
$10^3 \cdot n^{-1}$	13,845	12,658	12,121	11,976	11,905
$\eta$ (Pas)	0,219	0,109	0,060	0,0355	0,0225
$\rho$ (kgm <sup>-3</sup> )	1235	1230	1225	1219	1213
$\sqrt{\eta \cdot \rho}$	16,446	11,579	8,573	6,578	5,224
80 % glicerol					
temp. (K)	293	303	313	323	333
štev. vibracij n	83	84	85	86	87
$10^3 \cdot n^{-1}$	12,048	11,905	11,765	11,628	11,694
$\eta$ (Pas)	0,0601	0,0339	0,0208	0,0136	0,00942
$\rho$ (kgm <sup>-3</sup> )	1208	1202	1197	1191	1184
$\sqrt{\eta \cdot \rho}$	8,521	6,383	4,990	4,025	3,340
70 % glicerol					
temp. (K)	293	303	313	323	333
štev. vibracij n	85	85	85	86	87
$10^3 \cdot n^{-1}$	11,765	11,765	11,765	11,628	11,494
$\eta$ (Pas)	0,0225	0,0141	0,0094	0,00661	0,00486
$\rho$ (kgm <sup>-3</sup> )	1181	1176	1171	1166	1159
$\sqrt{\eta \cdot \rho}$	5,155	4,072	3,318	2,776	2,373
60 % glicerol					
temp. (K)	293	303	313	323	333
štev. vibracij n	85	86	86	87	87
$10^3 \cdot n^{-1}$	11,628	11,628	11,628	11,494	11,494
$\eta$ (Pas)	0,0108	0,00719	0,00508	0,00376	0,00285
$\rho$ (kgm <sup>-3</sup> )	1155	1150	1146	1140	1134
$\sqrt{\eta \cdot \rho}$	3,532	2,875	2,413	2,070	1,798
50 % glicerol					
temp. (K)	293	303	313	323	333
štev. vibracij n	86	86	88	88	88
$10^3 \cdot n^{-1}$	11,628	11,628	11,364	11,364	11,364
$\eta$ (Pas)	0,006	0,00421	0,0031	0,00237	0,00186
$\rho$ (kgm <sup>-3</sup> )	1129	1125	1120	1115	1109
$\sqrt{\eta \cdot \rho}$	2,603	2,176	1,863	1,626	1,436

Vibracijski viskozimeter smo pred meritvami viskoznosti žlinder umerili s pomočjo dvakrat destilirane 99,3 % glicerola, ki smo ga ustrezno razredčili z destilirano vodo. Tako smo ugotovili medsebojno odvisnost med številom vibracij ( $n$ ), ki jih merimo kot ojačeno inducirano napetost odvzemne tuljave, in viskoznostjo medija. Pri tem smo upoštevali tudi njegovo gostoto pri temperaturah umerjanja. Literaturne podatke o viskoznosti in temperaturni odvisnosti gostote glicerola smo našli v tabelah ustreznih priročnikov.<sup>10, 11</sup> Globina potapljanja molibdenskega čutila v glicerol, oz. kasneje v žlindro, je bila 10 mm, njegov premer pa je znašal 1 mm. Vsi za umerjanje potrebni podatki ter izmerjene vrednosti števila vibracij za različne koncentracije glicerola pri različnih temperaturah so navedeni v tabeli 2.

Vrednosti za število vibracij v odvisnosti od gostote in viskoznosti glicerola, izraženima s  $\sqrt{\eta \cdot \rho}$ , smo vnesli v diagram, ki ga kaže slika 1.



Slika 1

Umeritveni diagram za določevanje viskoznosti

Fig. 1

Calibration diagram for viscosity measurement

Enačbo umerjevalne krivulje smo ugotovili s pomočjo ustreznega programa računalnika HP-97 ter se glasi:  $y = -73,76 + 6,64 \cdot x$ , z natančnostjo  $r^2 = 0,92$ . Vrisana premica v diagramu sl. 1 rezultira iz zgoraj navedene enačbe.

### 3.2. Rezultati meritev viskoznosti

Za vrednotenje izmerjenega števila vibracij molibdenskega čutila, ki vibrira v staljeni žlindri, moramo poznati — tako kot tudi pri umerjanju

z glicerolom — gostoto preiskovanega medija pri temperaturah meritev. Podatki o temperaturni odvisnosti gostote staljenih žlinder, še posebno sintetičnih rafinacijskih žlinder, so zelo redki in če jih sploh najdemo, dokaj različni. Glede na to, da je sprememba gostote žlinder s temperaturo sorazmerno majhna (pribl. od 100 do 200  $\text{kgm}^{-3}$  na 100 K), lahko to spremembo ustrezno ovrednotimo. Podatki o gostoti žlinder, ki nam jih je uspelo zbrati iz literaturnih virov<sup>12, 13</sup>, so zbrani v tabeli 3.

Tabela 3: Podatki o gostoti metalurških žlinder

	T (K)	( $\text{kgm}^{-3}$ )
A—I, B—I	1743—1893	3150—2880
A—II, B—II	1733—1853	2560—2500
A—III, B—III	1763—1913	2630—2500
RŽ	1783—1903	3020—2820

Za račun viskoznosti smo izdelali ustrezní program za računalnik HP-97, ki je omogočil hitro in natančno računanje željenih vrednosti. Ta program vidimo prikazan na sl. 2. Tako izračunane

001	*L6LA	21 11
002	RCLC	36 13
003	PRTX	-14
004	1/X	52
005	1	01
006	0	00
007	0	00
008	0	00
009	X	-35
010	PRTX	-14
011	RCLC	36 12
012	X	-35
013	RCLA	36 11
014	+	-55
015	PRTX	-14
016	X <sup>2</sup>	53
017	RCLD	36 14
018	÷	-24
019	PRTX	-14
020	RTH	24
021	R/S	51

Slika 2

Računalniški program računa viskoznosti

Fig. 2

Calculator program for evaluation of viscosities

vrednosti viskoznosti z upoštevanjo gostoto preiskanih žlinder in številom vibracij v odvisnosti od temperature navajamo v tabeli 4.

Tabela 4: Vrednosti viskoznosti preiskanih žlinder

Žlindra	T (K)	$\rho$ (kgm <sup>-3</sup> )	n	$n-1 \cdot 10^3$	$\sqrt{\eta \cdot \rho}$	$\eta$ (Pas)
A—I	1755	3128	61	16,39	35,09	0,394
	1789	3067	66	15,15	26,85	0,235
	1821	3010	69	14,49	22,47	0,168
	1868	2925	75	13,33	14,77	0,075
1893	2880	81	12,35	8,22	0,023	
A—II	1738	2558	63	15,87	31,64	0,391
	1771	2541	68	14,71	23,89	0,225
	1796	2529	71	14,08	19,76	0,154
	1823	2515	77	12,99	12,47	0,062
1855	2499	82	12,20	7,22	0,021	
A—III	1783	2613	65	15,38	28,39	0,309
	1815	2585	70	14,29	21,10	0,172
	1848	2556	75	13,33	14,77	0,085
	1880	2528	79	12,66	10,29	0,042
1915	2498	84	11,90	0,053	0,011	
B—I	1749	3140	59	16,95	38,78	0,479
	1780	3084	64	15,63	29,99	0,292
	1818	3015	69	14,49	22,47	0,168
	1846	2965	74	13,51	15,97	0,086
1881	2902	79	12,66	10,29	0,037	
B—II	1763	2630	65	15,38	28,39	0,307
	1795	2602	69	14,49	22,47	0,194
	1827	2575	73	13,70	17,20	0,116
	1861	2545	77	12,99	12,47	0,061
1893	2517	80	12,50	9,24	0,034	
B—III	1763	2630	66	15,15	26,85	0,274
	1785	2602	69	14,49	22,47	0,194
	1827	2575	73	13,70	17,20	0,115
	1861	2545	77	12,99	12,47	0,061
1893	2517	82	12,20	7,22	0,021	
RŽ	1785	3017	58	17,24	40,72	0,550
	1816	2965	62	16,13	33,34	0,375
	1848	2912	67	14,93	25,34	0,221
	1875	2867	71	14,08	19,76	0,136
1903	2820	75	13,33	14,77	0,077	

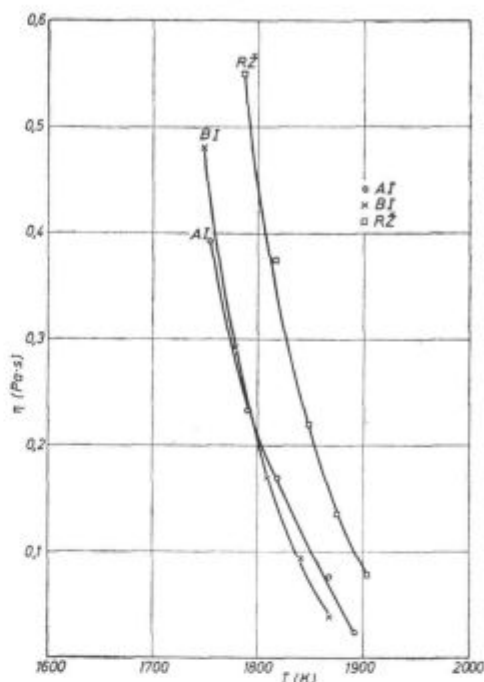
### 3.3. Diskusija rezultatov izmerjenih viskoznosti

Na posameznih slikah smo prikazali potek viskoznosti v odvisnosti od temperature za naslednje žlindre: na sl. 3 vrednosti za žlindre A I in B I, na sl. 4 za žlindre A II in B II ter na sl. 5 za žlindre A III in B III. Na vsako sliko smo vnesli tudi vrednost za žlindro RŽ, da bi s tem olajšali primerjavo viskoznosti sintetičnih rafinacijskih žlinder z viskoznostjo rafinacijske jeklarske žlindre, ki jo uporabljajo v praksi.

Temperaturna območja, v katerih smo merili viskoznost posameznih vrst žlinder, so bila:

za žlindro A I	1755—1893 K
za žlindro A II	1738—1855 K
za žlindro A III	1783—1915 K
za žlindro B I	1749—1881 K
za žlindro B II	1731—1848 K
za žlindro B III	1763—1893 K
za žlindro RŽ	1785—1903 K

Ta temperaturna območja so dokaj ozka, kar pa je bilo pri sorazmerno majhnih vrednostih, ki smo jih merili, tudi pričakovati. Iz tega razloga je naklonski kot krivulj na sl. 3—5 zelo velik.

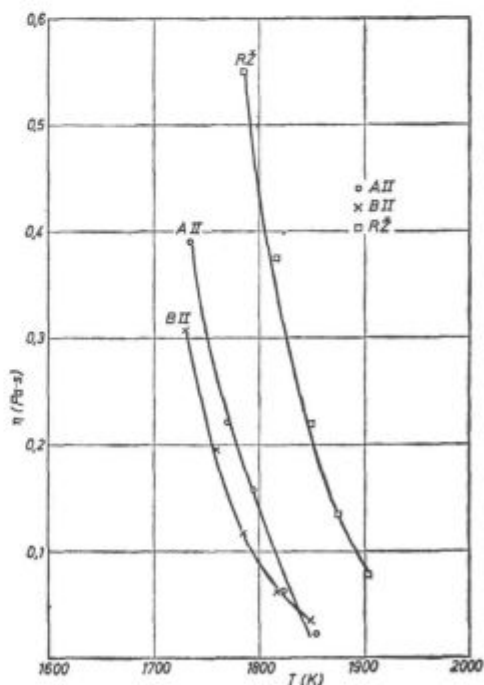


Slika 3

Temperaturna odvisnost viskoznosti žlinder A I—B I

Fig. 3

Viscosity — temperature relationship for slag A I—B I

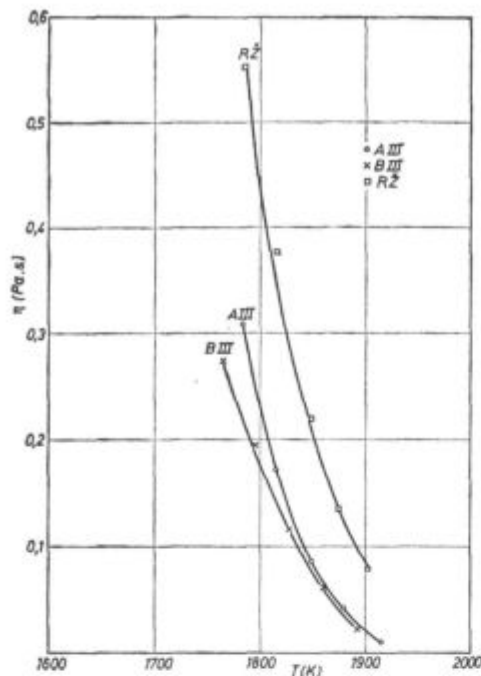


Slika 4

Temperaturna odvisnost viskoznosti žlinder A II—B II

Fig. 4

Viscosity — temperature relationship for slag A II—B II



Slika 5

Temperaturna odvisnost viskoznosti žlinder A III—B III

Fig. 5

Viscosity — temperature relationship for slag A III—B III

Primerjava krivulj posameznih sintetičnih rafinacijskih žlinder z žlindro RZ nedvomno kaže, da je viskoznost le-teh nižja, odn. da sintetične rafinacijske žlindre dosežejo enako viskoznost kot žlindra RZ pribl. 50—60 K preje. To velja predvsem za žlindre serije I in III, medtem ko je ta razlika pri žlindrah serije II nekoliko večja. Iz vseh diagramov vidimo, da je viskoznost žlinder vrste A in B skoraj enaka, razlike so minimalne. Primerjava posameznih vrst žlinder z upoštevanjem njihove sestave, predvsem deleža vsebovanega  $\text{CaF}_2$ , potrjuje že znane ugotovitve predhodnih raziskav.<sup>1</sup> S povečanjem deleža  $\text{CaF}_2$  v žlindri pada viskoznost, vendar so razlike pri raziskanih žlindrah, pri katerih je delež  $\text{CaF}_2$  naraščal od pribl. 18 do največ 25,78 %, sorazmerno majhne in se posebno pri žlindrah serije II in III med seboj že precej prekrivajo. Ta pojav lahko pojasnimo z majhnim vplivom povečanja deleža  $\text{CaF}_2$  v navedenem koncentracijskem območju na temperaturo, oz. na potek solidus črte binarnega sistema  $\text{Al}_2\text{O}_3$ — $\text{CaF}_2$ <sup>14, 15</sup>, kar lahko zaradi znanih talilnih lastnosti  $\text{CaF}_2$  po analogiji prenesemo tudi na večkomponentne fluoridne žlindre. Sestave raziskanih sintetičnih rafinacijskih žlinder leže v območju položnega dela solidus črte faznega diagrama  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .  $\text{CaF}_2$ . Zato je razlika temperatur na likvidus črti med posameznimi sestavami minimalna, saj se le-te nahajajo v intervalu 1808—1823 K. Tudi podatki o viskoznosti v trikomponentnem sistemu  $\text{CaO}$ — $\text{Al}_2\text{O}_3$ — $\text{CaF}_2$ <sup>16</sup>, ki veljajo za sicer nekoliko drugačne sestave, potrjujejo gornje navedbe in ugotovitve. Enako lahko ugotovimo tudi za

rezultate viskoznosti rafinacijskih žlinder,<sup>17</sup> kjer je ujemanje objavljenih rezultatov in rezultatov naših raziskav zelo veliko.

#### 4. ZAKLJUČKI

Rezultate izvedenih raziskav lahko strnemo v naslednje zaključke:

1. Rezultati meritev viskoznosti z novim elektronskim vibracijskim viskozimetrom so potrdili rezultate, ki smo jih opisali v prvem delu te študije.<sup>1</sup> Dobljene izkušnje so že omogočile določene izboljšave posameznih delov merilne naprave in s tem merilne tehnike. Naša prizadevanja težijo za tem, da bomo napravo izboljševali še naprej in tako omogočili merjenje vrednosti, oz. račun viskoznosti tudi v najnižjih viskoznostnih območjih.

Pomanjkljivost izvedenih računov viskoznosti je nezanesljivost podatkov o gostoti raziskovanih žlinder. Le-te so vselej žlindre posebnih tehnoloških postopkov izdelave jekla in zato večinoma tudi posebne sestave. Podatke o gostoti takih žlinder pa ni mogoče najti v literaturnih virih ter je potrebno privzemati vrednosti bolj ali manj podobnih žlinder.

2. Razlike med viskoznostjo sintetičnih rafinacijskih žlinder iz redne proizvodnje ter žlinder, ki smo jih laboratorijsko izdelali, skoraj ni. Tudi viskoznosti posameznih vrst rafinacijskih žlinder se zaradi sorazmerno majhne razlike vsebnosti  $\text{CaF}_2$  med seboj le malo razlikujejo. S temperaturo viskoznost vseh preiskanih vrst žlinder močno pada in jo je mogoče s pomočjo uporabljenega viskozimetra izmeriti dovolj natančno tudi pri vrednosti, ki so manjše od  $10^{-1}$  Pas. Izmerjene vrednosti so v skladu s podatki iz literaturnih virov.

#### Literatura

1. Rosina A.: Meritve viskoznosti metalurških žlinder z vibracijskim viskozimetrom; I. Viskoznost rafinacijskih žlinder za EPZ, *Železarski zbornik (Ljubljana)* 15 (1981), št. 1, 19—24
2. Stengelmejer S. V.: Elektromagnetni vibracioni viskozimetar, *Zavodska laboratorija (Moskva)*, XXX (1964), No. 2, 238—239
3. Smoljarenko V. D., Jakušev A. M., Edneral F. P.: Metodika izmerenja vjaznosti rasplavljenih šlakov elektrovibracionim viskozimetrom, *Zavodska laboratorija (Moskva)*, XXX (1964), No. 8, 969—972
4. Parabin V. V., Pesčihin L. A., Ljamcev K. K.: K voprosu o viskozimetrii metalurgičeskikh rasplavov vibracionim metodom; *Zavodska laboratorija (Moskva)*, XL (1974), No. 4, 415—417
5. Arsentev P. P., Vinogradov B. G., Lisickij B. S.: Izmerenje vjaznosti rasplavov na osnove železa na elektrovibracionom viskozimetre; *Izvestija visših učebnih zavedenij — Černaja metalurgija, (Moskva)*, (1974), No. 7, 181—183



6. Nikitin G. M.: Avtomatičeskaja laboratornaja ustanovka dlja opredelenija vjazkosti šlakovih rasplavov; Zavodskaja laboratorija (Moskva), 42 (1976), No. 4, 456—457
7. Krutin V. N., Ušakov L. A.: Fazovij vibracionij metod izmerenija vjazkosti; Zavodskaja laboratorija (Moskva) XLII (1976), No. 10, 1197—1199
8. Jakušev A. M., Popravko V. V.: Vjazkost rafinirovočnih šlakov s razžižajušimi dobavkami; Izvestija visših učebnih zavedenij. Černaja metalurgija (Novokuzneck) 19 (1976), No. 3, 59—62
9. Gancеровskij O. G., Čepelenko Ju., Ovčaruk A. N.: Primenenje matematičeskikh metodov dlja obobščeniya danih o vjazkosti šlakov; Izvestija visših učebnih zavedenij; Černaja metalurgija (Moskva) 20 (1977), No. 10, 38—41
10. Hodgmen C. H.: Handbook of Chemistry and Physics; Fortieth Ed: Chemical Rubber Publishing Co., (Cleveland, Ohio), (1958) 2169
11. VDI WARMEATLAS 1974: Blatt D c 7, Blatt D c 9, Verlag VDI, (Düsseldorf), (1974)
12. Kozakevitch P.: Viscosité des latiers de hauts fourneaux; Latiers des marches en ferromanganese; Revue de la Metallurgie (Paris) 62 (1967), No. 1, 9—14
13. Elliot D. F., Gliser M., Ramakrišna V.: Termohimija staleplavitelnih procesov, Izdatelstvo »Metalurgija« (Moskva), (1969) 252
14. Mitchell A., Burel B.: The phase diagram of  $\text{CaF}_2$ — $\text{Al}_2\text{O}_3$  electroslag fluxes; Journal of Iron and Steel Institute (London), Vol. 208, Part 3 (1970), 407
15. Zmodin G. I., Catterdži A. K.: Osobnosti kristalizacii šlakov sistemi  $\text{Al}_2\text{O}_3$ — $\text{CaF}_2$ ; Izv. AN SSSR, Metali (Moskva), 12 (1971), No. 6, 46—52
16. Povolockij D. Ja., Miščenko V. Ja., Vjatkin G. P., Puzirev A. V.: Fiziko-hemičeskije svojstva rasplavov sistemi  $\text{CaO}$ — $\text{Al}_2\text{O}_3$ — $\text{CaF}_2$ ; Izvestija visših učebnih zavedenij, Černaja metalurgija (Moskva), 13 (1970), No. 12, 8—12
17. Manjugin A. P., Sokolov G., Sergeev A. G.: Isledovanie fizičeskikh svojstv rafinirovočnih šlakov; Izvestija visših učebnih zavedenij, Černaja metalurgija (Moskva), 18 (1975) No. 3, 67—70

### ZUSAMMENFASSUNG

Mit der Hilfe des neu entwickelten elektronischen Vibrationskosimeter den wir in ZEZB, 15 (1981), Nr. 1, 19—24 näher beschrieben haben, haben wir die Viskosität der syntetischen Raffinationsschlacken aus dem Lichtbogenofen gemessen.

Mit der Hilfe dieses Viskosimeters haben wir die Viskosität von drei verschiedenen, am Markt erhältlichen syntetischen Schlacken, und von drei weiteren jedoch aus reinen Stoffen hergestellten Schlacken gleicher Zusammensetzung, gemessen. Die Schlacken unterschiedeten sich untereinander vor allem in  $\text{CaF}_2$  Gehalt, welcher im Bereich von 18 bis 25 % variierte. Die Ergebnisse der

Messungen wurden mit der Viskosität der Raffinationsschlacken aus dem Lichtbogenofen der täglichen Produktion verglichen. Die gemessenen Werte zeigen, dass die Unterschiede in der Viskosität im Temperaturbereich zwischen 1730 und 1915 °K bei welchen die Messungen durchgeführt worden sind, verhältnismässig klein sind, die gemessenen Werte sind der Grösse nach von  $4 \cdot 10^{-1}$  bis  $10^{-2}$  Pas. Mit dem steigenden  $\text{CaF}_2$ -Gehalt fällt die Viskosität der syntetischen Schlacken. Die Viskosität dieser Schlacken ist kleiner als die Viskosität der Vergleichsschlacken aus der regulären Produktion, denn die syntetischen Schlacken erreichen die gleiche Viskosität wie die Vergleichsschlacken schon 50 bis 60 K früher.

### SUMMARY

By the new developed electron vibration viscosimeter, detailedly described in ZEZB 15 (1981), No. 1, pp. 19—24, the viscosities of synthetic refining slags for steelmaking electric arc furnace were measured.

Viscosity of three various commercial synthetic slags and of three slags with the same composition but prepared of pure components was measured. Composition of slags varied mainly in the  $\text{CaF}_2$  contents being between 18 and 25 %. The obtained viscosity results were compared with

the viscosities of refining slags of the normal manufacturing process in electric arc furnace. The measured values show that the differences in viscosities in the temperature range between 1730 and 1915 K are relatively small, and the viscosities are of order  $4 \cdot 10^{-1}$  to  $10^{-2}$  Pas. Increased portion of  $\text{CaF}_2$  reduces the viscosity of synthetic slags. Viscosity of those slags is smaller compared to that of the reference slag of the normal manufacturing process since the synthetic slags reach the same viscosity as the reference slag already at 50 to 60 K lower temperatures.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При помощи современного электронного вибрационного вискозиметра, который был подробно описан в ZEZB 15 (1981) No 1, стр. 19—24 выполнены измерения вязкости синтетических рафинированных шлаков для дуговой электропечи.

При помощи вискозиметра была измерена вязкость трех различных синтетических шлаков очередного промышленного производства и трех шлаков одинакового состава, изготовленных из чистых компонент. Шлаки различались между собой главным образом содержанием  $\text{CaF}_2$ , которое менялось в диапазоне между 18—25 %.

Полученные результаты вязкости сравнивали с результатами вязкости рафинированных шлаков дуговой электропечи очередного производства.

Измеренные значения показали, что различия вязкости в температурном диапазоне между 1730—1915 K, при котором велось измерение, незначительны и составляют  $4 \cdot 10^{-1}$  до  $10^{-2}$  Pas.

С увеличением доли  $\text{CaF}_2$  вязкость синтетических шлаков уменьшается. Вязкость этих шлаков меньше вязкости шлака порядкового производства, послуживший для сравнения, так как синтетические шлаки достигают одинаковую вязкость при сравнении с шлаками классического производства уже 50—60 K ниже.

Odgovorni urednik: Jože Arh, dipl. inž. — Clani dr. Jože Rodič, dipl. inž., Franc Mlakar, dipl. inž., dr. Aleksander Kveder, dipl. inž., Darko Bradaškja, tehnični urednik

Oproščeno plačila prometnega davka na podlagi mnenja Izvršnega sveta SRS — sekretariat za informacije št. 421-1/172 od 23. 1. 1974  
Naslov uredništva: ZPSZ — Železarna Jesenice, 64270 Jesenice, tel. št. 81-341, int. 800 — Tisk: TK »Gorenjski tisk«, Kranj



# VSEBINA

UDK: 669.183.2:669.14.018.295:621.746.047  
ASM/SLA: ST-e D9-q

Metalurgija — jekla za patentirano žico — kontinuirno vlivanje jekla

J. Arh, M. Demšar, A. Mlakar, M. Debelak

**Tehnološke in praktične izkušnje pri kontinuirnem vlivanju jekel z vsebnostjo aluminija na petžilni kontinuirni livni napravi za gredice z ravno kokilo**

Železarski zbornik 15 (1981) 3 s 189—201

Izvršili smo preiskave vpliva različnega načina dezoksidacije z uporabo kalcijevih zlitin in obdelave jekla s CaSi v ponovci na mašenje izlivkov. Z določanjem celokupnega kisika, določanjem mikročistoče in analizo vključkov v primerjavi s številom čiščenj izlivka v ponovci s kisikom, smo ugotavljali vpliv posameznih parametrov izdelave jekla na mašenje izlivkov. Glavna vplivna faktorja, ki vplivata na intenzivnost mašenja sta vsebnost aluminija v jeklu in izkoristek aluminija pri dezoksidaciji. Poseben poudarek je dan SM jeklu, ki zaradi specifičnega načina izdelave in prisotne oksidne žindre ni najbolj primerno za izdelavo jekel, ki so pomirjena z aluminijem za kontinuirno vlivanje.

Avtorski izvleček

UDK: 621.746.047:669.14.018.298  
ASM/SLA: D9-q Ay-b, V, Nb

Metalurgija — kontinuirno vlivanje jekla za cementacijo — velikost austenitnih zrn

F. Vodopivec, F. Vizjak, S. Senčič, G. Manojlovič, D. Gnidovec

**Afinacija kontinuirno litega cementacijskega jekla Č 4320 z niobijem**

Železarski zbornik 15 (1981) 3 s 203—211

Izdelanih je bilo več laboratorijskih cementacijskih jekel z različnimi dodatki niobija in vanadija in izdelano in konti ulito je bilo industrijsko jeklo z 0,02 % Nb. Preiskave so pokazale, da ta dodatek ne vpliva pomembno na lastnosti v normaliziranem stanju, vendar pa zmanjša in stabilizira austenitna zrna enakovredno dodatku 0,03 % Al v jeklo, ne da bi povzročal pri kontinuirnem vlivanju gredic s presekom 100 × 100 mm kakršnekoli težave.

Avtorski izvleček

UDK: 669.14.018.298:620.17  
ASM/SLA: Ay-b S21, Nb

Metalurgija — konti jeklo — cementacijsko jeklo — afinacija kristalnih zrn z niobijem — lastnosti jekla

D. Kmetič, F. Vodopivec, F. Vizjak, J. Žvokelj, B. Arzenšek

**Primerjalne preiskave konvencionalnega in kontinuirno ulitega cementacijskega jekla Č 4320, ki je legirano z niobijem**

Železarski zbornik 15 (1981) 3 s 213—217

Iz cementacijskega jekla Č 4320, pri katerem smo dosegli afinacijo kristalnih zrn z niobijem, smo izdelali ojnice in zagonске zobnike in jih cementirali in toplotno obdelali med redno proizvodnjo teh elementov.

Primerjali smo lastnosti jekla, rezultate tehnoloških preizkusov ojnice pri pulziranju in trajnostnih preizkusov zagonških zobnikov z rezultati preizkusov na konvencionalnem jeklu, ki ima kot afinator dodan aluminij. Preizkusi so pokazali, da lahko konti jeklo Č 4320 z dodatkom niobija enakovredno nadomesti konvencionalno jeklo.

Avtorski izvleček

UDK: 539.57  
ASM/SLA: D10-f, X29-s

Metalurgija — sintetične rafinacijske žindre za elektroobločno jeklarsko peč — meritve z elektronskim vibracijskim viskozimetrom

A. Rosina

**Meritve viskoznosti metalurških žlinder z vibracijskim viskozimetrom**

**II. Viskoznost sintetičnih rafinacijskih žlinder**

Železarski zbornik 15 (1981) 3 s 219—224

S pomočjo novo razvitega elektronskega vibracijskega viskozimetra smo določili viskoznost sintetičnih rafinacijskih žlinder za elektrojeklarske peči pri različnih temperaturah. Preiskane žindre smo vzeli iz redne proizvodnje, sestavili pa smo jih tudi iz čistih komponent, da bi tako ugotovili vpliv nečistoč. Žindre so v obeh primerih vsebovale 18—25 % CaF<sub>2</sub>. Ugotovljene razlike viskoznosti posameznih vrst žlinder so zelo majhne, tudi viskoznost žlinder iz čistih komponent se zelo malo razlikuje od viskoznosti industrijsko izdelanih žlinder. Izmerjene viskoznosti žlinder v temperaturnem območju 1730—1915 K so med  $4 \cdot 10^{-1}$  in  $10 \cdot 10^{-3}$  Pas.

Avtorski izvleček

# INHALT

UDK: 621.746.047:669.14.018.298  
ASM/SLA: D9-q Ay-b, V, Nb

Metallurgie — Stranggiessen von Einsatzstahl — Austenitkorngrösse

F. Vodopivec, F. Vizjak, S. Senčič, G. Manojlovič, D. Gnidovec  
**Affination des Stranggegossenen Einsatzstahles C 4320 mit Niobium**  
Zelezarski zbornik 15 (1981) 3 S 203—211

Es sind mehrere Laboratoriumsschmelzen der Einsatzstähle mit verschiedenen Zusätzen von Niobium und Vanadium hergestellt worden. Industrieschmelzen mit 0.02 % Nb sind erzeugt und stranggegossen worden. Die Untersuchungen zeigten, dass dieser Zusatz die Eigenschaften im normalisierten Zustand nicht nennenswert beeinflusst, dennoch verkleinert und stabilisiert er die Austenitkörner gleichwertig einem Aluminiumgehalt von 0.03 % im Stahl ohne dass beim Stranggiessen der Knüppel von 100 mm 4 kt irgendwelche Schwierigkeit auftraten.

Auszug des Autors

UDK: 669.183.2:669.14.018.295:621.746.047  
ASM/SLA: ST-e D9-q

Metallurgie — Stahl für patentierte Drähte — Stranggiessen von Stahl

J. Arh, M. Demšar, A. Mlakar, M. Debelak  
**Technologische und praktische Erfahrungen beim Giessen aluminiumhaltiger Stähle an einer fünfsträngigen Knüppelstranggiessanlage mit gerader Kokille**  
Zelezarski zbornik 15 (1981) 3 S 189—201

Untersuchungen über den Einfluss der verschiedenen Desoxydationsart mit komplexen Calciumlegierungen und der Calciumbehandlung von Stahl in der Pfanne auf das Giesverhalten (Zuschmieren von Ausgüssen) sind durchgeführt worden. Mit der Bestimmung des Gesamtsauerstoffgehaltes, des mikroskopischen Reinheitsgrades und der Einschlusszusammensetzung, verglichen mit der nötigen Zahl der Ausgussdurchbrennungen mit Sauerstoff in der Pfanne ist der Einfluss einzelner Herstellungsparameter auf die Verstopfung der Ausgüsse bestimmt worden. Die wichtigsten Einflussparameter welche die Intensität des Zuschmierens bestimmen sind der Aluminiumgehalt im Stahl und das Ausbringen von Aluminium bei der Desoxydation.

Der Nachteil des SM Stahles welcher wegen der spezifischen Erzeugungsart und der anwesenden oxydischen Schlacke für die Erzeugung von aluminiumhaltigen Stählen für das Stranggiessen nicht gerade geeignet ist, wird besonders betont.

Auszug des Autors

UDK: 539.57  
ASM/SLA: D10-f, X29-s

Metallurgie — syntetische Raffinationsschlacken für Lichtbogenöfen — Messungen

A. Rosina  
**Viskositätsmessungen der Raffinationsschlacken mit dem Vibrationsviskosimeter**  
**II. Viskosität der syntetischen Raffinationsschlacken**  
Zelezarski zbornik 15 (1981) 3 S 219—224

Mit Hilfe des neuentwickelten Elektronenvibrationsviskosimeter ist die Viskosität der syntetischen Raffinationsschlacken für Lichtbogenöfen bei verschiedenen Temperaturen bestimmt worden. Die untersuchten Schlacken sind der regulären Produktion entnommen worden, es sind aber auch aus reinen Komponenten zusammengesetzt worden um der Einfluss der Verunreinigungen festzulegen. Die Schlacken enthielten in beiden Fällen von 18 bis 25 % CaF<sub>2</sub>. Die festgestellten Unterschiede in der Viskosität der einzelnen Schlackensorten sind sehr klein. Auch die Viskosität der Schlacken die aus reinen Komponenten zusammengesetzt worden sind, unterscheidet sich nur wenig von der Viskosität der im Betrieb hergestellten Schlacken. Die gemessenen Viskositätswerte der Schlacken im Temperaturbereich von 1730 bis 1915 K sind zwischen  $4 \cdot 10^{-1}$  und  $10 \cdot 10^{-3}$  Pas.

Auszug des Autors

UDK: 669.14.018.298:620.17  
ASM/SLA: Ay-b S21, Nb

Metallurgie — stranggegossener Einsatzstahl — Affination der Kristallkörner durch Niobium — Stahleigenschaften

D. Kmetič, F. Vodopivec, F. Vizjak, J. Zvokelj, B. Arzenšek  
**Vergleichsuntersuchungen an einem konventionell erzeugtem und einem stranggegossenen Einsatzstahl C 4320 legiert mit Niobium**  
Zelezarski zbornik 15 (1981) 3 S 213—217

Aus einem Einsatzstahl C 4320, bei welchem die Affination der Kristallkörner durch Niobium erzielt worden ist, sind während der regulären Produktion Kurbelwellen und Antriebszahnäder hergestellt, einsetzgehärtet und wärmebehandelt worden.

Die Eigenschaften des Stahles und die Ergebnisse technologischer Prüfungen der Kurbelwellen beim Pulsieren, und Dauerfestigkeitsprüfungen der Antriebszahnäder sind mit den Ergebnissen der Prüfungen an konventionell erzeugtem Stahl, mit Aluminium als Affinator, verglichen worden. Die Prüfungen zeigten, dass ein Stranggegossener Einsatzstahl C 4320 mit Niobiusatz gleichwertig den konventionell erzeugten Stahl ersetzen kann.

Auszug des Autors

# CONTENTS

UDK: 669.183.2:669.14.018.295:621.746.047  
ASM/SLA: ST-e D9-q

Metallurgy — Steel for patented wire — Continuous casting

J. Arh, M. Demšar, A. Mlakar, M. Debelak

**Technological and Practical Experiences in Continuous Casting of Steel with Aluminium in a Five-strand Continuous Casting Machine for Billets with a straight Mould**

Zelezarski zbornik 15 (1981) 3 P 189—201

Influence of various deoxidation methods with calcium alloys and treatment with CaSi in the ladle on the stuffing of nozzles was investigated. Determination of total oxygen and of the micropurity, and the analysis of inclusions compared with the number of nozzle openings by oxygen helped in determining the influence of single parameters of the steelmaking process on the stuffing effect in nozzles. The main influential parameters are the aluminium content in steel and the aluminium yield in the deoxydation process. A special emphasis was given to the open-hearth steel which due to specific way of manufacturing and the present oxide slag is not very suitable for aluminium killed steel for continuous casting.

Author's Abstract

UDK: 621.746.047:669.14.018.298  
ASM/SLA: D9-q Ay-b, V, Nb

Metallurgy — Continuous casting of case hardenable steel — Size of austenitic grain

F. Vodopivec, F. Vizjak, S. Senčič, G. Manojlovič, D. Gnidovec  
**Grain Refinement of Continuously Cast Case Hardenable C 4320 Steel with Niobium**

Zelezarski zbornik 15 (1981) 3 P 203—211

Some laboratory case hardenable steel samples with various additions of niobium and vanadium were made, and an industrial melt with 0.02 % Nb was prepared and continuously cast. The investigations showed that this addition does not essentially influence the properties of as normalized steel, but it reduces and stabilizes the austenite grains like the addition of 0.03 % Al without accompanying troubles in continuous casting of 100 × 100 mm billets.

Author's Abstract

UDK: 669.14.018.298:620.17  
ASM/SLA: Ay-b S2I, Nb

Metallurgy — Continuously cast steel — Case-hardening steel — Grain refining with niobium — Steel properties

D. Kmetič, F. Vodopivec, F. Vizjak, J. Zvokelj, B. Arzenšek

**Comparative Investigations of Conventional and Continuously Cast Case-Hardenable C 4320 Steel Alloyed with Niobium**

Zelezarski zbornik 15 (1981) 3 P 213—217

Case hardenable C 4320 steel being grain refined by niobium was applied for a shaft and starter toothed wheel which were carburized and heat treated during the regular production of those parts.

Steel properties, results of technological pulsating fatigue tests of shafts and fatigue tests of starter toothed wheels were compared with those of conventional steel where aluminium is added as the refining agent. The experiments showed that continuously cast C 4320 steel with added aluminium can equivalently substitute the conventional steel.

Author's Abstract

UDK: 539.57  
ASM/SLA: D10-f, X29-s

Metallurgy — Synthetic refining slags for electric arc steelmaking furnace — Measurements with electron vibration viscosimeter

A. Rosina

**Viscosity Measurements of Metallurgical Slags by a Vibration Viscosimeter**

**II. Viscosity of Synthetic refining Slags**

Zelezarski zbornik 15 (1981) 3 P 219—224

Application of the new developed electron vibration viscosimeter enabled to determine the viscosity of synthetic refining slags for electric steelmaking furnace at various temperatures. The investigated slags were taken out of normal manufacturing process but they were composed of pure constituents in order to determine the influence of impurities. Slags in both cases contained 18 to 25 % CaF<sub>2</sub>. Obtained differences in viscosities of single slags are very small, also the viscosity of slags composed of pure constituents differ very little from the viscosity of industrially made slags. Measured slag viscosities in the temperature range 1730 to 1915 K varied between 4.10<sup>-1</sup> in 10<sup>-3</sup> Pas.

Author's Abstract

# СОДЕРЖАНИЕ

UDK: 621.746.047:669.14.018.298  
ASM/SLA: D9-q Ay-b, V, Nb

Металлургия непрерывное литье цементуемой стали — величина аустенитных зерен

F. Vodopivec, F. Vizjak, S. Senčič, G. Manojlovič, D. Gnidovec  
Аффинаж цементуемой стали непрерывного литья С 4320 с ниобием  
Zelezarski zbornik 15 (1981) 3 С 203—211

Изготовили лабораторные образцы цементуемой стали с различным содержанием ниобия и ванадия. Также изготовлена с применением непрерывного литья сталь классического промышленного производства с 0,02 % Nb.

Исследования показали, что это добавление не имеет существенного влияния на свойства стали в нормализационном состоянии, но тем не менее уменьшает и стабилизирует аустенитные зерна эквивалентно добавлению 0,03 % Al в стали без приращения было каких затруднений при непрерывном литье заготовок сечением  $100 \times 100$  мм.

Автореф.

UDK: 669.183.2:669.14.018.295:621.746.047  
ASM/SLA: ST-e D9-q

Металлургия — сталь для патентированной проволоки — непрерывное литье

J. Arh, M. Demšar, A. Mlakar, M. Debelak  
Технологические и практические опыты при непрерывном литье сталей с содержанием алюминия с пятижильной установкой для непрерывного литья для заготовок с ровной изложницей  
Zelezarski zbornik 15 (1981) 3 С 189—201

Выполнили исследования влияния различного способа раскисления с применением сплавов кальция и обработки стали с CaSi в ковше на закупоривание выпусков. С определенным совокупным кислородом, содержанием микрочастиц загрязнений и анализа включений при сравнении с числом, необходимым для очистки выпусков с кислородом, авторы этой работы определяют влияние отдельных параметров на закупоривание выпусков при изготовлении стали.

Главные выразительные факторы, которые влияют на интенсивность закупоривания выпусков это содержание алюминия в стали и использование алюминия при раскислении.

Особое внимание уделено СМ-стали, которое благодаря специфического способа изготовления и присутствия окислительного шлака не особенно подходящее для изготовления сталей усовершенствованных с алюминием, предназначенных для непрерывного литья.

Автореф.

UDK: 539.57  
ASM/SLA: D10-f, X29-s

Металлургия — синтетические рафинационные шлаки для дуговой электродной — измерения с электронным вибрационным вискозиметром

A. Rosina

Измерения вязкости металлургических шлаков с вибрационным вискозиметром

II. Вязкость синтетических рафинационных шлаков

Zelezarski zbornik 15 (1981) 3 С 219—224

При помощи современного электронного вибрационного вискозиметра определяли вязкость синтетических рафинационных шлаков для дуговой электродной при различных температурах.

Исследованные шлаки были взяты из очередного производства. Шлаки составлены также из чистых компонентов, чтобы сравнением определить влияние чистоты. В обоих случаях шлак содержал 18—25 % CaF<sub>2</sub>.

Установлены очень небольшие отступления вязкости при отдельных видах шлаков; также вязкость шлаков из чистых компонентов очень незначительно отстает от вязкости шлаков, изготовленных промышленным способом. Измеренные вязкости шлаков в температурных пределах 1730—1915 К находились между  $4 \cdot 10^{-1}$  и  $10 \cdot 10^{-3}$  пз.

Автореф.

UDK: 669.14.018.298:620.17  
ASM/SLA: Ay-b S21, Nb

Металлургия — непрерывное литье — цементуемая сталь — аффинаж кристаллических зерен с ниобием — свойства стали

D. Kmetič, F. Vodopivec, F. Vizjak, J. Zvokelj, B. Arzenšek  
Исследования свойств сравнением классической и непрерывно отантой цементуемой стали С 4320  
Zelezarski zbornik 15 (1981) 3 С 213—217

Из цементуемой стали С 4320, на которой выполнен аффинаж кристаллических зерен с элементом ниобием были изготовлены олобаны и разгонные шестерни; их цементировали и термически обрабатывали.

Сравнили свойства стали, просмотрели результаты технологических опытов изготовленных олобелей при пульсации и разгонных шестерней с результатами опытов с сталью классического изготовления, в которой для аффинирования применен алюминий.

Исследования показали, что сталь С 4320 с добавкой ниобия вполне заменяет сталь, изготовленную классическим способом.

Автореф.

