

# ŽELEZARSKI ZBORNIK

Stran

## VSEBINA

- Zalar Bogdan, V. Osterc, J. Wohinz  
— Metalurški inštitut Ljubljana  
VKLJUCITEV JEKLARKEGA PRAHU IN  
SKAJE V KLORIRNI POSTOPEK PREDE-  
LAVE PIRITNIH OGORKOV 77
- Koroušić Blaženko, F. Vodopivec  
— Metalurški inštitut Ljubljana;  
J. Rodič, A. Rodič, J. Pšeničnik —  
Železarna Ravne  
VPLIV MODIFIKATORJEV NA MEHANIZEM  
STRJEVANJA, HOMOGENOST IN NARAVO  
KARBIDOV BRZOREZNIH JEKEL IZDELA-  
NIH PO POSTOPKU EPŽ (I. DEL: MODIFI-  
KACIJA JEKLA C 7680 (BRM-2) IZDELANEGA  
PO EPŽ POSTOPKU 87
- Uranc Franc — Železarna Ravne  
ODPORNOST PROTI ZATOPITVI IN ŽILA-  
VOST OSTRINE 99
- Stocca Bogdan — Železarna Jesenice  
NERJAVNO JEKLO ZA TURBINSKE LOPA-  
TICE S 13% Cr 105

LETO 12 ŠT. 3 - 1978

ŽEZB BQ 12 (3) 77 — 108 (1978)



# ŽELEZARSKI ZBORNIK

IZDAJAJO ZELEZARNE JESENICE, RAVNE, STORE IN METALURŠKI INŠTITUT

LETO 12

LJUBLJANA

SEPTEMBER 1978

Vsebina	Inhalt	Contents	Содержание
stran	Seite	Page	
Zalar Bogdan, V. Osterc, J. Wohinz	Zalar Bogdan, V. Osterc, J. Wohinz	Zalar Bogdan, V. Osterc, J. Wohinz	Zalar Bogdan, V. Osterc, J. Wohinz
Vključitev jeklarskega prahu in škafe v klorirni postopek predelave piritnih ogorkov 77	Einschliessung des bei der Entstaubung in Stahlwerken entstehenden Staubes und des Zunders in das Chlorierverfahren bei der Verarbeitung von Pyritasche 77	Use of dust and scale of steel-making plant in chlorination process for pyrite cinder 77	Включение стальной пыли и окаты в способ хлорирования при переработки пиритных огарков 77
UDK: 669.046.428 ASM/SLA: B 15 v	UDK: 669.046.428 ASM/SLA: B 15 r	UDK: 669.046.428 ASM/SLA: B 15 r	UDK: 669.046.428 ASM/SLA: B 15 r
Koroušič Blaženko, J. Rodič, A. Rodič, J. Pšeničnik	Koroušič Blaženko, J. Rodič, A. Rodič, J. Pšeničnik	Koroušič Blaženko, J. Rodič, A. Rodič, J. Pšeničnik	Koroušič Blaženko, J. Rodič, A. Rodič, J. Pšeničnik
Vpliv modifikatorjev na mehanizem strjevanja, homogenost in naravo karbidov brzoreznih jekel izdelanih po postopku EPŽ (I. del: Modifikacija jekla Č 7680 (BRM-2) izdelanega po EPŽ postopku) 87	Einfluss der Impfmittel auf den Erstarrungsmechanismus, die Homogenität und die Morphologie der Karbide in den Schneldrehstählen, erzeugt nach dem ESU Verfahren (I. Teil: Modifizierung des Stahles Č 7680 (BRM-2) erzeugt nach dem ESU Verfahren) 87	Influence of modifying agents on the solidification mechanism, homogeneity and nature of carbides in high-speed steel manufactured by ESR (Part I: Modification of Č 7680 (BRM-2) electroslag remelted steel) 87	Влияние модификаторов на механизм отвердения, на однородность и пороуд карбидов быстрорежущих сталей изготовленных ЭПЖ-способом (I. часть — Модификация стали С. 7680 (BRM-2) изготовленной ЭПЖ-способом). 87
UDK: 669.14.018.252.3 ASM/SLA: D 8 n, AD-p 36	UDK: 669.14.018.252.3 ASM/SLA: D 8 n, AD-ps 6	UDK: 669.14.018.252.3 ASM/SLA: D 8 n, AD-ps 6	UDK: 669.14.018.252.3 ASM/SLA: D 8 n, AD-ps 6
Franc Uranc	Franc Uranc	Franc Uranc	Franc Uranc
Odpornost proti zatopitvi in žilavosti ostrine 99	Schlagfestigkeit und Zähigkeit der Schneide 99	Resistance to blunting and toughness of the edge 99	Сопротивление против приупления и вязкость лезвия 99
UDK: 669.14.018.25 ASM/SLA: Q 29, Q 6n, Q 6s	UDK: 669.14.018.25 ASM/SLA: Q 29, Q 6n, Q 6s	UDK: 669.14.018.25 ASM/SLA: Q 29, Q 6n, Q 6s	UDK: 669.14.018.25 ASM/SLA: Q 29, Q 6 n, Q 6 s
Stocca Bogdan	Stocca Bogdan	Stocca Bogdan	Stocca Bogdan
Nerjavno jeklo za turbinske lopatice s 13 % Cr 105	Nichtrostender Stahl für Turbinenschaufeln mit 13 % Cr 105	Stainless steel with 13 % Cr for turbine blades 105	Нержавеющая сталь для лопаток турбин с 13 % Cr 105
UDK: 669.14.018.8 ASM/SLA: SS-01	UDK: 669.14.018.8 ASM/SLA: SS-01	UDK: 669.14.018.8 ASM/SLA: SS-01	UDK: 669.14.018.8 ASM/SLA: SS-01

---

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

Control systems for material,  
materials management

Analyses laboratories

Electric arc furnaces

Basic oxygen furnaces

(BOF) SIP Converter,  
AOD Converter

Energy dispatch and control

Pollution monitoring

Heat treating optimization

Tailor-made software and systems  
for your specific requirements

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

Kontrolni sistemi za  
materialno gospodarstvo

Analitski laboratorij

Elektro obločne peči

Bazične kisikove peči

LD — konverter in kisikovi  
žilavilni postopki s pihanjem  
od spodaj

AOD — konverter

Kontinuirno litje

Sistemi razdelitve in kontrole  
porabe energije

Krmiljenje čistilnih naprav

Optimizacija toplotne obdelave

Software in sistemi prilagojeni  
vašim posebnim zahtevam

**PROCESS CORPORATION  
P. O. Box 11528  
PITTSBURGH, PA 15238  
U S A**

For more detailed information please  
contact the European representative:

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

**I N T E C O — Internationale  
Technische Beratung Ges. m. b. H.  
Bahnhofstrasse 9  
8600 Bruck/Mur, Austria  
Telephone: (038 62) 53 1 10  
Telex: 36 720**

---



**VATROSTALNA**

**ZENICA — TOZD JESENICE**

**Izgradnja in vzdrževanje toplotnih agregatov**



**SAVSKE ELEKTRARNE  
LJUBLJANA**

**TOZD ELEKTRARNA MOSTE**

**Moste pri Žirovnici**

proizvodnja, transformacija in razdelitev električne energije

---



**INŽENIRING**

**BLED**

telefon (064) 77-336

**SVETUJEMO PROJEKTIRAMO**

**IZVEDBENI INŽENIRING ZA METALURŠKE  
IN KEM. TEHNOLOŠKE NAPRAVE IN OBJEKTE**

PROJEKTIRAMO NAPRAVE ZA PROIZVODNJO  
SUROVEGA ŽELEZA

SVETUJEMO IN REŠUJEMO TRANSPORTNE PROBLEME  
V METAL. PROCESU,

PROJEKTIRAMO, KONSTRUIRAMO in DOBAVLJAMO:

NAPRAVE ZA ODŽVEPLANJE TEKOČEGA GRODLJA  
IN SIVE LITINE,

PEČI ZA SUŠENJE VLOŽKA ZA ELEKTROINDUKCIJSKE PEČI

IZVAJAMO ŠTUDIJE IN IZVEDBENE PROJEKTE ZA  
PLINSKA ENERGETSKA OMREŽJA IN INDUSTRIJSKE PEČI

IZDELUJEMO INVESTICIJSKE PROGRAME

PROJEKTIRAMO TEHNOLOŠKE NAPRAVE ZA PREDELAVO  
NEKOVIN IN PLAVŽNE ŽLINDRE

**INŽENIRING BLED — BLED, MLADINSKA 17**

---



# ŽELEZARNA JESENICE

## Proizvaja:

debelo, sredno in tanko pločevino  
dinamo trakove

hladno valjane trakove

vlečeno, brušeno in luščeno jeklo

vlečeno žico

vlečeno žico — patentirano

pleteno patentirano žico za

prednapeti beton

hladno oblikovane profile  
cestne varnostne ograje

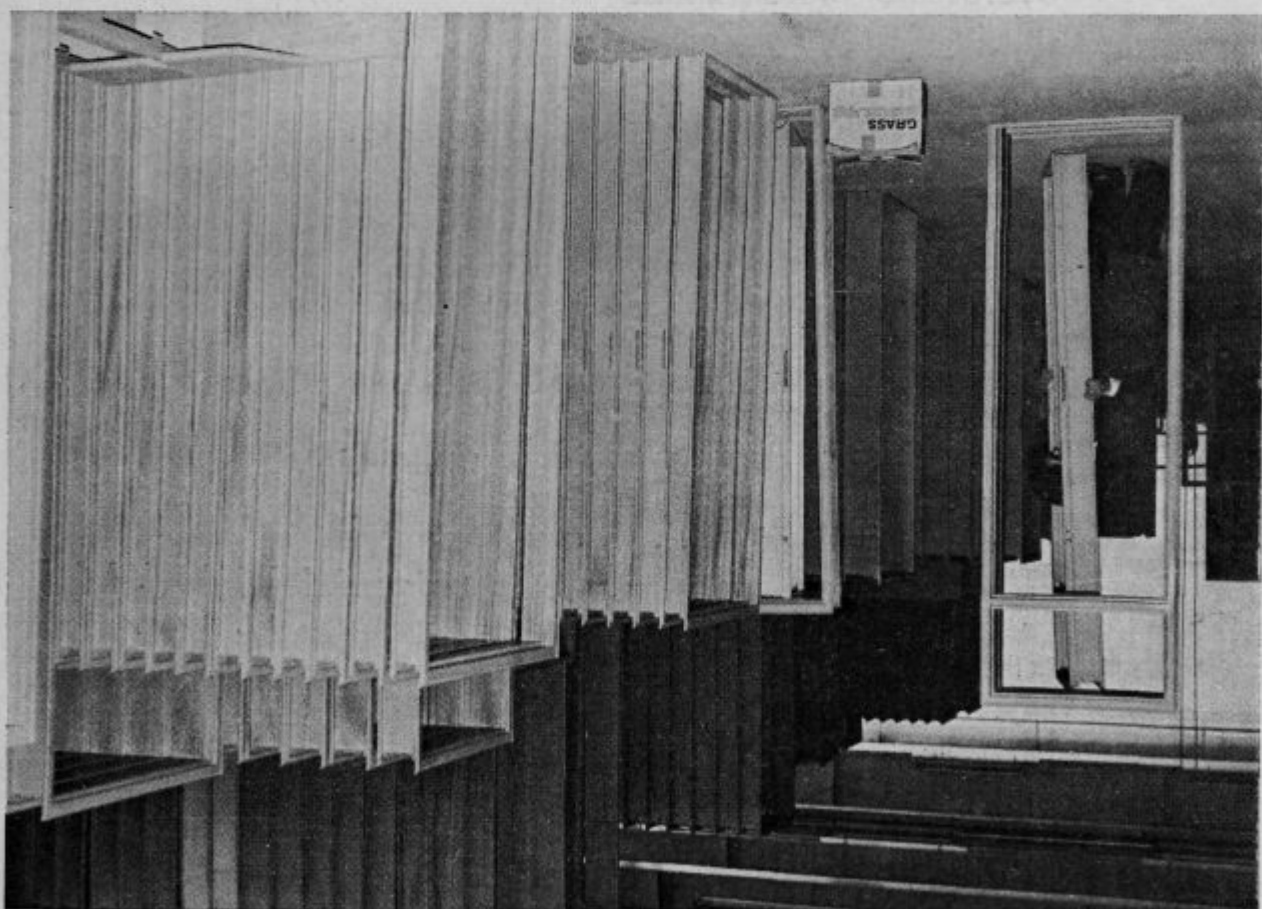
jeklene podboje za vrata

— dodatni material za varjenje:

— tehnični plin ARGON

žičnike

jekleni sekanec



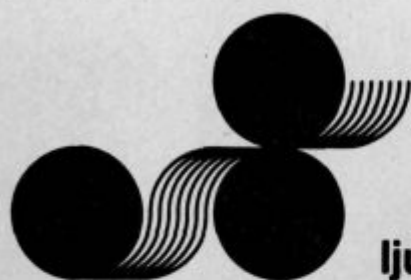
Vratni podboji pripravljeni za odpremo



# **MONTER**

## **DRAVOGRAD**

- projektiranje**
  - izdelava in montaža jeklenih konstrukcij**
  - opreme za industrijo in železarne**
  - dvigala in prenašala**
  - termične, akustične in hidroizolacije**
  - stavbeno kleparstvo in statik nosilci**
-



## slovenske železarne ljubljana

**ŽELEZARNA JESENICE:** proizvaja debelo in srednjo pločevino ter hladnovaljane trakove različnih kvalitet. Vlečeno, luščeno in brušeno jeklo. Valjano in vlečeno žico v različnih kvalitetah in površinskih obdelavah. Hladno oblikovane profile, ograje za avtoceste in vratne podboje. Žične proizvode: žeblice, bodečo žico, žico, elektrode in praške za varjenje, vrvi in patentirane žice, jeklen pesek, tehnične pline: kisik in argon.

**ŽELEZARNA RAVNE:** proizvaja toplovaljane in kovane profile ter vlečene, brušene in luščene palice, v vseh vrstah kvalitetnih in plemenitih jekel, jeklene odlitke, industrijske nože, brzorezna orodja in krožne žage za obdelavo jekla, kovin in lesa; pile, vzmeti, pnevmatske stroje in orodja, valje za hladno valjanje kovin, univerzalne in kovaške ekscentrične stiskalnice, sestavne dele za vagončke, diske za poljedelske stroje...

**ŽELEZARNA ŠTORE:** proizvaja toplovaljane ter vlečene in brušene palice, v vzmetnih in ostalih kvalitetnih vrstah jekla, specialno surovo železo za livarne, ulitke iz sive in nodularne litine, litoželezne valje, ki jih lahko obdelajo in obrusijo, kontilite profile....

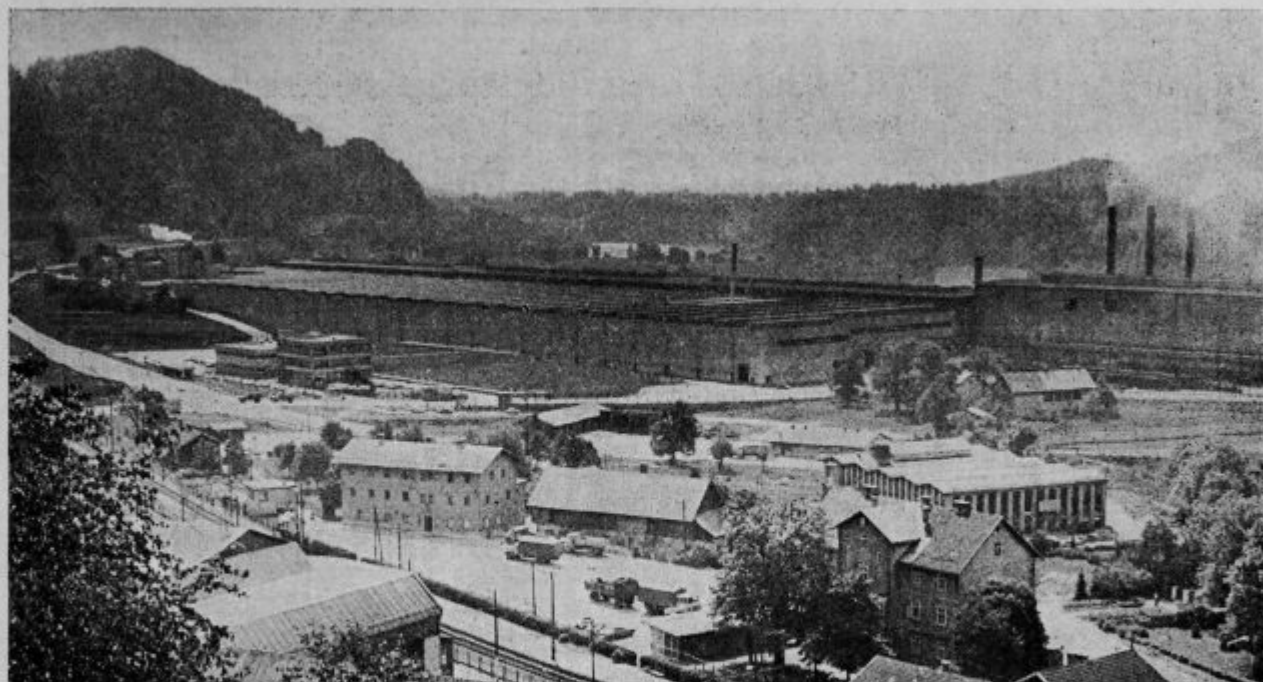
**TOVARNA VERIG LESCE:** proizvaja verige za široko potrošnjo, tehnične in siderne verige, opremo za verige, snežne in zaščitne verige za vozila, kovinske in lesne vijake, hangervijake, razcepke, kovice, odkovke in stiskance....

**PLAMEN KROPA:** proizvaja matične, nastavne in sponске vijake za splošne namene, matične in nastavne vijake srednje klase, maticе in kovice.

**TOVIL LJUBLJANA:** proizvaja vijake za kovine in za pločevino z ravnim in križnim utorom, samorezne vijake, vijake za les in kovice....

**ŽIČNA CELJE:** proizvaja iz žice razna pletiva, tkanine, mrežaste armature in predfabrikate, gablone, vibracijska sita in mreže za rudarstvo, žične transportne trakove, vzmeti, žične vložke in drugo žično konfekcijo.

**METALURŠKI INŠTITUT LJUBLJANA:** raziskuje na področjih: priprava mineralnih surovin, surovega železa, proizvodnje jekla, barvne metalurgije, livarstva, termične obdelave in plastične predelave jekla in kovin. Vršі kemijske, metalografske in fizikalne analize.



Pogled na novo hladno valjarno na Beli



## Vključitev jeklarskega prahu in škaje v klorirni postopek predelave piritnih ogorkov

UDK: 669.046.428  
ASM/SLA: B15r

Bogdan Zalar, V. Osterc, J. Wohinz

Članek obravnava rezultate raziskav o možno-skih prahov, ca. 6.000 t škaj raznih izvorov in ca. 3.500 t obruskov. stih dodajanja jeklarskih prahov in raznih škaj ter obruskov h klorirnemu postopku predelave piritnih ogorkov in nakazuje vzroke za določeno kvalitativno omejitev dodajanja. Podani so primerjalni podatki direktnih stroškov izdelave očiščenih in utrjenih peletov iz samih piritnih ogorkov in iz mešanic 85 % piritnih ogorkov in 8 % jeklarskih prahov ter 7 % škaj in obruskov. Procentualno je podano povečanje ustreznih investicijskih vlaganj.

### UVOD

Poleg piritnih ogorkov, ferosulfatnih ogorkov, odpadnega blata iz proizvodnje žveplene kisline (na bazi pirita) in magnetne frakcije reduciranega rdečega blata<sup>1</sup> lahko smatramo za sekundarne surovine za potrebe železarn še vrsto odpadnih prašnatih in fino-zrnatih materialov iz železarskih obratov. Nekaj od njih se redno vrača v primarne proizvodne procese (prah iz aglomeracijskih naprav in plavžev ter delno škaja), ostali pa (prah iz jeklarskih agregatov, razne vrste škaj in obruskov) ostajajo neizkoriščeni in problematični glede transporta, odlaganja in onesnaževanja.

Po kvantitativni oceni je v organizacijah združenega dela slovenskih železarn »proizvedenih« skupno okoli 40.000 t do 50.000 t takšnih materialov, od katerih bi jih bilo upravičeno in potrebno še izkoriščati ca. 22.000 t letno; ca. 12.000 t jeklar-

Ekonomičnost predelave in izkoriščanja teh odpadnih materialov je odvisna od lokacij posameznih obratov, kjer odpadni materiali nastajajo in kamor bi lahko predelane vračali v primarne procese pridobivanja železa in jekla. Odvisna je od vrste agregatov, narave vložka, od sistema lovljenja prašnatih materialov in načina transportiranja do kemijskih in fizikalnih lastnosti in količin posameznih materialov. Mnenja smo, da sta od vseh teh faktorjev najbistvenejša količina razpoložljivih materialov in lokacijski pogoji.

Postopki ponovnega izkoriščanja železonosnih drobnozrnatih odpadnih materialov so številni: od že omenjenega neposrednega vračanja v primarne procese, preko mineraloških separacij, procesov skepljanja (novejša Grangold in Cobo proces), pražilnih procesov do najbolj interesantnih redukcijsko pražilnih procesov (Kruppov-, SL/RN-postopek, japonska SDR- in SPM-postopka, Wälz-postopek itd.), od klorirnih postopkov in manj ugodnih hidrometalurških do lokalnih specifičnih postopkov (v skrčeni obliki so ti postopki, aplicirani predvsem na predelavo jeklarskih prahov, opisani v Strokovnem poročilu 601/MI<sup>2</sup>, kjer je navedena tudi številna ustrežna strokovna literatura). Zanimivo je, da so razvoj postopkov predelave takšnih materialov v zadnjih letih pospeševale le velike jeklarske družbe v svetu. Tako n. pr. v ZDA Armco Steel Corporation, National Steel Corporation, The Steel Company v Kanadi, Sumitomo Heavy Industry na Japonskem, British Steel Corporation v Angliji, v Evropi pa so prevzele iniciativo velike družbe neželeznih kovin, kot Berzelius, Duisburgerkupperhütte, tudi Lurgi, predvsem z ozirom na vzporedno pridobivanje cinka, svinca, bakra in drugih kovin. Tako velike družbe so lahko razvile postopke na osnovi velikih količin razpoložljivih materialov; najugodnejši v tem

Mgr. Bogdan Zalar, dipl. ing. met., samostojni raziskovalec, SZ Metalurški inštitut, Ljubljana

Prof. dr. Valerija Osterc, dipl. ing. geol., Institut za geologijo, FNT, VTO Montanistika, Ljubljana

Janez Wohinz, dipl. ing. kem., samostojni raziskovalec, SZ Metalurški inštitut, Ljubljana

oziru so redukcijsko-pražilni postopki, za katere je minimalna in rentabilna količina predelave od 120.000 do 400.000 t letno in ki so tudi tehnološko vsestransko zadovoljivi. V ZDA ravno z vidika količin materialov planirajo centralizirati tri večja središča predelave (Pittsburgh Pa., Chicago Ill. in Detroit Mich.), ki bi zajemala vse večje železarnice v teh regijah<sup>10</sup>. V ZRN stremi za takšnim centrom DKH (Duisburgerkupferhütte).

## VZROKI ZA VKLJUČITEV

Omenjena kvantitativna ocena razpoložljivih obravnavanih odpadnih materialov v Sloveniji vsiljuje mnenje, da so lokalne, četudi vsaj minimalno tehnološko ugodne rešitve, po posameznih železarnah nerentabilne. Tendence k čim večjim možnostim recikliranja nepredelanih obravnavanih odpadnih materialov v lastne agregate primarne proizvodnje so zato realne. Tudi skupne še preostale količine, t.j. ca. 22.000 t letno, so premajhne za separatno predelavo na velikoindustrijskih napravah. Zato smo pristopili k raziska-

vam o možnostih vključitve teh materialov v postopek predelave piritnih ogorkov, za katere je izdelan idejni projekt in okvirni izračun investicijskih vlaganj ter okvirni izračun direktnih proizvodnih stroškov predelave<sup>3</sup>. Naprava je predvidena za predelavo 100.000 ton materialov na osnovi sedaj razpoložljivih in že raziskanih količin 48.000 t/leto piritnih ogorkov, 42.000 t/leto mešanih ferosulfatnih-piritnih ogorkov in 6.000 t/leto odpadnega blata iz proizvodnje žveplene kisline. Skupno bi bilo teh materialov največ 96.000 t letno. Vključitev 22.000 t dodatnih materialov ne bi pomenilo preobremenitev naprav, saj je pri vseh investicijskih postavkah opreme predvidena določena rezerva in je predvideno 330 proizvodnih dni letno ter je pri količini ogorkov upoštevana maksimalna možna vrednost. Shema posameznih tehnoloških faz in agregatov je prikazana na sliki 1.

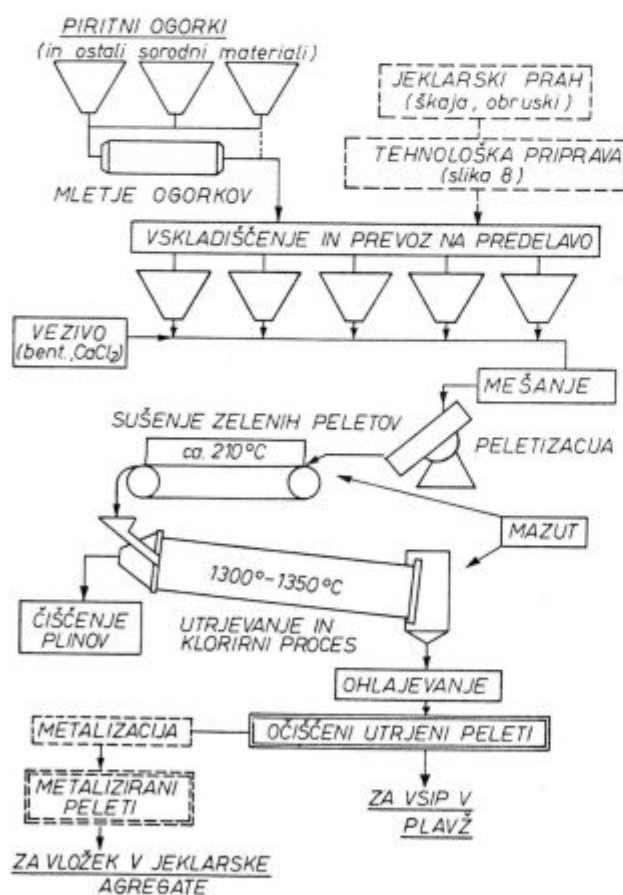
## OSNOVE IZBRANEGA KLORIRNEGA POSTOPKA

S številnimi raziskavami, polindustrijskimi poskusi in primerjalnimi študijami<sup>1</sup> ustreznih tehnologij smo za kvaliteto razpoložljivih ogorkov v Sloveniji ugotovili, da je optimalni klorirni postopek predelave pri visokih temperaturah. Zelene pelete ustreznih velikosti smo izdelali z vezivom  $\text{CaCl}_2$ , ki je obenem služil pri utrjevalnih temperaturah 1300 °C v rotacijski peči kot klorirno sredstvo. Po tem procesu najprej oksidirajo še prisotni sulfidi kovin v ogorkih in pri tem sproščajo žveplov dioksid, oz. v določenih pogojih tudi žveplov trioksid. Le-ta in ostali oksidi povzročajo skupno s kisikom razkroj  $\text{CaCl}_2$  do elementarnega klorida (zato obvezna oksidativna atmosfera!), ki je nadalje aktivno klorirno sredstvo. Takoj reagira s prisotnimi kovinskimi oksidi ( $\text{ZnO}$ ,  $\text{CuO}$ ,  $\text{Cu}_2\text{O}$ , delno  $\text{PbO}$  itd.) v ustrezne kloride, ki imajo pri utrjevalnih temperaturah zadostno napetost par za zadovoljivo prehlapevanje. Temperatura utrjevanja bi lahko bila praviloma nižja (1200 °C), izbrana višja je potrebna za popolno razžveplanje, oziroma za razkroj nastalega  $\text{CaSO}_4$ .<sup>4</sup>

Tehnologija kloriranja je izbrana zaradi potrebnega odstranjevanja iz piritnih ogorkov cinka in bakra<sup>2,5</sup>. Produkt izbranega procesa so utrjeni peleti s trdnostjo nad 50 kp/pelet, očiščeni oligoelementov (s specifičnostjo, ki veljajo za arzen<sup>6</sup>) in so pripravljeni za vsip v plavž ali za nadaljnji proces metalizacije<sup>7</sup>.

## KVANTITATIVNA OCENA JEKLARSKIH PRAHOV, ŠKAJ IN OBRUSKOV V PRIERJAVI S PIRITNIMI OGORKI

Značilnosti preiskovanih železonosnih odpadnih materialov, ki bistveno vplivajo na nadaljnjo tehnologijo predelave, so relativno fina zrnatost,



Slika 1:

Tehnološke faze predvidenega klorirnega postopka predelave piritnih ogorkov v katerega bi vključili še jeklarske prahove in škaže.

Fig. 1

Technological stages of the designed chlorination process for pyrite cinder with added steel-plant dusts and scales

Tabela 1: Kemijske analize preiskovanih materialov

(%)	Jeklarski prahovi			Škaje raznih izvorov						Piritni ogorki <sup>1</sup>
	J <sub>1</sub>	R <sub>1</sub>	S <sub>1</sub>	RŠ <sub>VB</sub>	RŠ <sub>VS</sub>	RŠ <sub>KA</sub>	RŠ <sub>KB</sub>	VŠ <sub>1</sub>	VŠ <sub>2</sub>	
Fe <sub>tot</sub>	32,94	35,78	32,57	93,17	91,05	87,38	92,76	95,60	80,34	60,60
Fe <sup>+++</sup>	31,74	32,86	31,00	1,82	4,05	1,50	4,86			57,30
Fe <sup>++</sup>	0,37	1,14	0,55	7,55	7,10	8,78		2,10	38,43	3,30
Fe <sub>kov</sub>	0,83	1,78	1,02	83,80	79,90	78,10	87,90	93,50	41,91	—
Cu	0,32	0,32	0,27	— izpod 0,05 %		— izpod 0,05 %		0,07	0,19	0,215
Zn	6,40	12,04	13,50	< 0,01		< 0,01		0,10	0,10	1,11
Pb	5,90	7,07	6,40	< 0,01		< 0,01		0,03	0,12	0,015
CaO	7,25	5,10	6,53	0,25		0,12		0,21	0,35	0,65
MgO	5,04	2,70	2,21					0,05		0,10
SiO <sub>2</sub>	3,50	1,75	3,10	0,87	0,75	4,50	0,72	0,83	0,43	5,25
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,35	2,61	0,60					0,27	0,35	0,35
P		0,19								0,02
S		1,05		— izpod 0,10 %		— izpod 0,10 %		0,02	0,11	0,02
K <sub>2</sub> O	1,20		1,10	0,01	0,01					—
Na <sub>2</sub> O	0,51		2,20	0,08	0,01					—
Cl	0,14		0,04							
MnO		6,11		0,61	0,66	0,70	0,77	0,63	0,73	0,007
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>				0,23	2,29	1,90	1,10			0,0005

<sup>1</sup> Analiza predstavlja povprečje samih piritnih ogorkov in mešanice ferosulfata in piritnih ogorkov iz Celja

Tabela 2: Nekatere osnovne fizikalne lastnosti preiskovanih materialov

(%)	Jeklarski prahovi			Škaje raznih izvorov <sup>1</sup>						Piritni ogorki <sup>2</sup>
	J <sub>1</sub>	R <sub>1</sub>	S <sub>1</sub>	RŠ <sub>VB</sub>	RŠ <sub>VS</sub>	RŠ <sub>KA</sub>	RŠ <sub>KB</sub>	VŠ <sub>1</sub>	VŠ <sub>2</sub>	
Sejalna analiza (%):										
+ 250 μm	41,40	17,90	24,50	14,90	9,25	9,50	2,30	22,0	0,50	2,60
+ 160 μm	18,80	—	23,40	35,80	31,10	17,25	30,40	—	—	—
+ 125 μm	11,90	21,10	15,20	9,80	14,36	15,54	17,40	69,95	1,40	7,90
+ 90 μm	9,40	20,20	10,60	10,50	18,14	14,50	18,30	7,70	3,70	17,73
+ 63 μm	14,90	12,10	14,50	9,90	9,80	30,21	19,80	0,60	7,70	22,38
+ 40 μm	3,50	18,10	11,70	10,50	11,25	9,10	10,90	0,05	15,80	29,32
— 40 μm	0,10	10,40	0,10	8,90	6,10	3,90	0,90	—	70,90	20,07
Nasipna teža:										
kg/dm <sup>3</sup>	1,48	0,93	0,88		3,82	3,15		4,15	2,11	1,51
Specifična teža:										
kg/dm <sup>3</sup>	3,54	4,10	4,34		7,25	7,49		7,59	5,71	4,42
Specifična površina:										
cm <sup>2</sup> /g	3350	6300	8868		990	1220		250	2116	2100

<sup>1</sup> Sejalne analize škaj po drobljenju; le VS<sub>1</sub> predstavlja vzorec t.i. grobe škaje, VS<sub>2</sub> pa fine škaje

<sup>2</sup> Analize veljajo za povprečni vzorec samih piritnih ogorkov in mešanih ferosulfatov in piritnih ogorkov

vsebnost vode (pri materialih, dobljenih z mokrim sistemom lovljenja) in prisotnost nekaterih oligoelementov in alkalij.

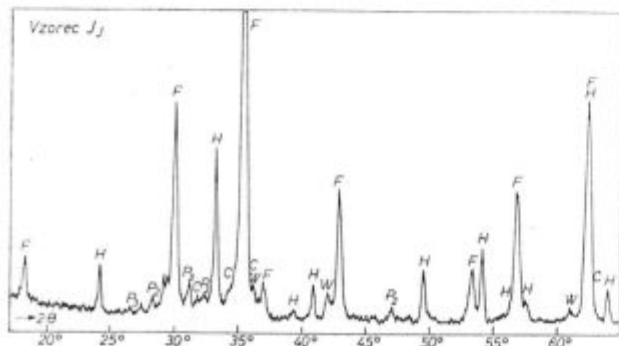
Kemijske in nekatere fizikalne lastnosti za preiskovane vrste jeklarskih prahov in škaj pri-

kazujemo v tabelah 1 in 2. Za primerjavo prikazujemo tudi ustrezne analize piritnih ogorkov.

Vsebnost železa v jeklarskih prahovih je v primerjavi z vsebnostjo železa v piritnih ogorkih relativno nizka in dodajanje le-teh piritnim

ogorkom bi v povprečju znižalo kvaliteto izdelanih peletov; to negativno stran lahko delno popravimo z istočasnim dodajanjem razpoložljivih količin škaj in obruskov. Vsebnosti cinka in svınca se v jeklarskih prahovih zelo spreminjata v odvisnosti od kvalitete vložka. Pri škajah je najbistvenejša visoka vsebnost železa, ostali elementi in spojine so za pogoje nadaljnje predelave in uporabo prisotni v nebitvenih količinah; praviloma so minimalno prisotne tudi zlitinske kovine določenih vrst specialnih jekel, iz katerih škaja nastaja. Za obruske iz valjarne je značilna visoka vsebnost železa (85 % do 96 %); vendar je s preiskavami ugotovljeno, da je na splošno kvaliteta zelo odvisna od načina dela (predvsem vsebnost  $\text{SiO}_2$ !).

Z ozirom na zrnatost so jeklarski prahovi običajno manj ugodni za peletizacijo kot piritni ogorki, predvsem zaradi relativno velike specifične površine. Nekatere vrste škaj vsebujejo bolj grobe dele listnatih oblik, ki so dobro drobljivi. Tudi obruski so bolj grobi in se praviloma ne dajo drobiti. Najneugodnejše za nadaljnjo predelavo je



Slika 2:

Rentgenogram vzorca jeklarskega prahu J,  
 F = franklinit (Zn, Mn, Fe)  $\cdot$  (Fe, Mn) $\cdot$ O<sub>4</sub>, H = hematit  
 ( $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), C = cinkit (ZnO), W = wüstit (Fe, Mg, Mn) O,  
 P<sub>1</sub> = Pb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, P<sub>2</sub> = Pb<sub>3</sub>O<sub>4</sub>

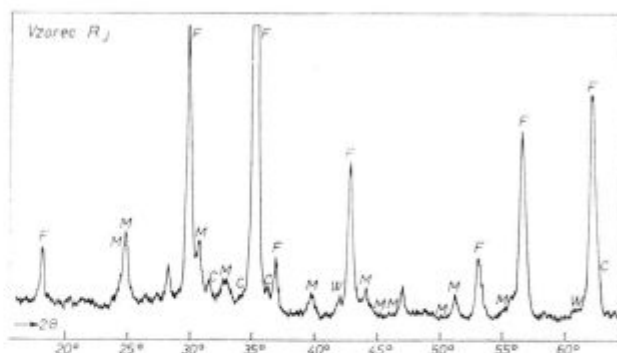
Fig. 2

X-ray picture of the steel-plant dust sample J  
 F — franklinite (Zn, Mn, Fe)  $\cdot$  (Fe, Mn) $\cdot$ O<sub>4</sub>, H — haematite  
 ( $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), C — zincite (ZnO), W — wustite (Fe, Mg, Mn) O,  
 P<sub>1</sub> — Pb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, P<sub>2</sub> — Pb<sub>3</sub>O<sub>4</sub>

velika vsebnost vlage v materialih iz mokrih lovilnih naprav ( $J_1 = 18,77\%$ ,  $RS_{VB} = 17,0\%$ ); v takšnih primerih je nujno potrebno predhodno sušenje.

Mikroskopske preiskave zrn so praktično pri vseh preiskovanih materialih ugotovile neokroglaste, nepravilne in včasih celo ostrorobe oblike, kar je za tehnologijo sprijemanja po peletizacijskem postopku ugodno.

Za kemizem procesa kloriranja je bistveno važno, v kakšnih spojinah se v obravnavanih materialih nahajajo prisotne neželezne kovine. Zato smo vzorce jeklarskih prahov J<sub>1</sub>, R<sub>1</sub> in Š<sub>1</sub>, ki lahko vsebujejo relativno znatne količine cinka, svınca in tudi bakra, preiskali na rentgenskem difrakcijskem aparatu Philips z žarki Cu<sub>αk</sub> pri anodnem



Slika 3:

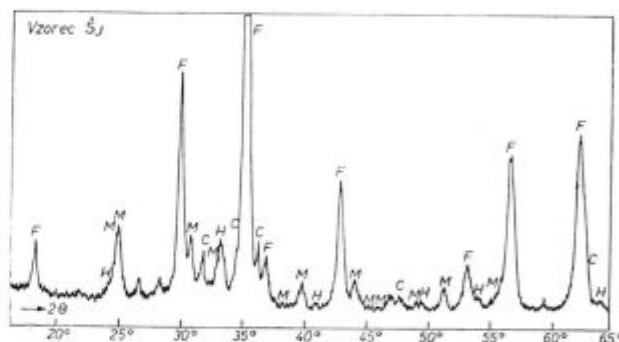
Rentgenogram vzorca jeklarskega prahu R,  
 F = franklinit (Zn, Mn, Fe)  $\cdot$  (Fe, Mn) $\cdot$ O<sub>4</sub>, W = wüstit  
 (Fe, Mg, Mn) O, M = matlockit (Pb<sub>2</sub>FCl), C = cinkit (ZnO)

Fig. 3

X-ray picture of the steel-plant dust sample R,  
 F — franklinite (Zn, Mn, Fe)  $\cdot$  (Fe, Mn) $\cdot$ O<sub>4</sub>, W — wustite  
 (Fe, Mg, Mn) O, M — matlockite (Pb<sub>2</sub>FCl), C — zincite (ZnO)

toku 20 mA in pospeševalni napetosti 40 kV v kotnem območju  $2\theta = 4^\circ$  do  $70^\circ$ . Dobljeni rentgenogrami vseh treh posnetih vzorcev so prikazani na slikah 2, 3 in 4.

V vzorcu J, smo ugotovili (slika 2), da so prisotni naslednji minerali: franklinit (Zn, Mn, Fe)  $\cdot$  (Fe, Mn) $\cdot$ O<sub>4</sub> ali krajše ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, dalje hematit ( $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), cinkit (ZnO), wüstit (Fe, Mg, Mn) O, Pb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Pb<sub>3</sub>O<sub>4</sub>. Prisotnost zadnjih dveh komponent ni povsem zanesljivo ugotovljena, ker je na voljo premalo odbojev. Prav tako je na rentgenogramu nekaj majhnih odbojev, ki jih nikakor nismo mogli zanesljivo identificirati kljub uporabi najnovejše rentgenske literature. Neidentificirani odboji so skupni več komponentam, tako Pb-oksidi, margarosanitu (Ca<sub>2</sub>PbSi<sub>3</sub>O<sub>9</sub>) enstatitu (Mg, Fe, Ca) SiO<sub>3</sub>, nekaterim alkalnim in zemljoalkalnim Pb-Zn-hidroksidom in celo fluoritu (CaF<sub>2</sub>). Za točnejšo identifikacijo bi bilo potrebno iz vzorca odstraniti franklinit, ki je povsem prevladujoča sestavina vzorca. Enako velja tudi za ostala dva vzorca.



Slika 4:

Rentgenogram vzorca jeklarskega prahu S,  
 F = franklinit (Zn, Mn, Fe)  $\cdot$  (Fe, Mn) $\cdot$ O<sub>4</sub>, C = cinkit (ZnO),  
 M = matlockit (Pb<sub>2</sub>FCl), H = hematit ( $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)

Fig. 4

X-ray picture of the steel-plant sample S,  
 F — franklinite (Zn, Mn, Fe)  $\cdot$  (Fe, Mn) $\cdot$ O<sub>4</sub>, C — zincite (ZnO),  
 M — matlockite (Pb<sub>2</sub>FCl), H — haematite ( $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)

V vzorcu R<sub>7</sub> smo identificirali franklinit, wüstit, matlokit (PbFCl) in cinkit. Nekaj odbojev je ostalo neidentificiranih iz enakega razloga kot pri vzorcu J<sub>1</sub>. Tudi v vzorcu S<sub>7</sub> smo ugotovili franklinit, cinkit, matlokit in hematit in kot pri prvih dveh je tudi pri tem ostalo neidentificiranih nekaj slabih odbojev.

Bistvena za raziskave o možnostih vključitve jeklarskih prahov v omenjeni klorirni postopek predelave piritnih ogorkov je ugotovitev, da je v vseh treh vzorcih jeklarskih prahov cink pretežno vezan v mineral franklinit in le delno v cinkit. Za svinec je sicer ugotovljeno, da je delno v oksidni obliki, menimo pa, da se lahko svinčevi oksidi nahajajo v vzorcih tudi v amorfni obliki, kar pa z rentgensko difrakcijo ni mogoče ugotoviti. Neidentificirane odboje bi v rentgenogramih lahko opredelili, če bi iz vzorcev, kot je omenjeno, odstranili prevladujočo komponento franklinit. Predvsem bi bila za raziskave še zanimiva mineraloška oblika minimalno prisotnega bakra, vendar menimo, da so bile za osnovni cilj raziskav preiskave zadostne.

## POSKUSI IN REZULTATI POSKUSOV

S številnimi poskusi raznih mešanic piritnih ogorkov, jeklarskih prahov, škaj in obruskov smo hoteli ugotoviti eventualno potrebne dodatne tehnološke ukrepe ali spremembe v okviru privzete tehnologije predelave za izdelavo kvalitetnih utrjenih peletov. Osnovno vodilo je bila zahteva po mešanici takšne sestave, ki bi ustrezala utežnemu razmerju dejanskega letnega povprečja razpoložljivih obravnavanih materialov, t. j. ca 85 % piritnih ogorkov, ca. 8 % jeklarskih prahov in ca. 7 % škaj in obruskov. Izjemoma smo izbrali pri poskusih tudi »skrajno« mešanico z 50 % jeklarskih prahov in škaje (30 % jeklarskih prahov, 12 % škaje in 8 % obruskov), ki predstavlja več ali manj neugodno mešanico z ozirom na zrnatost. Pri posameznih grupah poskusnih mešanic smo spreminjali tudi dodatek klorirnega sredstva CaCl<sub>2</sub> od 4 % do 15 %.

Oznake bistvenih vrst poskusnih mešanic:

— PM (85 : 15): 85 % piritnih ogorkov in 15 % jeklarskih prahov, škaj in obruskov (8 % + 5 % + 2 %)

— PM (50 + 50): 50 % piritnih ogorkov in 50 % jeklarskih prahov, škaj in obruskov (30 % + 12 % + 8 %)

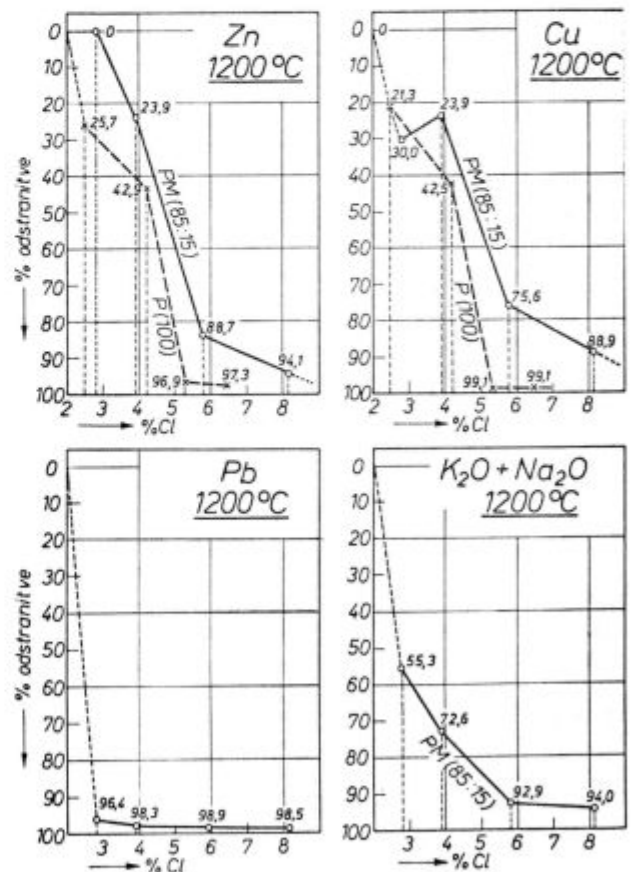
— PM (100): 100 % piritnih ogorkov

Izdelava zelenih peletov PM (85 : 15) je potekala normalno. Pri peletih PM (50 : 50) je proces skapljanja na peletizacijskem krožniku sicer potekal, vendar veliko manj intenzivno; poleg izoblikovanih peletov normalne velikosti ostaja še mnogo drobnozrnatega materiala. Trdnosti dobljenih zelenih peletov so nizke (0,6 do 1,2 kp/pelet). S su-

šenjem na prostem se trdnosti pri zelenih peletih z večjim dodatkom CaCl<sub>2</sub> še znižajo in pri dodatku nad 15 % se po nekaj dneh spremenijo v blatno stanje. Sušeni zeleni peleti pri 110° C imajo zadovoljive trdnosti za nadaljnje manipulacijske operacije (2,5 do 7,0 kp/pelet).

Utrjevalne temperature 1200° C so zadostne tudi za pelete PM (85 : 15); dosežene trdnosti so 80 do 120 kp/pelet. Višje temperature praviloma tudi pri teh peletih povečujejo trdnostne lastnosti na 150 do 300 kp/pelet. Pri večjih dodanih količinah jeklarskih prahov in škaj, pri peletih PM (50 : 50) n. pr., je pri 1200° C dosežena trdnost še nezadovoljiva, okoli 15 kp/pelet, pri 1350° C pa je ta vrednost že 143 kp/pelet. Iz poskusov lahko tudi sklepamo na nižje trdnostne lastnosti pri ustreznih utrjevalnih temperaturah pri peletih z večjo vsebnostjo klorirnega veziva.

Odstranjevanje prisotnih neželeznih kovin pri procesu utrjevanja je za pelete PM (85 : 15) in PM (50 : 50) v primerjavi s peleti iz samih piritnih ogorkov PM (100) nekoliko problematičnejše. V piritnih ogorkih se skoro vse prisotne neželezne kovine nahajajo pretežno v oksidni obliki in je za

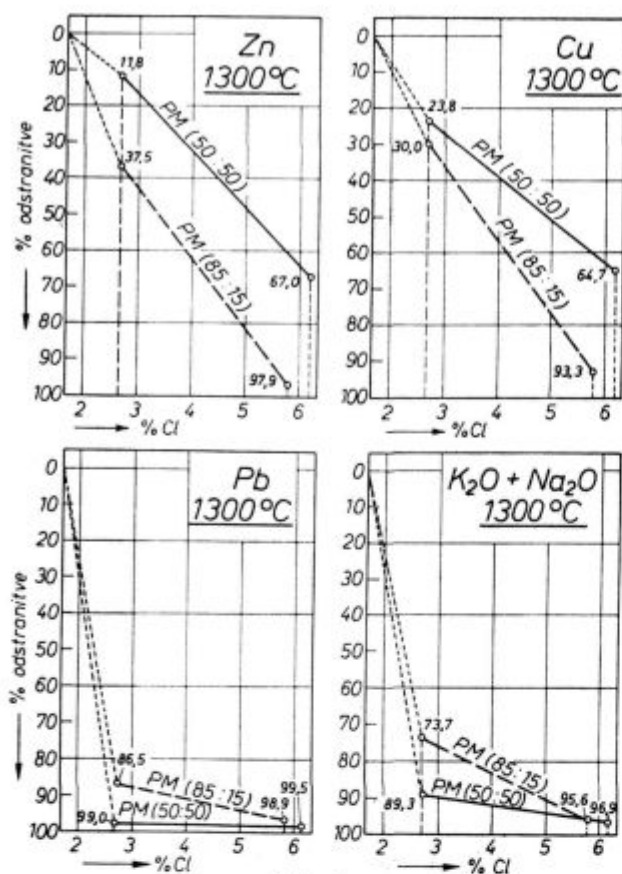


Slika 5:

Stopnja odstranjevanja Zn, Cu, Pb in K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O v odvisnosti od vsebnosti Cl' pri 1200° C za označene vrste peletov.

Fig. 5

Degree of removal of Zn, Cu, Pb, and K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O depending on the Cl' content at 1200° C and the addition of steel plant dust to the mixture for marked pellets



Slika 6: Stopnja odstranjanja Zn, Cu, Pb in K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O v odvisnosti od vsebnosti Cl' pri 1300°C in v odvisnosti od dodatka jeklarskega prahu k mešanici za označene vrste peletov

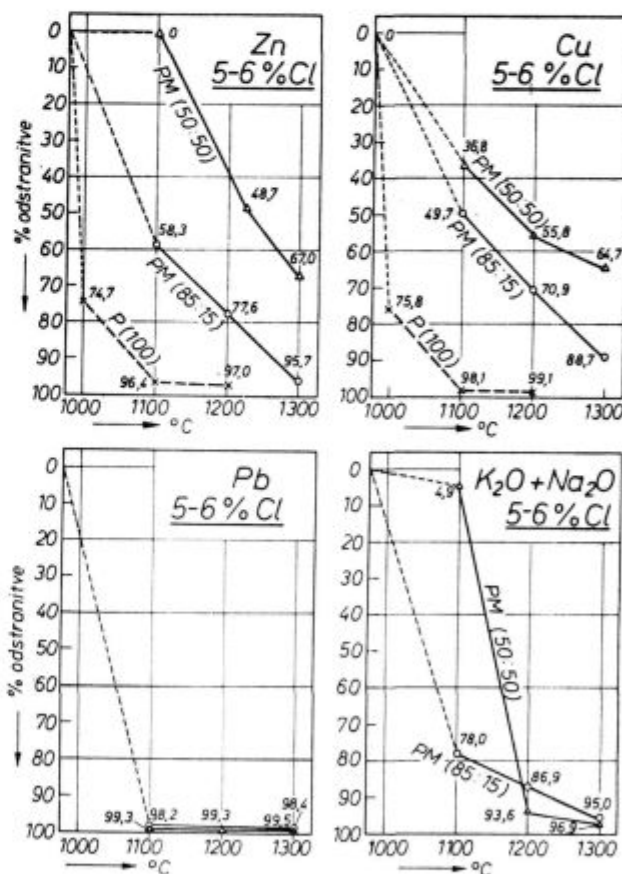
Fig. 6 Degree of removal of Zn, Cu, Pb, and K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O depending on the Cl' content at 1300°C and the addition of steel-plant dust to the mixture for marked pellets

le-te opisani kemizem procesa ustrezen. Z rentgenskimi preiskavami jeklarskih prahov pa smo ugotovili (slike 2, 3 in 4), da je del cinka v teh materialih v kompleksnih feritnih oblikah, svinec skoraj ves v oksidni obliki, za baker pa dosedanje preiskave še niso dale jasne razlage. To dejstvo je po našem mnenju vzrok slabši stopnji odstranjanja iz preiskovanih mešanic z večjim deležem jeklarskih prahov. Zanimivo bi bilo izdelati teoretsko študijo takšne empirične ugotovitve. Na slikah 5, 6 in 7 podajamo stopnje odstranjanja v odvisnosti od temperature, količin dodatka jeklarskih prahov k piritnim ogorkom in količin klorinnega veziva za cink, baker, svinec in K<sub>2</sub>O ter Na<sub>2</sub>O. Ti so namreč glavni dejavniki tako imenovanega notranjega materialnega krogotoka v posameznih horizontih plavža, ki povzročata znane obratovne težave procesa proizvodnje<sup>2, 8, 9</sup>.

Pri peletih PM (85 : 15) lahko dosežemo zadovoljivo odstranjanje cinka in bakra z ca. 2 % večjim dodatkom klorinnega sredstva (slika 5), predvsem pa z višjo temperaturo, nad 1300°C (slika 7). Z večjim dodatkom jeklarskih prahov

(n. pr. pri peletih PM (50 : 50)) lahko iz teh razlogov proporcionalno poslabšujemo stopnje odstranjanja (slika 6) cinka in bakra. Značilno je ponašanje svinca, ki ves prehlipe že pri nižjih temperaturah in tudi pri nižjih vsebnostih klora v peletih (sliki 5 in 7). Zaradi možnosti neposrednega prehlapenja svinčevih oksidov pri pogojih utrjevanja (kritično vrednost parcialnega tlaka imajo pri temperaturah okoli 930°C do 960°C<sup>2,3</sup>) odstranjanje svinca namreč ni vezano na klorilni proces. Zadovoljivo je tudi pri utrjevalnih temperaturah odstranjanja K<sub>2</sub>O in Na<sub>2</sub>O in le-to ne zahteva posebnih dodatnih ukrepov.

Podatke o vsebnosti bistvenih elementov v zelenih in utrjenih preiskovanih peletih in v peletih iz samih piritnih ogorkov<sup>1</sup> navajamo v tabeli 3. Podatki predstavljajo povprečne vsebnosti številnih poskusov in veljajo za optimalne osnovne tehnološke pogoje T = 1300°C do 1350°C in % Cl = 4 do 6 %. Informativno navajamo vsebnost 0,059 % As v peletih PM (85 : 15) in 0,051 % As v peletih PM (50 : 50); približno enaka vsebnost arzena ostaja tudi pri utrjenih peletih<sup>6</sup>.



Slika 7: Stopnja odstranjanja Zn, Cu, Pb in K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O v odvisnosti od temperature pri vsebnosti 5-6% Cl' za označene vrste peletov.

Fig. 7 Degree of removal of Zn, Cu, Pb, and K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O depending on the temperature at 5 to 6% Cl' for marked pellets

Tabela 3: Prikaz vsebnosti bistvenih elementov v zelenih in utrjenih peletih, izdelanih v optimalnih pogojih

%	PM (100)		PM (85:15)		PM (50:50)	
	Zeleni	Utrjeni	Zeleni	Utrjeni	Zeleni	Utrjeni
Fe <sub>tot</sub>	59,30	62,83	58,64	62,90	60,10	64,10
Zn	0,90	0,07	1,15	0,38	1,10	0,08
Cu	0,19	0,03	0,20	0,067	0,21	0,09
Pb	0,45	0,007	1,30	0,007	0,015	0,0004
K <sub>2</sub> O + Na <sub>2</sub> O	0,39	0,022	0,81	0,025	—	—
Ca	5,20	6,43	5,79	6,78	4,73	5,30
S	1,72	0,07	1,15	0,07	1,30	0,25

### POVZETKI Z OZIROM NA CILJ RAZISKAV

a.) Iz rezultatov poskusov sledi sklep, da je razpoložljive letne količine ca. 12.000 t jeklarskih prahov in ca. 10.000 t škej in obruskov možno vključiti v projektirani postopek predelave piritnih ogorkov.

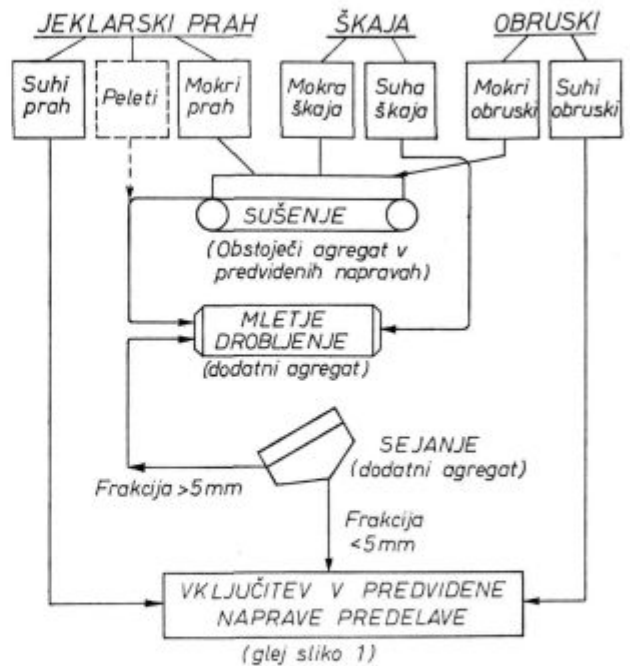
b.) Kvaliteta peletov PM (85:15) iz 85 % piritnih ogorkov in 15 % jeklarskih prahov, škej in obruskov je praviloma povsem enaka peletom iz samih piritnih ogorkov. Vsebnost železa v utrjenih peletih s trdnostjo nad 150 kp/pelet je 58 % do 63 %, žvepla do 0,2 max., nekoliko je povečana vsebnost kalcija, vsebnost neželeznih kovin je minimalna in absolutno v dopustnih mejah z ozirom na nadaljnjo uporabo; problematika arzena ostaja enaka kot pri peletih iz samih piritnih ogorkov<sup>1,6</sup>.

c.) Tehnološki normativi skupne predelave piritnih ogorkov in jeklarskih prahov, škej ter obruskov v razmerju 85:15 na enoto proizvedenih peletov se z ozirom na normative predelave samih piritnih ogorkov ustrezno spremenijo pri porabi surovin, poveča se poraba vezivnega in klorirnega sredstva CaCl<sub>2</sub> za največ 30 %, nekoliko se poveča poraba električne energije in še manj stroški delovne sile.

d.) Z ozirom na nekatere spremenjene tehnološke normative predelave in dodatne prevozne stroške za novo obravnavane materiale se direktni stroški predelave v primerjavi z le-temi za predelavo samih piritnih ogorkov povečajo največ za ca. 13 %.

V tabeli 4 navajamo procentne odnose posameznih stroškovnih postavk za proizvodnjo peletov iz samih piritnih ogorkov P(100) in za proizvodnjo preiskovanih peletov PM (85 : 15).

e.) Na sliki 8 prikazujemo shemo vključitve dodatnih predelovalnih tehnoloških faz, ki bi jih bilo potrebno dodatno uvesti ob vključitvi obravnavanih količin jeklarskih prahov, škej in obruskov v že projektirano tehnologijo predelave samih piritnih ogorkov (slika 1).



Slika 8: Shema tehnološke predpriprave razpoložljivih jeklarskih prahov, škej in obruskov za vključitev v predvidene naprave za predelavo piritnih ogorkov.

Fig. 8 Scheme of technological pretreatment of available steel-plant dusts, scale, and grinding dusts for adding to the designed chlorination process for pyrite cinder.

f.) Z ozirom na dodatne potrebne tehnološke faze predpriprave jeklarskih prahov, škej in obruskov se skupna vrednost investicijskih naložb za predvidene naprave za same piritne ogorkove<sup>3</sup> ustrezno poveča. V tabeli 5 navajamo procentni odnos potrebnega povečanja investicijskih vlaganj po posameznih postavkah.

Tabela 4: Procentni odnos direktnih stroškovnih postavk za tono proizvedenih peletov iz samih piritnih ogorkov in peletov iz mešanice piritnih ogorkov jeklarskih prahov, škej in obruskov

	P (100) %	PM (85:15) %
— Piritni in ferosulfatni ogorki	26,22	21,97
— Jeklarski prah, škaja in obruski	—	6,30
— Prevozni stroški	—	3,39
— Klorirno sredstvo in vezivo CaCl <sub>2</sub> *		
— Vezivo bentonit	0,15	0,15
— Industrijska voda	0,23	0,23
— Mazut*	20,89	20,89
— Električna energija	10,14	11,59
— Delovna sila	17,40	17,91
Skupno:	100,00	113,64

\* Pri stroških porabe klorirnega sredstva CaCl<sub>2</sub> in mazuta so relativno precejšnje rezerve!

Tabela 5: Procentni odnos posameznih postavk investicijskih vlaganj za projektirane naprave za predelavo samih piritnih ogorkov in za naprave v primeru vključitve jeklarskih prahov, škaj in obruskov

	P (100) %	PM (85:15) %
A — Oprema	53,80	56,83
B — Gradbena in montažna dela	15,72	16,22
C — Nepredvideni stroški (15 % od A + B)	10,43	10,96
D — Obvezne dajatve za energijo (5 % od A + B)	3,48	3,65
E — Projektiranje (5 % od A + B)	3,38	3,65
Skupno investicijsko vlaganje	86,91	91,31
F — Predvidene podražitve (15 %)	13,09	13,76
Skupno vrednost investicije	100,00	105,07

### SKLEPNE PRIPOMBE

Če se bodo realizirale predvidene idejno projektirane naprave za pripravo piritnih ogorkov za vsip v plavž ali za postopek metalizacije, je tehnološko smotrno in rentabilno vključiti v postopek še razpoložljive količine jeklarskih prahov, škaj in obruskov. Predelava samih teh materialov v posameznih železarnah pa tudi skupno na enem mestu ekonomsko ne bi bilo povsem utemeljena.

Predvideno je, da se bo v nekaterih jeklarskih obratih sistem lovljenja prahov dopolnil s peletiziranjem v kvalitativno nezahtevne pelete zgolj zaradi lažjih transportnih manipulacij in zmanjšanja prašenja. S poskusi smo potrdili, da to ne bo vplivalo na predvideno tehnologijo vključitve jeklarskih prahov v proces.

Bistveni vpliv na direktne stroške predelave ima ustrežna poraba relativno dragega klorirnega in vezivnega sredstva  $\text{CaCl}_2$ . Z ozirom na precej

spreminjajočo se vsebnost neželeznih kovin v jeklarskih prahovih bi bile nujne točne sprotne analize in vzporedne sprotne določitve potrebnega dodajanja  $\text{CaCl}_2$ . Menimo, da bi se lahko s tem vsaj za 10 % znižal sedaj predvideni normativ porabe. Nadalje bi v primeru realizacije projekta pripočali poiskati cenejši  $\text{CaCl}_2$  (industrijsko proizvedeni), kot je predviden v rentabilnostnih izračunih, čeprav na račun kvalitete.

### Literatura

1. Poročila Metalurškega inštituta v Ljubljani št. 595, 857, 901, 906, 909, 69, 96, 326, 407, 531 (Kuharič, Lamut, Wohinz, Zalar)
2. B. Zalar, J. Wohinz, Raziskave vključitve železarskih poletin v predelavo piritnih ogorkov, Poročilo Metalurškega inštituta št. 601, Ljubljana, 1978
3. B. Zalar, V. Ružič, T. Krušič, J. Naraks, B. Bregant, Okvirna predkalkulacija za izgradnjo naprave za peletizacijo in utrjevanje peletov iz piritnih ogorkov, Interna publikacija Slov. železarne, Cinkarna, Metalurški inštitut, Ljubljana 1976
4. B. Zalar, Aplikacija zakonitosti razžveplanja v proces utrjevanja peletov iz piritnih ogorkov, Železarski zbornik 8, št. 3, 1974, Jesenice
5. W. Dressel, G. Barnard, Removal of Lead and Zinc and the Production of Prereduced Pellets From Iron and Steel making Wastes, RI 7927 Bureau of Mines, 1974, USA
6. B. Zalar, J. Wohinz, Aplikacija termodinamičnih in kinetičnih zakonitosti prehlapevanja As-sulfidov, As-oksidi in As-kloridov v praktično tehnologijo priprave piritnih ogorkov za proizvodnjo grodlja, Poročilo Metalurškega inštituta št. 251, Ljubljana, 1974
7. Prešern A., Manojlović G., Zalar B., Lamut J., Studij tehnoloških in ekonomskih činiteljev pri uporabi metaliziranega vložka za izdelavo kvalitetnega jekla v obločni elektro peči, Poročilo Metalurškega inštituta št. 407, Ljubljana 1975
8. W. Wenzel, H. W. Gudenau, K. P. Mey, Kreislaufstoffe im Hochofen, Aufbereitungstechnik, 9, 1976
9. R. Nicolle, W. K. Lee, A review on the behaviour of zinc in blast furnace and zinc removal in the preparatory processes, Waste Oxide Recycling Symposium, Hamilton, Canada, May 1974 (int. publikacija)
10. J. C. Hogan, Physical and chemical characterisation of refining furnace flue dusts, Waste Oxide Recycling Symposium, Hamilton, Canada, May 1974 (int. publikacija).

### ZUSAMMENFASSUNG

In den slowenischen Stahlwerken entstehen Jährlich rund 22000 t verschiedener Abfälle aus Staub, Zunder und Schleifabfällen die nicht verwertet werden. In den Tabellen 1 und 2 sind chemische Zusammensetzung und einige physikalische Eigenschaften dieser Materiale angegeben. Die Verwertung dieser Materiale am Ort der Entstehung sowie die Verwertung der gesamten Menge sind nicht ekonomisch berechtigt. Die Untersuchungen zeigten, dass es möglich ist diese Mengen in das geplante Chlorierverfahren der Verarbeitung von ca 90.000 t Pyritasche und ferrosulfatischen Abfällen jährlich einzuschliessen (Bild 1 und 8).

Die Zugabe der Abfälle ist quantitativ begrenzt vor

allem wegen der Anwesenheit von Zink im Stahlwerkstaub, welcher in komplexer ferritischer Form gebunden ist (Bilder 2, 3, 4, 5 und 7). Der chemische Prozess des Chlorierverfahrens beruht nämlich an Oxyden der Nichteisenmetalle.

Die direkten Verarbeitungskosten einer optimalen Mischung von 85 % Pyritasche und 15 % Stahlwerksstaub, Zunder und Schleifabfällen in chemisch gereinigte (Tabelle 3) und verfestigte Pellets (über 150 kp/Pellet) für die Verwendung in Hochöfen oder Metallisierung, werden um ca 13 % und die Investitionskosten um ca 5 % höher. Die Rentabilität einer solchen gesamten Verarbeitung ist festgestellt worden.



## SUMMARY

About 22,000 tpy of steel-plant dusts, various scales and grinding dusts remain unused in Slovenia. Tables 1 and 2 present chemical analyses and some physical properties of these materials. Local possibilities of the application or the application of the whole amount economically are not justified. Investigations confirmed the possibility for adding these materials to about 90,000 tpy of pyrite and ferrosulphate cinder in the designed chlorination process (Figs. 1 and 8). The additions are limited mainly due to zinc content in steel-plant dusts which is in complex

ferritic form (Figs. 2 to 5, and 7); chemistry of chlorination is namely based on oxides of non-ferrous metals.

Direct operation costs for optimal mixtures of 85 % pyrite cinder and 15 % steel-plants dusts, scales, and grinding dusts to obtain chemically pure (Table 3) and hardened pellets (over 150 kp per pellet) for the burden of blast furnace and further process of metallization are increased for about 13 % while investing costs are increased for about 5 %. Profitableness of such joint treatment was confirmed.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Каждый год в Словении остается неиспользовано прибл. 22,000 т стальной пыли, разных сортов окалина и отходов от шлифования. В таблицах 1 и 2 подан химический анализ этих материалов и некоторые иные физические свойства. Возможности локального использования, а также использования совокупного количества этих отходов экономически обосновано. На основании исследований установлена возможность использования этих отходов как добавочный материал при переработки прибл. 90,000 т пиритных и ферросульфатных огарков (в год) проектируемым способом хлорирования (см. рис. 1 и 8). Установлено определенное количественное ограничение упомянутых добавочных отходов, вследствие содержания цинка в стальной

пыли в комплексной ферритной форме (рис. 2, 3, 4, 5 и 7). Причина этого ограничения в том, что химизм процесса хлорирования основывается на окисях цветных металлах.

Прямые расходы переработки оптимальной смеси, которая состоит из 85 % пиритных огарков и 15 % стальной пыли, окалины и отходов шлифования, в форме химически очищенных (таб. 3) и отвержденных окатышей (твердость свыше 150 кгс), для употребления в доменных печах и для дальнейшего процесса металлургического увеличения прибл. на 13 %, а расходы для капитального вложения — прибл. на 5 %.

Установлена рентабельность такой совместной переработки.



# Vpliv modifikatorjev na mehanizem strjevanja, homogenost in naravo karbidov brzoreznih jekel, izdelanih po postopku EPŽ

UDK: 669, 4.018,252.3  
ASM/SLA: D8n, AD — ps 6  
UDK: 669.046.428  
ASM/SLA: B15r

B. Koroušič, J. Rodič, A. Rodič, F. Vodopivec, J. Pšeničnik

*Pretaljevanje brzoreznega jekla Č.7680 (BRM-2) po EPŽ-postopku: Študij dodatka modifikatorja Al + Mg + Ti + N na makro- in mikrostrukturo jekla v litem in predelanem stanju. Kritična ocena vpliva dodatkov modifikatorja na velikost in porazdelitev karbidov. Mehanske lastnosti jekla: velikost avstenitnega zrna, vpliv temperature kaljenja na velikost avstenitnega zrna, trdota jekla, popuščni efekti.*

## UVOD

Kvaliteta orodnih jekel in posebej brzoreznih jekel, izdelanih s konvencionalnimi metodami, je močno odvisna od lite strukture. Značilnost brzoreznih in drugih orodnih jekel je tvorba grobe karbidne (ledeburitne) mreže, ki jo je potrebno eliminirati (»razbiti«), če želimo doseči visoko kvaliteto jekla.

Standardni načini za učinkovito odpravo karbidne mreže, t.j. kontrolirana toplotno-mehanska predelava, se uspešno izvaja, ko gre za izdelke, pri katerih je mogoče doseči visoko stopnjo predelave (stopnja redukcije nad 90 %).

V vseh drugih primerih je vprašanje odprave grobe karbidne mreže zelo aktualno. Zato že dalj časa delajo v vseh razvitih državah poskuse za razvoj in aplikacijo metod, ki bi imele učinkovit vpliv na mehanizem nastanka karbidov v fazi strjevanja.

Načelno obstajata le dve poti, kateri je z manjšim ali večjim uspehom mogoče uporabiti.

1) sprememba strjevalnih pogojev (regulacija hitrosti strjevanja, mešanje taline, itd.)

2) modifikacija lite strukture.

V literaturi je precej podatkov o industrijskih in laboratorijskih preiskavah, ki slonijo na principih, opisanih pri točki 1. Praktično ta metoda ni dala pozitivnih rezultatov.

Znatno manj podatkov zasledimo v literaturi o modifikaciji lite strukture orodnih jekel<sup>1-9)</sup>.

Razvoj EPŽ-postopka je prinesel nove možnosti na področju modifikacije lite strukture zaradi številnih prednosti, ki jih ima ta postopek v primerjavi s standardnim litjem jekel.

V literaturi zasledimo nekaj rezultatov v tej smeri<sup>10-14)</sup>. Kritično oceno dobljenih rezultatov ni mogoče podati zaradi pomanjkanja natančnih podatkov o poteku poskusov in nadaljnji termomehanski predelavi. Na splošno je mogoče ugotoviti, da imajo dodatki modifikatorjev preko porabne elektrode, oziroma preko žilindre nekatere pozitivne učinke, ki jih lahko vrednotimo kot uspešne rešitve.

## Praktični poskusi

Praktične poskuse električnega pretaljevanja pod žlindro smo opravljali na polindustrijski EPŽ-napravi na Metalurškem inštitutu v Ljubljani. EPŽ-naprava je najmodernejšega tipa s kontinuirano regulacijo sekundarne napetosti in s premično kokilo.

## Elektrodni material

EPŽ-elektrode so bile izdelane v železarni Ravne. Njihova povprečna kemična sestava je prikazana v tabeli 1.

Elektrode so bile ulite v pesek in naknadno žarjene, ker se je pokazalo, da med taljenjem elektrod v »surovem stanju« nastajajo razpoke ali celo trenutne prekinitve procesa taljenja.

Ti problemi so z uvajanjem žarjenja v celoti odpravljeni.

## Izbira žilinder

Pri izdelavi jekel z dvižno kokilo je potrebno upoštevati dejstvo, da na kvaliteto površine ingota vpliva veliko več parametrov kot pri stoječi kokili. Zato smo se odločili za standardno žlindro z interno oznako M 11.

Kemična sestava žilinder pred pretaljevanjem in po njem je prikazana v tabeli 2.

Pred pričetkom taljenja jekla smo žlindro žarili 8 ur na temperaturi 800 °C in jo vročo šaržirali v kokilo. Na ta način smo vsaj izključili vpliv zračne vlage v začetni fazi taljenja.

Tabela 1. Kemična sestava elektrodnega materiala

Vrsta jekla	St. šarže	Kemična sestava											
		%C	%S	%Si	%Cr	%V	%W	%Cu	%Mn	%Mo	%Ti	%Al <sub>c</sub>	%Al <sub>k</sub>
Č.7680	Chg. 69561	0,80	0,018	0,35	3,80	2,03	6,40	0,21	0,27	5,65	0,10	—	—
Č.7680 (BRM-2)	E.144*	0,80	0,014	0,38	3,82	1,90	6,06	0,23	0,28	5,26	0,09	0,043	0,020

\* Vsebnost plinov v elektrodi: O = 104 ppm, N = 316 ppm.

Opozorjamo na vsebnost titana v jeklu, ki služi kot osnovni modifikator že v izhodnem stanju.

Tabela 2. Kemična sestava EPŽ-žlindre pred pretaljevanjem in po njem jekla Č.7680 (BRM-2).

Jeklo	Oznaka ingota	Kemična sestava žlindre (pred taljenjem jekla po taljenju jekla)										
		%CaF <sub>2</sub>	%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%CaO	%MgO	%TiO <sub>2</sub>	%SiO <sub>2</sub>	%MnO	%FeO*	%Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%S	B = $\frac{\%CaO}{\%SiO_2}$
Č.7680	B.143	39,90	22,43	29,70	∅	∅	3,05	∅	0,13	∅	0,12	9,74
		29,30	27,90	29,00	0,50	0,67	6,00	0,15	0,514	0,365	0,21	4,83
(BRM-2)	B.144	39,90	22,43	29,70	∅	∅	3,05	∅	0,13	∅	0,12	9,74
		26,60	24,50	29,40	1,50	2,05	3,90	0,06	1,286	1,18	0,26	7,54
	B.149	39,90	22,43	29,70	∅	∅	3,05	∅	0,13	∅	0,12	9,74
		31,20	24,90	29,70	1,80	1,50	3,40	0,09	0,386	0,55	0,34	8,74

\* V žlindri B.144 smo zasledili nekaj kapljic jekla

### Izbira modifikatorja

V literaturi najdemo zelo skope podatke o uporabi različnih modifikatorjev za brzorezna jekla. Zlasti so pomanjkljivi podatki o načinu dodajanja in naravi modifikatorjev pri pretaljevanju brzoreznejih jekel po EPŽ-postopku.

Zato smo se v tej študiji lotili selekcije vseh možnih kombinacij in prišli do naslednje sestave: modifikator MO-4\* na osnovi Ti+Al+Mg z določeno količino dušika.

Dodatki aluminija in magnezija imajo nalogo reducirati vsebnost Fe- in Mn-oksidov v žlindri in tako preprečiti prekomerno oksidacijo titana.

### Vodenje postopka taljenja jekel

Razlika med standardnim načinom taljenja jekel v dvižni kokili in postopkom z dodatkom modifikatorja se kaže predvsem v znatno večji nestabilnosti električnih parametrov. Vzroki za to so v dejstvu, da vsak dodatek v žlindro izziva spremembo fizikalno-kemičnih lastnosti žlindre (električna upornost, viskoznost, medfazna-površinska napetost itd.).

### Tehnološki podatki o taljenju jekla Č. 7680 (BRM-2).

Potek taljenja je bil naslednji: Prvi ingot (B.143) smo pretalili v celoti brez dodatkov v žlin-

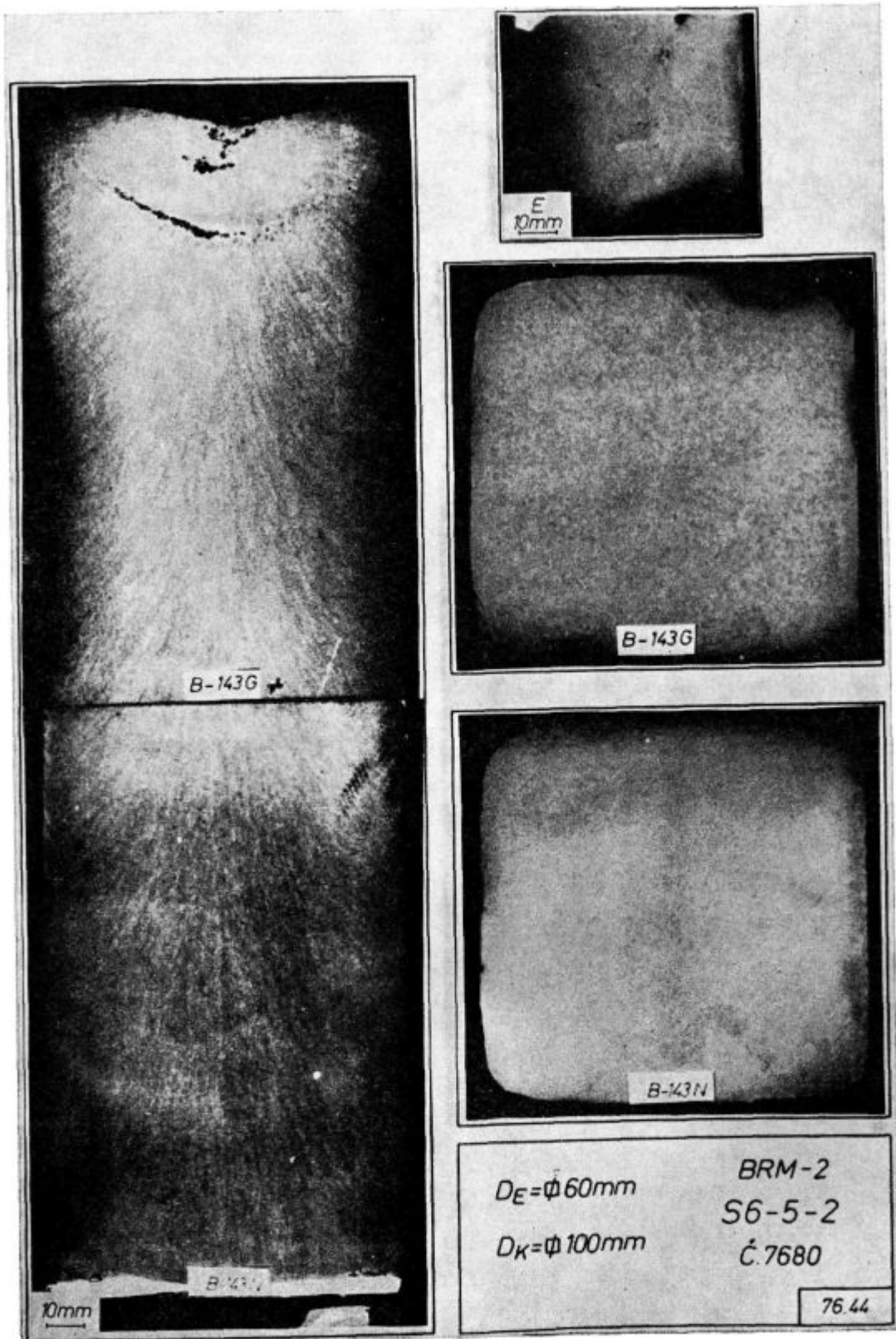
Tabela 3. Tehnološki parametri taljenja brzoreznejega jekla Č.7680 (BRM-2) z dvižnim kristalizatorjem.

Parameter	Dimenzija	Številka ingota		
		B.143	B.144	B.149
Teža ingota	kg	60,6	62,1	60,5
Višina ingota	mm	700	725	700
Prečni presek ingota	cm <sup>2</sup>	107	106	107
Prečni presek elektrode	cm <sup>2</sup>	38,8	39,0	39,7
Celotni čas taljenja	min	84,60	61,70	69,75
Hitrost taljenja	kg/h	43,56	59,80	52,04
Hitrost kristaliz. ingota	mm/min	8,28	11,76	10,04
Moč	kW	70±4	68±4,5	75±2
Število kapelj	min <sup>-1</sup>	170	170	174
Povprečna teža kapelj	g	4,26	5,84	4,98
Količina žlindre	kg	1900	1900	1900
Količina dodatka modif. v žlind.**	%	∅*	1,37	0,68
Polnilni faktor (K=A <sub>E</sub> /A <sub>K</sub> )	—	0,35	0,36	0,36

\* V žlindro je dodano dejansko 65 g Al za dezoksidacijo žlindre.

\*\* Računano na težo pretaljenega jekla.

\* Sestava modifikatorja MO-4 je zaščitena na Metalurškem inštitutu kot interna inovacija.



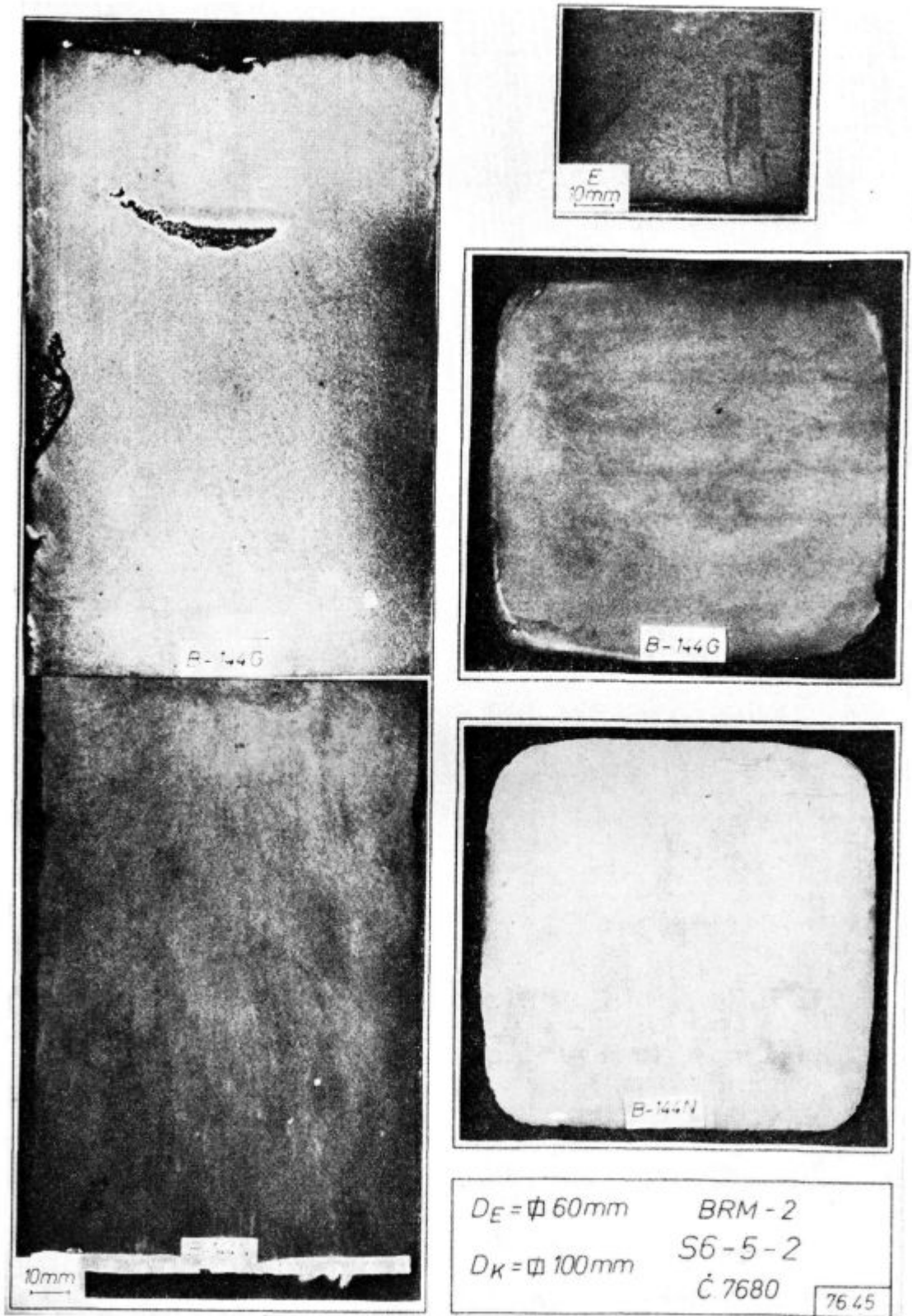
Slika 1:

Makrostruktura EPZ-jekla Č.7680 (BRM-2) v litem stanju (ca. 0,1 % Ti v elektrodi), brez dodatkov modifikatorja v žlindro  
 E: elektroda, G: glava EPZ-ingota, N-noga EPZ-ingota

Fig. 1

Macrostructure of Č.7680 (BRM-2) ESR steel as cast (about 0.1 % Ti in electrode), without addition of modifying agent  
 in to the slag

E: electrode, G: head of ESR ingot, N: foot of ESR ingot

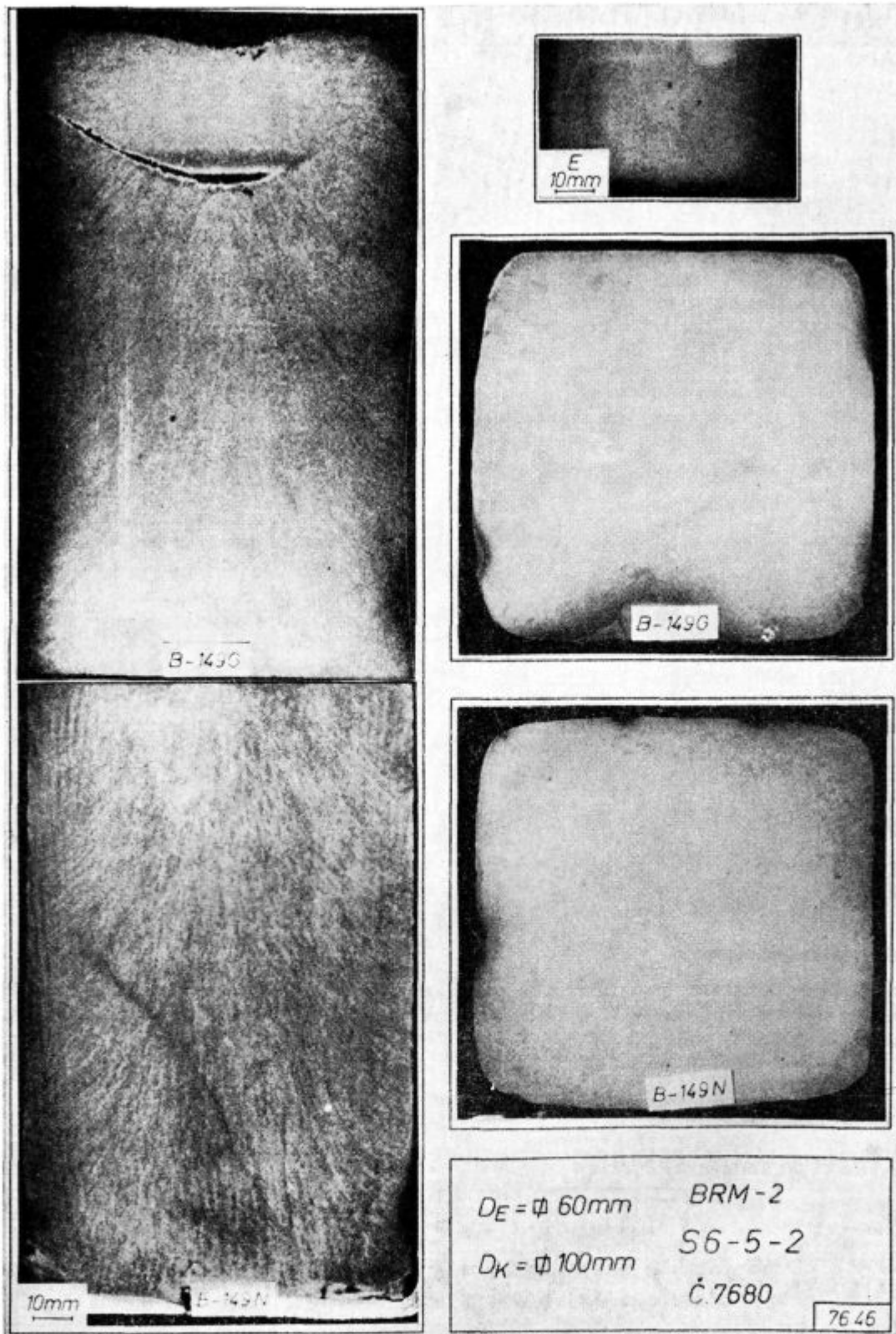


Slika 2:

Makrostruktura EPZ-jekla, Č.7680 (BRM-2) v litem stanju (jeklo je modificirano z MO.4)  
 E: elektroda, G: glava EPZ-ingota, N: noga EPZ-ingota

Fig. 2

Macrostructure of Č.7680 (BRM-2) ESR steel as cast (steel was modified with MO.4)  
 E: electrode, G: head of ESR ingot, N: foot of ESR ingot



Slika 3:  
 Makrostruktura EPZ-jekla Č 7680 (BRM-2) v litem stanju (modificiran z MO 4)  
 E: elektroda, G: glava EPZ-ingota, N: noga EPZ-ingota

Fig. 3  
 Macrostructure of Č.7680 (BRM-2) ESR steel as cast (modified with MO.4)  
 E: electrode, G: head of ESR ingot, N: foot of ESR ingot

dro. Naslednji ingot (B.149) smo pretalili z dodatkom modifikatorja MO-4 v količini 0,68 % in zadnji ingot (B.144) ravno tako z dodatkom modifikatorja MO-4 v dvojni količini, tj. 1,37 % od teže pretaljenega jekla.

Osnovni tehnološki podatki o taljenju poskusnih ingotov so razvidni iz *tabele 3*.

Analiza eksperimentalnih podatkov kaže, da dodatki modifikatorja v žlindro delno vplivajo na kinetiko tvorbe kapelj in s tem na celotne odnose glede hitrosti taljenja jekla. Ta vpliv se je manifestiral tudi na kvaliteto površine ingotov. Kvaliteta površine ingota je skoraj direktno proporcionalna količini dodatka v žlindro pri nespremenjenih električnih parametrih. Povečanje hitrosti taljenja tolmačimo z dodatnim eksotermnim učinkom, ki ga ima modifikator pri raztapljanju v žlindri, oziroma kovinski kopeli, in vplivom modifikatorja na medfazno površinsko napetost na kontaktni površini elektroda-žlindra.

## Rezultati preiskav

### Kemična sestava jekla

Kemično sestavo jekla smo ugotavljali na dveh nivojih v EPŽ-ingotu; tj. pri »glavi« in »nogi« ingota<sup>15</sup>. V tabeli 4 je prikazana kemična analiza vseh preiskanih ingotov.

Za oceno uspešnosti dodatka modifikatorja je vsekakor pomembno vprašanje »izkoristkov«, oziroma »odgora« posameznih elementov.

Primerjava dejansko dodanih količin elementov modifikatorja (v elektrodi + dodatki preko žlindre) z njihovo količino v pretaljenem jeklu je pokazala, da znašajo izkoristki aluminija 33 % in titana okoli 30 %.

### Metalografske preiskave

Metalografske preiskave strukture EPŽ-jekel smo opravili na vzorcih, vzeti iz EPŽ-ingotov (lito stanje), in kovanih palic (predelano stanje). Uporabljene so bile standardne metode za makro- in mikro jedkanje jekla<sup>15</sup>.

Vpliv dodatka modifikatorja na makrostrukturo jekla, kot je bilo pričakovati, ni opazen (glej sliko 1, 2 in 3). V strukturi ingotov so komaj vidne polkrožne plasti, ki nakazujejo geometrijo tekoče kopeli.

### Mikrostruktura jekla Č. 7680 (BRM-2) v litem stanju

Izhodni material (elektroda-lito stanje)

Pregledali smo prečni vzorec od zunanjega roba do sredine elektrode. Dendritne strukture ni bilo opaziti, zrna so bila globulitična. Na nekaterih mestih smo opazili izredno kratke dendrite, ki so imeli le 3—4 sekundarne veje.

Evtetični karbidi so bili igličaste oblike in pahljačasto razprti, tu in tam so bili v evtetiku masivni karbidi (predvsem v sredini elektrode). Opazili smo titanove karbonitride in večje aluminatne vključke.

Struktura v žarjenem stanju je bila: zrnati perlit ter evtetični in sekundarni karbidi.

Opaziti je tudi določeno razliko v velikosti globulitičnih karbidov med zunanjo in površinsko plastjo, oziroma sredino vzorca. V zunanjem pasu so globuliti manjši kot v sredini. Obliko evtetičnih karbidov, strukturo in velikost globulitov elektrode vidimo na sliki 4 (povečano  $\times 100$  in sliki 5 (povečava  $\times 500$ ).

### EPŽ-ingot, B.143 (brez dodatka modifikatorja v žlindro)

Iz EPŽ-ingota v žarjenem stanju smo izrezali po 4 obruse (glej sliko 4, oziroma sliko 5), ki so bili nato kaljeni in popuščani.

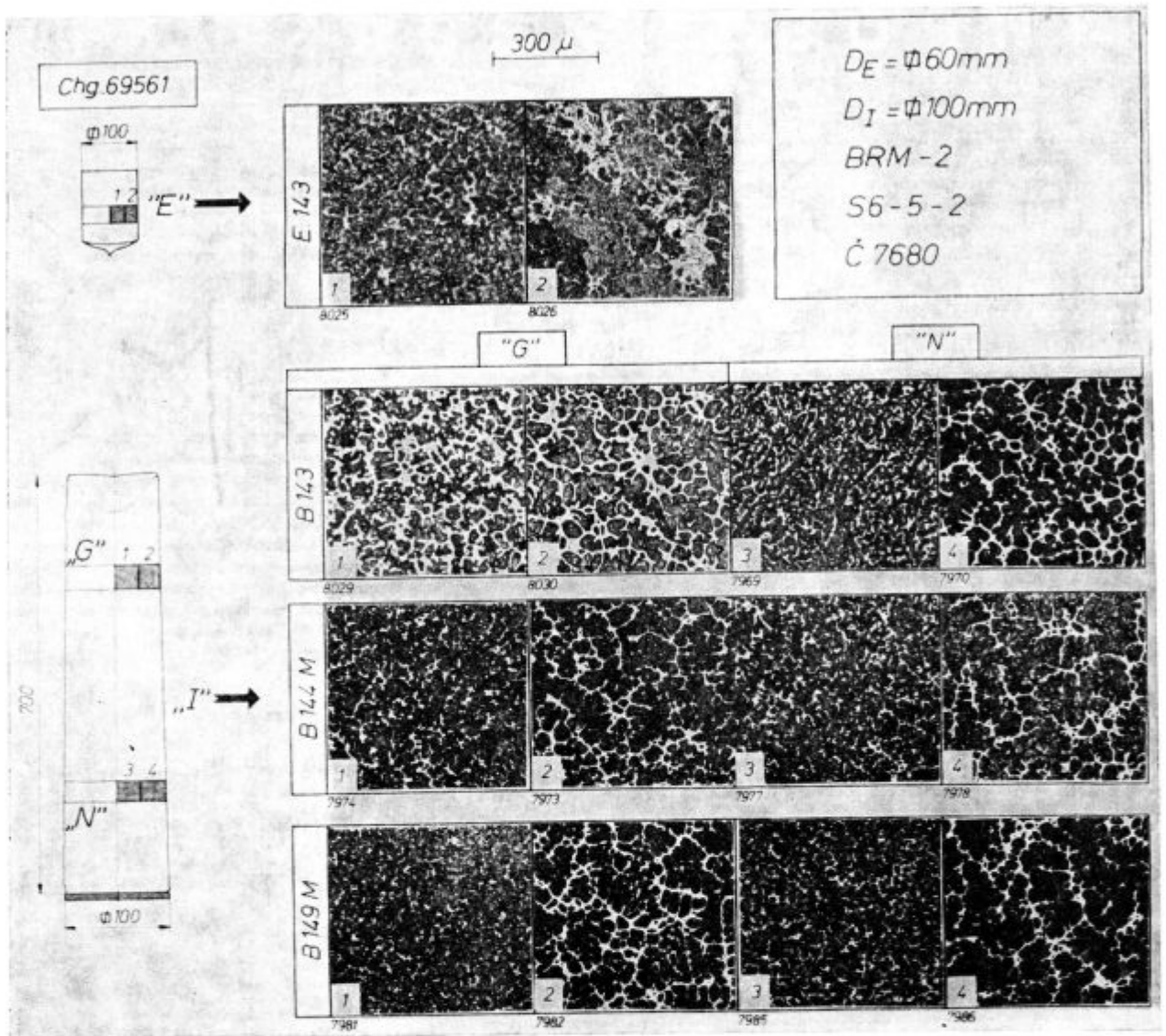
Metalografska analiza je pokazala, da ni opaziti klasične dendritne kristalizacije z močno primarno vejo in enakomernimi sekundarnimi vejami. Osnovna značilnost strukture je globulitična kristalizacija. Globulitna zrna obdaja praviloma evtetik. Evtetični karbidi so v značilni paličasto-lamelarni obliki, tu in tam so pahljačasto razporejeni.

Tabela 4. Kemična sestava EPŽ-jekla

Kvaliteta	Oznaka ingota		Kemična sestava jekla (*G — glava, *N — noga)														
			%C	%S	%Si	%Cr	%Ni	%V	%W	%Ti	%Al <sub>c</sub>	%Al <sub>k</sub>	%Cu	%Mn	%Mo	%P	%O
BRM-2	B.143	G*	0,83	0,009	0,28	3,83	0,25	1,94	6,39	0,04	0,026	0,022	0,21	0,28	5,71	0,024	0,0070
		N*	0,82	0,008	0,31	3,85	0,26	1,95	6,41	0,04	0,039	0,028	0,23	0,28	5,68	0,023	0,0072
BRM-2	B.144	G*	0,79	0,011	0,34	4,12	0,25	1,86	6,30	0,14	0,052	0,051	0,22	0,28	5,47	0,021	0,0077
		N*	0,82	0,010	0,34	4,13	0,26	1,95	6,38	0,11	0,056	0,049	0,22	0,28	5,57	0,024	0,0108
BRM-2	B.149	G*	0,82	0,010	0,30	4,00	0,25	1,87	6,43	0,08	0,032	0,029	0,22	0,28	5,77	0,023	0,0066
		N*	0,82	0,006	0,33	4,01	0,26	1,90	6,51	0,08	0,045	0,044	0,23	0,28	5,74	0,024	0,0074

\* G — glava, N — noga EPŽ-ingota





Slika 4:

Mikrostruktura jekla Č.7680 (BRM-2) v litem stanju, in si:er:

E: elektroda z 0,1 % Ti

B.143: pretaljen ingot brez dodatkov v žlindro

B.144: pretaljen ingot z dodatkom modifikatorja MO.4 (1,37 %)

B.149: pretaljen ingot z dodatkom modifikatorja MO.4 (0,68 %)

Fig. 4

Microstructure of Č.7680 (BRM-2) ESR steel as cast: E: electrode with 0.1 % Ti

B.143: remelted ingot without addition to slag

B.144: remelted ingot with added MO.4 modifying agent (1.37 %)

B.149: remelted ingot with added MO.4 modifying agent (0.68 %)

Lamele, oziroma karbidne palice so tanke in krajše kot pri elektrodi, odebeljenih karbidov je bistveno manj kot pri elektrodi. V vzorcih iz predela glave smo opazili v eutektiku bolj grobe martenzitne igle in več zaostalega avstenita kot v osnovni masi.

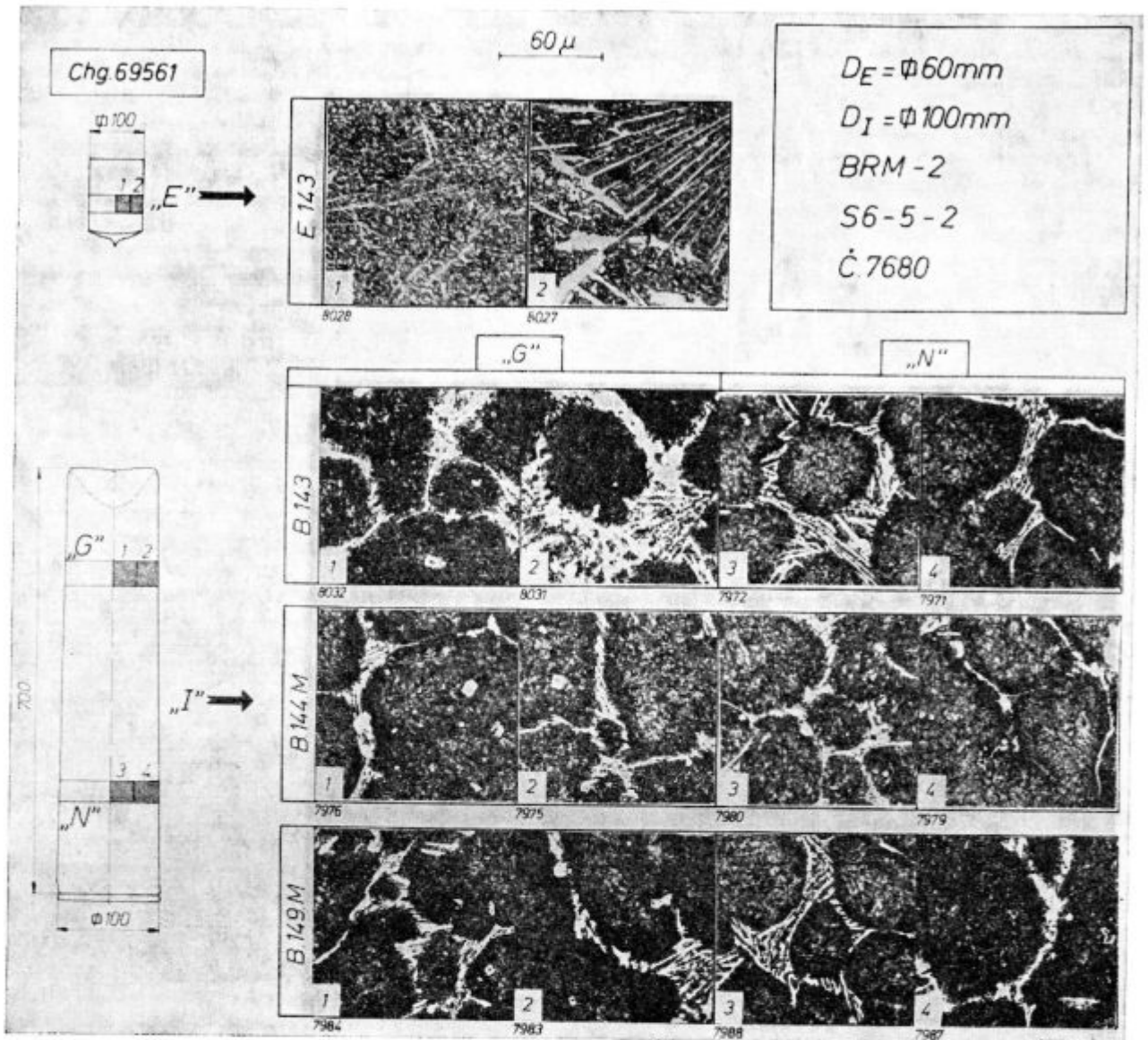
V osnovi zasledimo titanove karbonitride, nekaj jih je opaziti tudi med eutektičnimi karbidi.

Zanimivo dejstvo je, da so avstenitna zrna izredno drobna. Ocena velikosti zrna po Snyder Graffu je pokazala SG 16, kar je za brzorezna jekla v litem stanju zelo ugodno.

#### EPZ-ingoti B.144 in B.149 (z dodatkom modifikatorja v žlindro)

Mikrostruktura je podobna kot pri ingotu B.143. Dendritne strukture ni opaziti, temveč le globulitna zrna. Globulitna zrna so drobna: ob robu 25—35 mikronov, v sredini je njihov povprečni premer 40—60 mikronov.

Nitridi so poligonalne oblike in v primerjavi z ingotom B.143 večji. Na sliki 5 se lepo vidi njihova prisotnost pod mikroskopom in značilne barve. Eutektični karbidi so v obliki iglic, oziroma



Slika 5:  
 Mikrostruktura jekla Č.7680 (BRM-2) v litem stanju, in sicer:  
 E: elektroda z 0,1 % Ti  
 B.143: pretaljen ingot brez dodatkov v žlindro  
 B.144: pretaljen ingot z dodatkom modifikatorja MO.4 (1,37 %)  
 B.149: pretaljen ingot z dodatkom modifikatorja MO.4 (0,68 %)

Fig. 5  
 Microstructure of Č.7680 (BRM-2) ESR steel as cast: E: electrode with 0.1 % Ti  
 B.143: remelted ingot without additions to slag  
 B.144: remelted ingot with added MO.4 modifying agent (1.37 %)  
 B.149: remelted ingot with added MO.4 modifying agent (0.68 %)

lamel. Avstenitna zrna so drobna, njihova velikost je dokaj identična kot pri ingotu B.143 in znaša ocena po Snyder-Graffu SG 17.

**Preiskava jekla Č.7680 (BRM-2) v predelanem stanju ( $F_0/F = 16$ )**

Metalografske preiskave vzorcev, vzetih iz kovanih palic, kvadrat 25 mm v vzdolžni smeri, so pokazale, da ima modificirano jeklo vse tiste značilnosti, ki so znane za brzorezno jeklo Č.7680

(BRM-2). Ni bilo opaziti nikakršnih bistvenih razlik v mikrostrukturi.

Večjo pozornost smo posvetili dodatnim raziskavam, ki bi bolj odkrile vpliv modifikatorjev:

- ocena velikosti karbidov,
- karbidne izceje po tabeli ŽR in tabeli Prüfblatt 1615,
- ocena velikosti avstenitnega zrna po Snyder-Graffu,
- kalilna vrsta v temperaturnem intervalu 1180 — 1240 °C,

- izdelava popuščnih diagramov,
- določitev popuščnih efektov.

Rezultati prvih treh preiskav, t. j. ocene velikosti karbidov, karbidnih izcej po metodi ZR in tabeli Prüfblatt 1615 in velikosti avstenitnega zrna so prikazani v tabeli 5.

Tabela 5. Rezultati preiskav jekla Č.7680 (BRM-2).

Oznaka ingota	Karbidne izceje ZR	Prüfblatt 1615	SG	Velikost karbidov
B.143, kv. 25	4,5	1/2	15	5,5
B.144, kv. 25	4,5	2/1	16	5,2
B.149, kv. 25	4,5	2/1	16	5,6

Iz teh podatkov je razvidno, da je izdelano jeklo sposobno za izdelavo kakršnegakoli orodja.

### Kalilna vrsta

Kalilno vrsto smo izdelali iz kovanih palic, kv. 25 mm, za vse tri EPZ-ingote. Metalografsko smo ocenili samo velikost zrna po Snyder-Graffu. Opazili smo, da velikost zrna ne narašča z rastočo kalilno temperaturo v intervalu 1180 do 1240°C, kar pripisujemo vplivu dodatka modifikatorja.

Dobljeni rezultati so zbrani v tabeli 6.

Tabela 6. Ocena velikosti avstenitnega zrna v odvisnosti od kalilne temperature za jeklo Č.7680 (BRM-2).

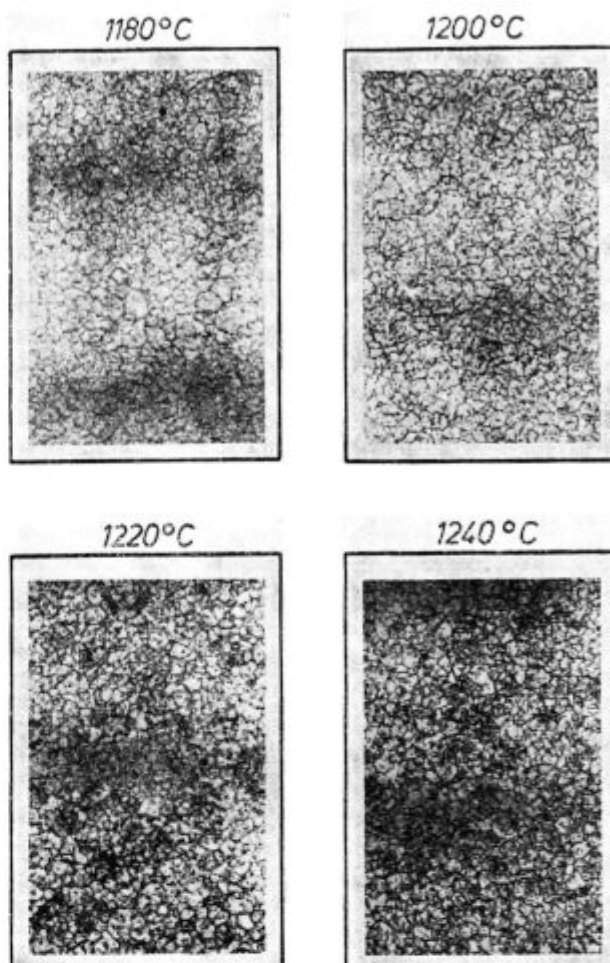
Temperatura kaljenja	Ocena velikosti avstenitnega zrna po metodi SG		
	B.143	B.144	B.149
1180°C	16	20	16
1200°C	16	18	16
1220°C	16	18	16
1240°C	14	18	14

Iz razpredelnice vidimo, da je jeklo ostalo fino-zrnato še pri kaljenju s temperaturo 1240°C. Direktna primerjava velikosti avstenitnega zrna v vzorcih iz ingota (lita struktura) z dobljenimi podatki pokaže, da smo imeli že v ingotih fino-zrnato strukturo, ki se med plastično predelavo ni bistveno spremenila.

Na sliki 6 je prikazana mikrostruktura jekla (vzorec iz ingota B.144) pri različnih kalilnih temperaturah.

### Izdelava popuščnih diagramov

Analiza dobljenih rezultatov je pokazala, da med posameznimi ingoti ni bistvenih razlik. Opazna je le tendenca, da je pri modificiranem jeklu nekoliko boljša popuščna obstojnost. Pri



Slika 6:

Kalilna vrsta brzoreznega jekla Č.7680 (BRM-2) modificirana z MO.4 v žilindro EPZ-ingot B.144, F./F = 8

1180 °C: GS 02; 1200 °C: SG 18; 1220 °C: SG 18; 1240 °C: SG 18

Fig. 6

Quench line of high-speed Č.7680 (BRM-2) steel modified with MO.4 in to slag

ESR ingot B.144, F./F = 8

1180 °C: SG,20; 120 °C: SG.18; 1220 °C: SG.18; 1240 °C: SG.18

trikratnem popuščanju na 560°C v času 1 ure je dosežena trdota pri kalilni temperaturi 1240°C: 63 HRC in pri spodnji temperaturni meji 1180°C: 61,5 HRC. Ker ni bistvenih razlik v velikosti avstenitnega zrna, predpostavljamo, da bi dosegli večjo popuščno obstojnost pri zgornji kalilni temperaturi okoli 1260°C.

### Določitev popuščnih efektov

Zanimivi so rezultati preiskav, ki smo jih opravili na vzorcih iz ingota B.143, ki smo jih kalili pri spodnji in zgornji predpisani kalilni temperaturi (1170—1240°C). Vzporedno z dilatometrijskimi vzorci smo kalili še vzorce za merjenje trdote in določitev avstenitnega zrna. Rezultati so zbrani v tabeli 7.

Tabela 7. Vpliv 3-kratnega popuščenja na trdoto in velikost avstenitnega zrna pri spodnji in zgornji kalilni temperaturi.

Temperatura kaljenja	Trdota (HRC)	Popuščenje na 550 °C, 90 minut			Velikost avstenitnega zrna (SG)
		I (HRC)	II (HRC)	III (HRC)	
1170° C	63,5	62,0	61,5	61,5	ni vidno
1240° C	65,0	65,0	65,0	65,0	15

### Zaključki

Na polindustrijski EPZ-napravi s premično kokilo prečnega preseka kvadrat 100 mm smo pretalili tri lite elektrode kv. 60 × 60 mm teže okoli 60 kg iz jekla Č 7680 (BRM-2) s kemično sestavo: 0,80 % C, 0,018 % S, 0,35 % Si, 3,80 % Cr, 2,03 % V, 6,40 % W, 0,21 % Cu, 0,27 % Mn, 5,65 % Mo in 0,1 % Ti.

Pretaljevanje jekla je izvedeno pod žlindro M 11 (39,90 % CaF<sub>2</sub>, 22,43 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 29,70 % CaO, 3,05 % SiO<sub>2</sub>) s povprečno hitrostjo 52 kg/h.

Pri prvem ingotu (B.143) je pretaljevanje potekalo brez dodatka modifikatorja v žlindro. Dodali smo le aluminij zaradi (v količini 0,1 % teže jekla) kontrole oksidacijskega potenciala žlindre.

Pri naslednjih dveh ingotih (B.143 in B.149) smo kontinuirano dodajali modifikator (MO-4 na osnovi Al + Mg + Ti + N) v količinah 0,68 %, oziroma 2 × 0,68 % od teže jekla.

Po končanem taljenju smo opravili obsežne raziskave jekla v litem in predelanem (F<sub>0</sub>/F = 16) stanju: kemična sestava jekla, metalografske preiskave makro in mikrostrukture, ocena karbidov, velikost avstenitnega zrna po Snyder-Graffu, kalilna vrsta, izdelava popuščnih efektov. Preiskave karbidov so potekale z mikrosondo, rezultati pa bodo objavljeni v II. delu članka.

Dobljeni rezultati so pokazali, da imajo dodatki titana v elektrodo (v količini 0,1 %) pozitiven vpliv na porazdelitev in velikost karbidne mreže, kar se manifestira v zelo finem avstenitnem zrnu.

Kombinacija dodatka modifikatorja (Al + Mg + Ti + N) v žlindro s prisotnim titanom v elektrodi ima dodatni pozitivni vpliv, ki se kaže v ekstremno finem avstenitnem zrnu (SG: 18 do 20) ter znatno boljši porazdelitvi in drobnejših karbidih. Zelo pomemben vpliv dodatka modifikatorja v žlindro se kaže v stabilnosti avstenitnega zrna v širokem temperaturnem območju 1180 do 1240° C. Trdota jekla je višja v modificiranem stanju za 0,5—1,0 HRC.

Izdelava brzoreznega jekla Č 7680 (BRM-2) po EPZ-postopku v kombinaciji z dodatkom modifikatorja v elektrodo, oziroma žlindro omogoča, da dosežemo najvišje kvalitete.

Nadaljnji poskusi bodo pokazali, kakšne so možnosti za industrijsko izkoriščanje tega postopka v železarni Ravne.

### Literatura

1. Grainal, Werbeschrift d. Vanadium Corporation of America, New York, USA, 1962
2. Bats 79, US-Patent Nr. 2.809.109
3. Ineson, E., G. Hoyle: Metal Treatm. Drop. Forg. 23 (1956) S. 257—262
4. Felgel-Farnholz, O.: Diss. Montanistische Hochschule, Leoben 1957
5. Kunze, E., E. Horn: DEW-Techn. Ber. 1 (1961) S. 6—14
6. Tesche, K., W. Beuthner: DEW-Techn. Ber. 4 (1964) S. 51—64
7. Elsen, E., G. Elsen, M. Markworth: Metall 19 (1965) S. 334—345
8. Randak, A., J. Kurzeja, H. G. Jentges: Arch. f. Eisenhüttenwes. 36, Nr. 10 (1965) S. 730—731
9. Mitsche, R., E. Kudelka: Radex-Rundschau H.1 (1967) S. 407—413
10. Duckworth, W. E., D. J. Wooding: Vacuum Arc Or Elektroslog Melting (Vacuum Metallurgy Conference, Beverly Hills, California, 1968)
11. Kirk, F. A., H. C. Child, E. F. Love, J. T. Wilkins: In: ISI preprint Nr. 126 Materials for Metal Cutting Conference Scarborough 14.—16. 4. 1970, S. 59
12. Campbell, J., J. W. Bannister: Metals Technology, Sept. (1975) S. 409—415
13. Doronin, V. M., M. M. Kljujev, I. S. Prjašnikov, V. V. Topilin: Stal' 5 (1975), S. 453—455
14. Paschen, P.: Metall, 29 Jhg. H.2 (1975) S. 121—130
15. Koroušič, B., J. Rodič: Preiskave poiskusnih EPZ-ingotov. Interni predpis MI.17 (1971).

### ZUSAMMENFASSUNG

Auf einer halbindustriellen ESU Anlage mit der beweglichen Kokille von 100 mm Quadrat im Durchschnitt sind drei gegossene Elektroden von 60 × 60 mm und einem Gewicht von 60 kg aus Stahl Č 7680 (BRM-2) umgeschmolzen worden. Chemische Zusammensetzung der Elektroden: 0,80 % C, 0,018 % S, 0,35 % Si, 3,80 % Cr, 2,03 % V, 6,4 % W, 0,21 % Cu, 0,27 % Mn, 5,65 % Mo und 0,1 % Ti.

Die Umschmelzung des Stahles ist unter der Schlacke M. 11 (39,90 % CaF<sub>2</sub>, 22,43 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 29,70 % CaO, 3,05 % SiO<sub>2</sub>) mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 52 kg/h durchgeführt worden.

Bei der Umschmelzung des ersten Blockes (B. 143) sind keine Impfmittel in die Schlacke zugegeben worden. Mit dem Zweck den oxydationspotenzial der Schlacke zu kon-

trollieren ist Aluminium von 0,1 % des Blockgewichtes zugegeben worden. Bei den folgenden zwei Blöcken (B. 143 und B. 149) ist kontinuierlich ein Modifikator (Mo-4 auf Grund der Elemente Al + Mg + Ti + N) in einer Menge von 0,68 % bzw. 2 × 0,68 % des Blockgewichtes zugegeben worden.

Nach dem Umschmelzen sind umfangreiche Untersuchungen des Stahles im gegossenen und verformten (F<sub>0</sub>/F = 16) Zustand durchgeführt worden und zwar, der chemischen Zusammensetzung, metallographische Untersuchungen des Mikro und Makrogefüges, die Beurteilung der Karbide, Austenitkorngröße nach Snyder-Graff, Härtereihe, Ausarbeitung der Anlassdiagramme und Bestimmung der Anlasseffekte. Die Untersuchung der Karbide ist mit

der Mikrosonde untersucht worden. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen werden im zweiten Teil dieses Artikels dargegeben.

Die Ergebnisse zeigten, dass der Zusatz von 0,1 % Ti in die Elektrode einen positiven Einfluss auf die Verteilung und Grösse des Karbidnetzes hat. Die Folge davon ist ein feines Austenitkorn.

Die kombinierte Modifizierung des Stahles mit dem Impfmittel (Al + Mg + Ti + N) in die Schlacke, bei Anwesenheit von Titan in der Elektrode, hat einen zusätzlichen positiven Einfluss und äussert sich in einem extrem feinen Austenitkorn (SG: 18 bis 20), einer erheblich besseren Verteilung

und feineren Karbiden. Ein bemerkenswerter Einfluss des Impfmittelzusatzes in die Schlacke zeigt sich in der Stabilität des Austenitkornes im breiten Temperaturbereich von 1180 bis 1240° C. Die Härte des Stahles ist im modifizierten Zustand höher um 0,5 bis 1,0 HRC.

Die Erzeugung von Schnelldrehstahl C 7680 (BRM-2) nach dem ESU Verfahren macht es in der Kombination mit dem Zusatz der Impfmittel in der Elektrode bzw. Schlacke, die Erzeugung des Stahles höchster Güte möglich. Die weiteren Versuche sollen die Möglichkeiten für die industrielle Ausbeutung dieses Verfahrens im Hüttenwerk Ravne zeigen.

## SUMMARY

Pilot plant ESR set-up with movable mould of 100 mm square cross section was applied in remelting three 60 × 60 mm cast electrodes of C. 7680 (BRM-2) steel with weight 60 kg. Their chemical composition was 0,80 % C, 0,018 % S, 0,35 % Si, 3,80 % Cr, 2,03 % V, 6,40 % W, 0,21 % Cu, 0,27 % Mn, 5,65 % Mo and 0,1 % Ti.

Slag M.11 with composition 39,90 % CaF<sub>2</sub>, 22,43 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 29,70 % CaO, 3,05 % SiO<sub>2</sub> was used in remelting at an average rate of 52 kg/h.

The first ingot (B.143) was remelted without adding any modifying agent to the slag. Only aluminium (up to 0,1 % weight of steel) was added in order to control the oxidizing potential of the slag.

During remelting of the next two ingots (B.144 and B.149) the modifying agent (MO-4, based on Al + Mg + Ti + N) was continuously added, 0,68 % of the steel weight in the first case, and 2 times 0,68 % in the second case.

After completed remelting, extensive investigations of steel, as cast and worked ( $F_0/F = 16$ ) were made: chemical composition, metallographic investigations of macro and micro structure, estimation of carbides, austenite grain size determination by Snyder-Graff, quenching line, tem-

pering diagrams, determination of tempering effects. Investigations on carbides were made by electron micro-analyzer, and the results will be presented in the second part of this paper.

The obtained results showed that addition of titanium (0,1 %) has favourable influence on the distribution and size of carbide net which is consequence of very fine austenite grain.

Combination of adding modifying agent (Al + Mg + Ti + N) to slag and the presence of titanium in electrode has additional favourable influence which is expressed in extremely fine austenite grain (SG: 18 to 20) and essentially better distribution and smaller size of carbides. A very important influence of adding the modifying agent to slag is expressed in stability of the austenite grain in wide temperature range between 1180 and 1240° C. The hardness of modified steel is higher for 0,5 to 1 HRC.

Manufacturing C. 7680 (BRM-2) high-speed steel by ESR process in combination with additions of modifying agents to electrode or to slag enables the highest steel qualities.

Further tests will show practical possibilities for industrial production by this method in the Ravne Iron-works.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На полупромышленной ЭПЖ-установки с передвижной изложницей квадратного сечения 100 мм переплавали три литых электрода квадратной формы сечения 60 × 60 мм, веса прибл. 60 кг из стали марки С. 7680 (BRM-2) химического состава: 0,80 % С, 0,018 % S, 0,35 % Si, 3,80 % Cr, 2,03 % V, 6,40 % W, 0,21 % Cu, 0,27 % Mn, 5,65 % Mo и 0,1 % Ti.

Переплав стали выполнен под шлаком М 11 (39,90 % CaF<sub>2</sub>, 22,43 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 29,70 % CaO, 3,05 % SiO<sub>2</sub>) при средней скорости 52 кг/ч.

При первой слиток (Б. 143) переплав выполнялся без добавки модификаторов в шлак. Добавляли только алюминий (в количестве 0,1 % на вес стали) с целью проверки окислительного потенциала шлака.

При последующих двух слитках (Б. 143 и Б. 149) добавляли непрерывно модификаторов (МО-4 на базе Al + Mg + Ti + N) в количестве 0,68 % отн. 2 × 0,68 % на вес стали.

По окончании расплавления выполнены обширные исследования стали в литом и переработанном состоянии ( $F_0/F = 16$ ), т. е. подан химический состав стали, металлографическое испытание макро и микроstructures, оценка карбидов, величина аустенитных зерен по Слудер — Граффу, под закалки, разработка диаграмм отпуска стали, определение эффектов отпуска и пр.

Исследование карбидов, результаты которого будут рассмотрены во второй части этой работы, были выполнены с микроскопом. Полученные результаты показали, что добавка титана в электрод (в количестве 0,1 %) оказывает положительное влияние на распределение и величину карбидной сетки, что проявляется в очень мелких зернах аустенита.

Добавки модификатора (Al + Mg + Ti + N) в шлак, в сочетании с присутствием титана в электроду увеличивает положительное влияние. Это обнаруживается в экстремуме мелкозернистости зерен аустенита (СГ: 18 до 20), а также в лучшем распределении и более мелкой карбидной сетки.

Очень значительное влияние оказывает добавка модификатора в шлак на устойчивость зерен в широком  $t$ -ом диапазоне между 1180 до 1240° C.

В модифицированном состоянии твердость стали увеличена на 0,5—1,0 HRC.

Изготовление быстрорежущей стали марки С. 7680 (BRM-2) ЭПЖ-способом в комбинации с добавкой модификатора в электрод, отн. в шлак, дает возможность достижения самых высших качеств.

Последующие опытные работы укажут на возможности промышленного применения этого способа в металлургическом заводе Железарна Равне.



# Odpornost proti zatopitvi in žilavost ostrine

UDK: 669.14.018.25  
ASM/SLA: Q29, Q6n, Q6S

Franc Uranc

Posebna preizkusna naprava omogoča določanje odpornosti rezil proti udarcem, ki delujejo iz različnih smeri. Veliko razločnejše so razlike v žilavosti, določeni z bočnimi udarci, kot z udarci v smeri rezila.

Iz velikosti deformacij, ki jih izmerimo po različnem številu udarcev, lahko sklepamo o odpornosti rezila proti zatopitvi. To odpornost kaže tudi najmanjša udarna energija, ki že zaznavno poškoduje rezilo.

## UVOD

Žilavost orodnih jekel je še precej neraziskana, ker od orodij pač zahtevamo predvsem veliko obrabno obstojnost in zadovoljivo trdoto.

Vsako orodje mora imeti tudi določeno žilavost. Utopi ali noži za sekanje lesa pa so na udarce posebno močno obremenjeni.

V članku prikazujemo odnos med žilavostmi ostrin nožev iz jekel za hladno delo.

Posamezne firme, ki izdelujejo nože za lesno in papirno industrijo, so vpeljale v svojo kontrolo posebne metode preverjanja žilavosti rezil. Metode so dveh vrst:

V nekaterih podjetjih, npr. pri Carpenterju, izdelujejo iz posameznih talin, namenjenih izdelavi strojnih nožev, posebne standardne preizkušance v obliki rezila (1). Dimenzije teh preizkušancev, izbrušenih pod kotom  $45^\circ$ , so  $50 \times 27 \times 10 \text{ mm}^3$ .

V drugih podjetjih, npr. pri Boforsu, Fagersti, preizkušajo gotove nože z določenim pritiskom bočno ob rezilo. Tu torej kontrolirajo neposredno žilavost ostrine izdelka.

Pri nas smo se odločili za metodo, ki združuje prednosti obeh zvrsti poskusnih postopkov. Želeli smo preiskovalno metodo, ki bi služila razvijanju kvalitete nožev in torej odkrivanju primernejših jekel ter toplotnih obdelav. Obenem smo hoteli kontrolno metodo za tekoče zasledovanje žilavosti končno obdelanih industrijskih nožev.

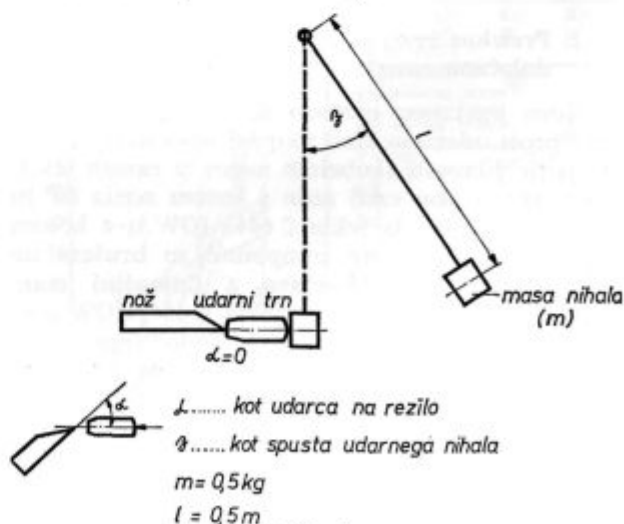
Zato smo se lotili izdelave preizkusne naprave, v kateri bi lahko preizkušali nože vseh možnih dimenzij, enako pa seveda tudi preizkušance, izbrušene na rezilo. Da bi povečali raziskovalne in razvojne možnosti obstoječih tujih priprav, smo pri nas omogočili preizkušanje rezil z udarci iz poljubno izbrane smeri glede na rezilo, oziroma glede na smer rezanja.

Tako smo dobili zelo vsestransko uporabno kontrolno, preizkusno in raziskovalno pripravo.

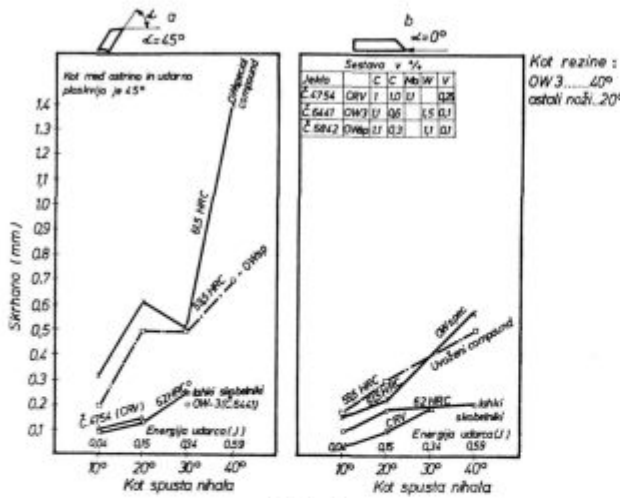
Ker so koti ostrin za posamezne vrste nožev precej togo določeni in ker ti koti odločilno vplivajo na odpornost rezil proti udarcem, smo se dogovorili, da bomo tudi preizkusne nože (raziskovalne naloge) brusili na enako ostrino, kot brusimo prave nože iz določenega jekla. Tako lahko uporabimo vse rezultate raziskav neposredno za odločitve v procesu izdelave nožev.

Osnovni podatki, potrebni za izračun žilavosti ostrine po našem postopku, so vidni na sliki 1. Masa kladiva nihala je  $0,5 \text{ kg}$ , dolžina nihala je  $0,5 \text{ m}$ . Udarec prenaša od nihala na ostrino noža poseben drsni trn, širine  $5 \text{ mm}$ . Glede smeri, oziroma kota, pod katerim deluje udarec na rezilo, smo se dogovorili, da so udarci v smeri plosčine noža in pravokotno na rezilni rob v smeri nič stopinj (nič radianov).

Na poskusni napravi smo imeli kazalo za spustni kot nihala izrisano samo v ločnih stopinjah, vendar bi bilo primerneje označevati kot kar s kinetično energijo, ki jo nihalo pridobi s spustom v stabilno lego. Ker se lahko pojavi želja po težjem kladivu nihala, se zdi ugodno vgravirati poleg energij nihala tudi razlike kosinusa padnega kota do ena ali pa kar kosinuse kota. Tako bi lažje preizkušali z udarnimi energijami, ki bi bile v enakomernih presledkih. Rezultati so izračunani na osnovi preizkusov s padci nihala z določene



Slika 1:  
Shema poskusnih pogojev pri določanju žilavosti ostrine.  
Fig. 1  
Scheme of experimental conditions for determining edge toughness



Slika 2:

Žilavost ostrine skobelnih nožev iz jekla CRV (Č.4754). Lahki skobelniki iz jekla OW 3 (Č.6441) imajo kot ostrine 40°, ostali noži 20°.

- a) ... udarec pod kotom 45 glede na plosčino noža in pravokotno na rezilni rob,
- b) ... udarec v smeri plosčine in pravokotno na rezilni rob.

Fig. 2

Edge toughness of planing knives made of CRV (Č.4754) steel. Light planing knives made of OW 3 (Č.6441) steel have edge angle 40°, the others 20°.

- a. ... impact at the 45° to the knife plane and perpendicularly to the edge
- b. ... impact in the direction of knife plane and perpendicularly to the edge

nih enakomerno rastočih kotov. Nadaljne preizkuse bomo opravljali pri določenih energijah, tako da bo lažja interpolacija žilavostnih vrednosti in s tem možna primerjava med različnimi jekli.

Pri vseh opravljenih preizkusih je bila zanevarjena energija, izgubljena zaradi elastičnega odboja padalnega kladiva od udarnega trna.

2. Preizkus rezil skobelnih nožev z udarcem iz določene smeri

Novo poskusno metodo določanja odpornosti rezil proti udarcem smo najprej uporabili za ugotavljanje žilavosti skobelnih nožev iz različnih jekel. V preiskavo smo vzeli nože s kotom rezila 20° in lahke skobelnike iz jekla Č 6441 (OW 3) s kotom rezine 40°. Noži vrste compound so brušeni na ostrino 20°. Za primerjavo z domačim compoundom, ki ima rezilo iz jekla Č 6842 (OW special) smo imeli še en nož iz podobnega jekla, toda drugačne trdote. Kot osnovo za približno primerjavo z žilavostmi drugih vrst nožev smo preizkušali nože iz jekla Č 4754 (CRV) in s kotom rezine 20°.

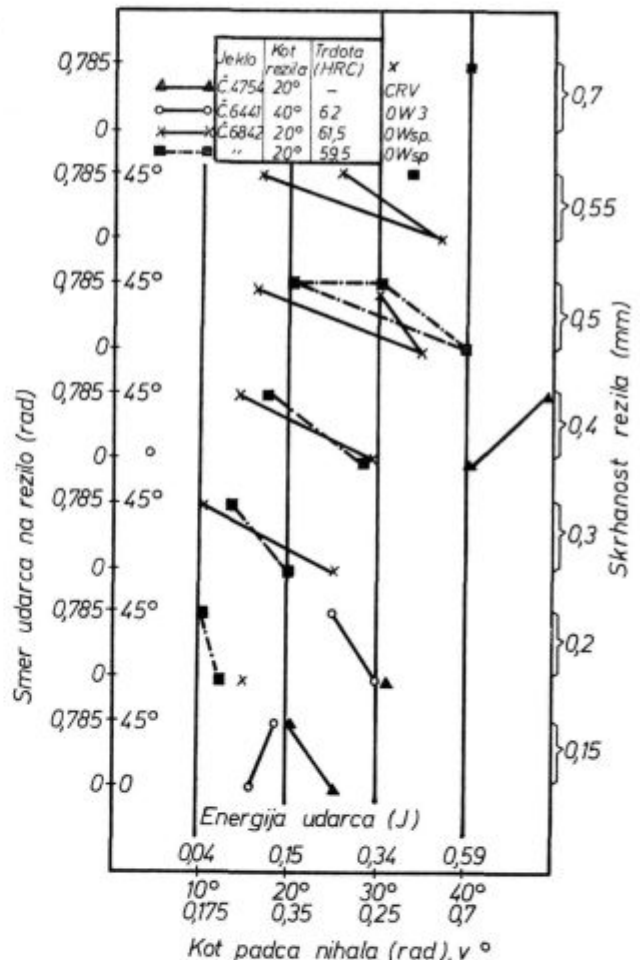
Od vsake vrste nožev smo imeli na razpolago po 6 kosov dolžine 70 mm, kar je bilo popolnoma dovolj za preiskave. Vsak preizkušaneec je bil odrezan od drugega noža, da bi lahko ugotovili čim bolj verodostojno srednjo vzdržnost nožev proti udarcem.

Toplotno so bili obdelani preizkusni noži tako: Nože, podobne nožem iz Č 6842 (OW special) smo kalili z 860° v olju in popuščali na 280 °C, trdota je znašala 59 — 59,5 HRC.

Domači compound Č 6842 je pokazal po enaki toplotni obdelavi 61—61,5 HRC. Lahke skobelnike iz Č 6441 (OW 3) smo kalili z 840 °C v olju, popuščali na 260 °C, trdota je znašala 62 HRC.

Slika 2 kaže velikost deformacije, oziroma globino skrhanja ostrine rezila, podvrženega različnim sunkom sile pod različnima kotoma. Zraven krivulj so navedene trdote preizkusnih nožev. Očitno je za enako globino skrhanja ostrine potrebno manj energije, če prileti udarec poševno na rezilo, kot pa če deluje v smeri plosčine noža.

Zelo žilavo ostrino imata noža iz Č 6441 (OW 3) in Č 4754 (CRV), prvi pač zato, ker ima velik kot rezine. Ostrina mehkejšega compounda iz jekla, podobnega Č 6842, je bolj žilava — pri enaki energiji udarca se manj deformira — kot ostrina noža iz Č 6842, verjetno samo zato, ker je mehkejša.



Slika 3:

Deformacije rezil skobelnih nožev po enem udarcu. Preizkusi nožev iz jekla CRV so osnova za primerjanje skobelnikov z drugim vrstami nožev.

Fig. 3

Deformation of edges of planing knives after one impact. Tests with knives made of CRV steel were the basis for comparison of planing knives with the other tool types.



Slika 3 je primernejša za analizo vpliva smeri udarca kot izhodna slika 2, ki prikazuje deformacijo, oziroma izkrhanost rezila, ločeno za udarce, ki priletijo v smeri rezanja (kot nič) in ločeno za udarce, ki delujejo v smeri 45° glede na smer rezanja.

Ugotavljamo lahko dvoje: katero od jekel je najprimernejše za rezila, ki so obremenjena na močne udarce, in kakšni bi bili najugodnejši koti ostrine rezila. Predvsem podatke druge vrste nam daje samo žilavostni preizkus ostrine.

Prikazana porazdelitev enot v diagramu postavlja bolj žilava rezila na desno spodnjo stran slike. Tako so od preiskovanih rezil najbolj žilava tista iz jekla Č 4754 (CRV). Že pri precej velikih energijah udarnega nihala je odkrhanega manj kot za 0,2 mm rezila.

Rezila iz Č 6441 (OW 3) so seveda krhkejša in se skrhalo za 0,15 mm pri šibkejšem udarcu, kot je potreben za enako deformacijo rezila Č 4754 (CRV). Posebnost rezil iz Č 6441 (OW 3) je zelo majhna občutljivost na precej močne prečne udarce — to je delno posledica velikega kota ostrine noža. Sprememba nagiba premice s povečanjem energije udarca pove, ali je še možno zmanjšati kot rezine. Zmanjšanje razlike v energijah udarcev iz raznih smeri za poškodbe podobne velikosti pomeni, da smemo še zmanjšati kot ostrine. Po sliki sodeč je poškodba (odkrušeni del) večja, če prileti udarec od strani, kot če učinkuje samo v smeri ploščine noža.

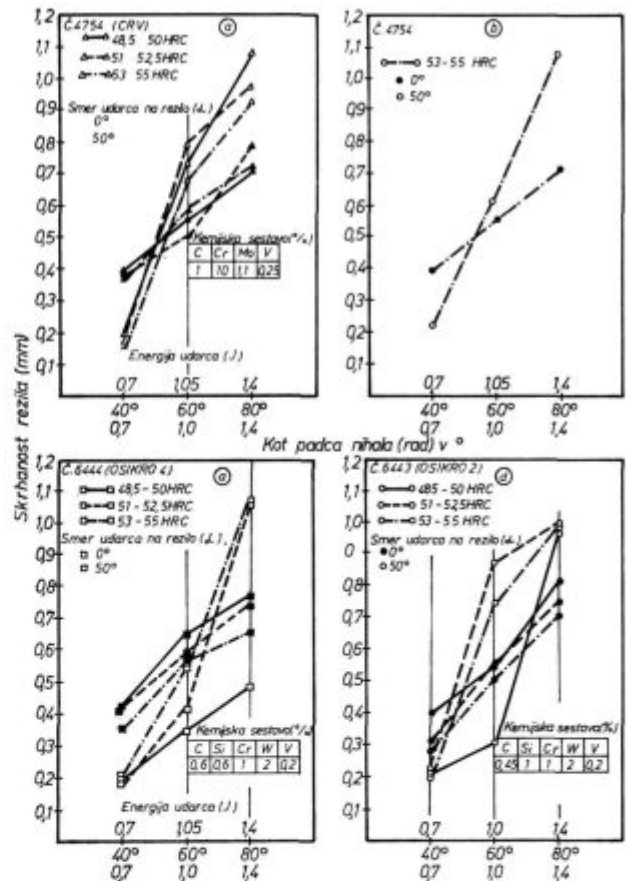
S tega vidika so zanimivi podatki o razlikah v odpornosti rezil iz jekel Č 6441 (OW 3), Č 6842 (OW special) in jekla, podobnega OW special (Č 6842), na udarce v smeri ploščine (in pravokotno na rezilni rob) ter na bočne udarce. Rezila iz Č 6441 (OW 3) lahko primerjamo z rezili iz ostalih dveh jekel le pogojno, ker imajo večji (bolj topi) kot ostrine (rezila). Daljice za Č 6441 (OW 3) so ravno zaradi toposti in s tem žilavosti ostrin bolj strme kot daljice za druga domača jekla, izjema niso niti rezila iz jekla Č 4754 (CRV), ki je zelo žilavo orodno jeklo. Daljica za nož iz jekla Č 4754 (CRV) je položna za deformacijo 0,4 mm, kar je posledica velike žilavosti in večjega kota rezila, kot ga imajo ostali noži, z izjemo nožev iz jekla Č 6441 (OW 3).

Posebnost sta jekli Č 6842 in njemu podobno, obe v obliki compound nožev. Prednost noža iz Č 6842 (OW special) je večja odpornost proti rahlim direktnim udarcem (v smeri rezanja), noži iz podobnega jekla pa so odpornejši na prečne udarce (pod kotom 45°) glede na smer rezanja. Glede na to, da je trdota nožev iz Č 6842 (OW sp.) za eno do dve enoti HRC nad trdoto drugega, podobnega jekla, se zdi normalno, da je daljica bolj položna kot za uvoženo jeklo. Kot kaže, je pri enakem kotu ostrine odpornost proti direktnemu udarcu dobro merilo trdote noža, odpornost proti bočnemu udarcu pa merilo upogibne žilavosti

jekla. Končni rezultati kažejo, da odnosi med trdoto in žilavostjo niso tako preprosti.

Energija, ki skrha ostrino noža za 0,2—0,4 mm, je nevarnejša za Č 6842 (OW special) kot za njemu podobno jeklo, če deluje prečno na rezilo. Dviganje energije udarca še poslabša stanje za Č 6842 z višjo trdoto, saj je manj odporen na prečne udarce, pa tudi na udarce v smeri ploščine noža.

Pri velikih hitrostih rezanja in s tem udarjanja rezila ob obdelovano snov moramo torej žilavost rezila iz Č 6842 (OW sp) na vsak način povečati in se nam pri tem splača žrtvovati nekoliko trdote. Kot kaže primerjava rezil iz teh dveh jekel, se pri močnih udarcih iz katerekoli smeri bolje obnese bolj žilavo jeklo. To pomeni, da je rezilo, ki doživlja močne udarce v smeri rezanja, dlje časa uporabno, če smo malo bolj poskrbeli za njegovo žilavost, kot v tem poskusnem primeru smo. Preizkusi z udarci v smeri pod kotom 20° glede na smer rezanja so dali rezultate, ki so povsem podobni rezultatom, dobljenim z udarci v smeri ploščine nožev.



Slika 4: Globina deformacije rezila sekirostrojskih nožev po enkratnem udarcu. Kot rezine 31°, pri uvoženem nožu 34°.

Fig. 4: Depth of edge deformation of mechanical-axe blades after single impact. Angle of edge 31°, for imported blade 34°.

### 3. Preizkus rezil nožev za sekirostroj z udarcem iz določene smeri

Slika 4 kaže rezultate preizkušanja žilavosti ostrine sekirostrojskih nožev. Na ordinati so prikazane deformacije ostrin, na abscisi energije udarcev, ki so te deformacije povzročili. Slika 5 kaže v drugi obliki iste podatke, tako da lažje primerjamo med seboj vsa štiri jekla. Ločeno lahko opazujemo odpornost rezil proti udarcem, ki delujejo v ploščini noža pravokotno na rezni rob, in odpornost proti bočnim udarcem, ki delujejo pod kotom  $50^\circ$  glede na ploščino noža.

Vsi preizkušani noži so razvrščeni v tri trdote skupine, da bi lahko določili vpliv toplotne obdelave na odpornost rezil proti udarcem iz raznih smeri.

V splošnem se pri vseh preizkušanih jeklih odpornost proti udarcem s strani glede na udarce v smeri rezila s povečevanjem energije udarcev zmanjšuje, saj se nagibi vseh premic z zvečevanjem energije udarnega nihala povečujejo.

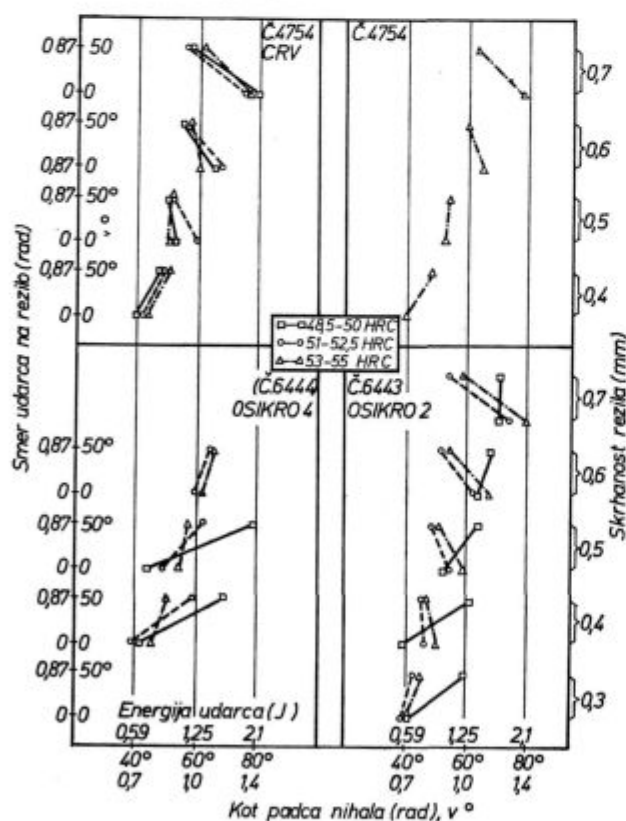
Za bočne udarce kaže primerjava različnih rezil, skrhanih za 0,6 mm, da se najlažje skrha ostrina zelo trdih nožev iz jekla Č 6443 (OSIKRO 2). Glede na porabljeno energijo za tolikšno skrhanje sledijo nožem iz tega jekla noži iz Č 4754 (CRV), noži iz podobnega jekla in nato noži iz Č 6444

(OSIKRO 4). Pri tem nismo upoštevali odpornosti najmanj trde skupine nožev iz Č 6443 (OSIKRO 2) in Č 6444 (OSIKRO 4). Če primerjamo nože trdot 48,5 do 50 HRC, se najbolj obneseta ravno ti jekli, jeklo Č 6444 (OSIKRO 4) bolje kot jeklo Č 6443 (OSIKRO 2). Za nož iz jekla, podobnega Č 4754, predpostavljamo, da se obnaša podobno kot nož iz jekla Č 4754, le malo več dela zahteva za enako skrhanje ostrine.

Na udarce v smeri, paralelni ploščini noža, so najbolj odporni od najtrše skupine noži iz Č 6443 (OSIKRO 2), iz Č 4754 (CRV), iz jekla, podobnega Č 4754, in noži iz Č 6444 (OSIKRO 4). Od najmanj trde skupine so najbolj odporni noži iz Č 4754 (CRV, nato noži iz Č 6443 (OSIKRO 2).

Če potrebujemo nože, ki morajo biti odporni predvsem proti pogostim udarcem v smeri rezanja, bomo izdelali rezila iz jekla Č 6443 (OSIKRO 2) in jih toplotno obdelali na visoko trdoto. Še boljša so rezila iz Č 4754 (CRV), ki jih toplotno obdelamo na nižjo od prikazanih trdot. Zaradi velike obrabne obstojnosti je Č 4754 (CRV) primernejši, je pa za bočne udarce enako občutljiv kot najtrši noži iz Č 6443 (OSIKRO 2). Za rezila, ki so pogosto izpostavljena udarcem s strani, bomo vzeli jeklo Č 6443 (OSIKRO 2) ali Č 6444 (OSIKRO 4) in takšne nože bomo toplotno obdelali na trdoto nižjega dela prikazanega trdotnega območja.

Sklenemo torej lahko: če nam gre pri nožih za odpornost proti enkratnemu močnemu sunku v smeri rezanja, npr. pri napravi Hitachi, sta za nože najprimernejši jekli Č 6443 (OSIKRO 2) in Č 4754 (CRV). Noži iz prvega naj se toplotno obdelajo na trdoto 55 HRC, noži iz drugega pa na nižjo. Če nastopa možnost močnega bočnega udarca, so primerni noži iz Č 6444 (OSIKRO 4), trdota 50 HRC ali Č 6443 (OSIKRO 2) s trdoto, ki je lahko tudi večja.



Slika 5:  
Globina deformacije rezila sekirostrojskih nožev po enkratnem udarcu.

Fig. 5  
Depth of edge deformation of mechanical-axe blades after single impact

### 4. Otopitev in odpornost proti ponavljajočim se udarcem

#### a) Bočni udarci

Na osnovi diagramov deformacija — udarna energija lahko izdelamo diagram, v katerem je za določene deformacije, oz. skrhanosti podana potrebna energija enega ali več udarcev (sl. 6).

Predpostavljamo podobnost obnašanja ostrine proti ponavljajočim se udarcem pri tem preizkusu in proti nenehnemu udarjanju med delovanjem noža. Na osnovi te predpostavke pridemo z ustrezno razlago preizkusnih rezultatov do pomembnih sklepov. Bočni udarci v čisti obliki med delovanjem noža ne nastopajo, do delnega krivljenja ostrine pa zaradi nehomogenosti sekanega lesa gotovo prihaja.

Na sliki 6 vidimo pri kotu udarca  $50^\circ$  in pri deformaciji 0,9 mm, da porabijo najmanj energije pri dvajsetkratnem udarjanju noži iz jekla Č 4754 (CRV), nato noži iz Č 6443 (OSIKRO 2) in nato tisti iz Č 6444 (OSIKRO 4). Na en udarec, ki

provzroči deformacijo 0,9 mm, so najbolj odporni (potrebujejo udarec z največjo energijo) noži iz Č 4754 (CRV), nato noži iz Č 6443 (OSIKRO 2) in nato noži iz Č 6444 (OSIKRO 4).

Energije posameznih udarcev za deformacijo različno trdih nožev iz Č 6444 (OSIKRO 4) se le neznatno razlikujejo, medtem ko se med energijo dvajsetih udarcev za deformacijo mehkega noža za 0,9 mm in energijo enakega števila udarcev za enako deformacijo trdega noža vidi velika razlika.

Vsota energij dvajsetih udarcev, ki povzročijo deformacijo 1,7 mm, je za nože iz vseh treh jekel približno enaka. Noži iz Č 4754 (CRV) so nekoliko slabši od ostalih. Najboljši so še najtrši. Po tem merilu bi bili od nožev iz Č 6443 (OSIKRO 2) najboljši najmehkejši, od nožev iz Č 6444 (OSIKRO 4) pa srednje trdi.

#### b) Udarci naravnost na rezilo

Poškodbe od udarcev v smeri rezila se močno razlikujejo od tistih, nastalih z bočnimi, stranskimi udarci. En udarec povzroči tako majhno poškodbo, da je ne moremo upoštevati v primerjavi efektov različnega števila udarcev. Druga značilnost teh poškodb je, da vse do petnajstih udarcev pada energija, potrebna za izbrano stalno velikost poškodbe. Pri nožih iz Č 6444 (OSIKRO 4) pa se zmanjšuje energija celo do dvajset udarcev, morda so potrebni pri večjem številu še šibkejši udarci.

Predpostavimo, da na otopitev sekistrojskega noža med delovanjem najbolj vplivajo udarci, ki stlačijo, zmeljejo površino ostrine. Čim manj energije porabi nož od velikega števila udarcev za to, da otopi, tem lažje in tem prej se bo otopil. Noži, ki rabijo z rastočim številom udarcev vse manj in manj energije za ustvarjanje poškodbe določene velikosti, so gotovo dvomljive kvalitete.

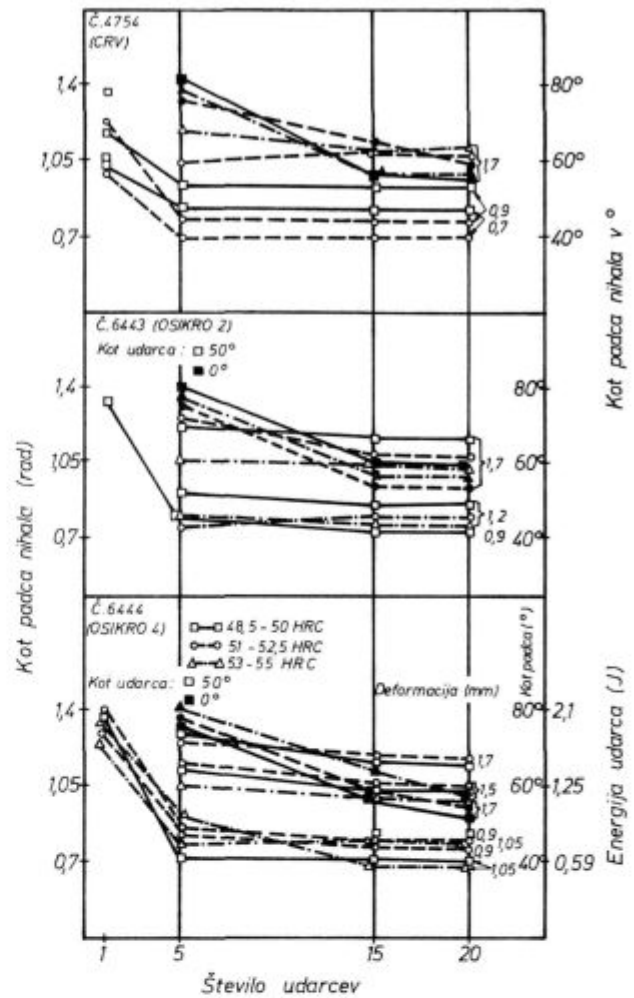
Odpornost proti udarcem pod kotom 0° je težko določiti, ker so razlike v potrošeni energiji precej majhne.

#### c) Pretres rezultatov

Proti bočnim udarcem so noži iz preizkušenih jekel precej različno odporni. Razvrstitev glede na odpornost proti enemu močnemu udarcu ali glede na odpornost proti večjemu številu udarcev je od najbolj odpornega k najmanj odpornemu jeklu takale: Č 6444 (OSIKRO 4), Č 6443 (OSIKRO 2), Č 4754 (CRV).

Glede na zmanjšanje energije potrebnih direktnih udarcev s povečevanjem njihovega števila pa je razvrstitev taka: Č 6443 (OSIKRO 2), Č 4754 (CRV), Č 6444 (OSIKRO 4). Slika 5 pa kaže, da nastopi enaka razvrstitev tudi pri primerjavi energij za najmanjšo ločljivo skrhanost, ki je v tem primeru 0,4 mm.

Proti otopitvi bi bili torej najbolj odporni noži iz jekla Č 6443 (OSIKRO 2). Če ta predpostavka drži, so najbolj odporni proti otopitvi tisti noži, ki so pri enaki trdoti najbolj žilavi. To pa najbrž res velja.



Slika 6:  
Odpornost proti ponavljajočim se udarcem.

Fig. 6  
Resistance to repeated impacts.

Zato sklepamo, da so noži, ki so najbolj odporni proti enemu rahlemu udarcu v smeri rezine, tudi najbolj odporni proti otopitvi.

## 5. Sklepi

Preizkušanje žilavosti ostrine je šele v začetni fazi svojega razvoja, zato obstajajo po svetu nekoliko različne metode in priprave za preizkušanje žilavosti nožev. Z domačo napravo in po svojem poskusnem postopku smo dobili rezultate, ki nam lahko po primerni analizi in interpretaciji zelo veliko pomagajo pri izboljšavi kvalitete skobelnih, sekistrojskih in podobnih nožev za rezanje ter sekanje lesa, papirja in podobnega. Predvsem za preizkus in kontrolo kvalitete sekistrojskih nožev je prikazana metoda skoraj nepogrešljiva.

1. S tem vsestranskim modelnim preizkušanjem žilavosti nožev lahko ločeno ugotovljamo odpornost proti udarcem, ki učinkujejo v smeri rezila ali v katerikoli drugi smeri glede na rezilo.

2. Ker se preizkušanec s preizkusom ne uniči, lahko na isto mesto ponovimo udarec, kolikor krat želimo. Tako lahko ugotovljamo poleg žilavosti ostrine, določene z učinkom enega udarca, še odpornost proti otopitvi.

3. Veliko razločnejše so razlike med žilavostmi, merjenimi z bočnimi udarci, kot med žilavostmi, merjenimi s čelnimi udarci.

4. Odpornost proti najšibkejšemu udarcu, ki že povzroči na ostrinah različnih nožev tako velike deformacije, da jih lahko primerjamo, je verjetno kar merilo odpornosti proti otopitvi.

Vir:

1. Carr H.: Some Developments in Heat Treatments. Iron and Steel, 1950, vol. 23, str. 383—388.

## ZUSAMMENFASSUNG

Die Zähigkeit der Schneide ist ziemlich unerforscht, jedoch ist diese bei schlagartig beanspruchten Messern sehr wichtig. Im Artikel wird der Einfluss der Schlagzahl und der Schlagrichtung auf die Verformbarkeit der Messer beim Hacken von Holz gezeigt. Die Beständigkeit gegen die Abstumpfung der Schneide beim normalen Betrieb eines schlagartigbeanspruchten Messers ist theoretisch ausgeführt worden. Diese Beständigkeit wird durch den Verlauf

der Verformung oder durch die verbrauchte Energie bei wachsender Schlagzahl gezeigt.

Wenn nach bestimmter Schlagzahl die Energie der einzelnen Schläge, welche zusammen eine bestimmte Verformung verursachen, nicht mehr abnimmt, ist der Messer beständig gegen die Verformung der Schneide. Wenn aber bei wachsender Schlagzahl deren Energie für eine bestimmte gewählte Verformung ständig abnimmt, ist der Messer nur wenig gegen die Verformung der Schneide beständig.

## SUMMARY

Toughness of the edge is not much investigated property but it is very important for impact loaded edges. Influence of the direction and the number of impacts on the deformation of knives for cutting wood is presented. Resistance to blunting for normal operation of the impact loaded knife was deduced theoretically. This resistance is influenced by the deformation of the consumed energy with increasing number of impacts.

If the energy of single impacts which cause a determined degree of total deformation is no more reduced after a critical number of impacts, the tool is resistant to blunting. On contrary, if the energy of impacts for determined degree of total deformation is constantly reduced with the increased number of impacts, the knife has low resistivity to bluntness.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вязкость лезвия пока ещё недостаточно исследована, хотя при резах подверженных ударной нагрузке имеет очень большое значение. Подано влияние направления и числа толчков на деформацию ножей, которые применяются для рубки древесины. Теоретически определенное сопротивление реза под нагрузкой при нормальной работе. На это сопротивление указывает ход деформации или расход энергии с увеличением числа толчков.

Если после увеличения числа толчков свыше определенного числа энергия отдельных толчков, которые совокупно вызывают определенную выбранную деформацию больше не уменьшается, значит резец износостойкий против затупления. Если же с увеличением числа толчков их энергия, выбранная для определенной совокупной деформации постоянно уменьшается значит, что устойчивость ножа на затупление очень незначительна.

# Nerjavno jeklo za turbinske lopatice s 13% Cr

UDK: 669.14.018.8  
ASM/SLA: SS-01

Bogdan Stocca

*Preiskave plastičnosti jekla za turbinske lopatice s 13% Cr. Vplivi različnih vsebnosti C in Ni na strukturo. Preiskave torzije, kovnosti in mehanskih lastnosti pri temperaturah vroče predelave.*

V eni od prejšnjih števil *Železarskega zbornika* smo objavili članek o preiskavah varjenja ter o mehanskih rezultatih, ki smo jih dosegli pri različno obdelanih variantah (različna vsebnost C in Ni) nerjavnega jekla za turbinske lopatice.

Te lopatice se običajno izdelujejo v litem stanju, ki prinaša s seboj številne težave, kot so mehurčavost, krivljenje pri varjenju itd.

Da bi vsaj del teh napak odpravili, smo prišli do zaključka, da bi se turbinske lopatice lahko izdelovale iz valjane pločevine. Seveda so se s tem pojavila številna vprašanja, kako izdelati in predvsem kako predelati omenjeno jeklo.

Poznano je, da že majhne količine ferita lahko kvarno vplivajo na plastičnost jekla pri temperaturah vročega preoblikovanja. Zaradi navedenega smo želeli pred praktičnimi preiskavami plastičnosti ugotoviti (pri raznih variantah) strukture v temperaturnem območju plastične predelave v vročem. V ta namen smo v VF peči vlili 5 kg bloke in te prekovali v preizkušance premera 16 mm za preiskave torzije in premera 10 mm za trgalne in za metalografske preiskave. Poleg navedenega smo vlili še konusne odlitke višine 50 mm za preiskave kovne sposobnosti.

Sestava elementov za posamezne variante je razvidna v navedeni tabeli I.

TABELA I:

Varianta	Kemična analiza v %							
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
1	0,05	0,22	0,52	0,010	0,008	13,20	1,90	0,47
2	0,04	0,27	0,55	0,010	0,013	13,00	4,05	0,47
3	0,04	0,27	0,57	0,017	0,010	12,85	6,20	0,53
4	0,07	0,24	0,54	0,018	0,015	12,70	1,85	0,50
5	0,07	0,28	0,58	0,015	0,013	13,10	4,15	0,48
6	0,08	0,25	0,57	0,012	0,010	13,20	5,85	0,50

## Določevanje ferita

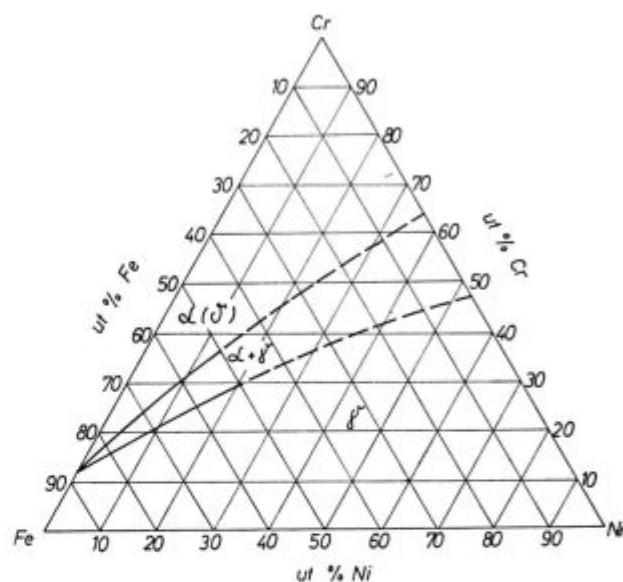
Prisotnost ferita smo skušali odkriti s fiksiranjem struktur. Vzorce smo s temperatur 1000–1100 in 1200°C ohladili v vodi. Ker v strukturah, ki

smo jih metalografsko analizirali, nismo mogli ugotoviti prisotnosti ferita, smo te preiskave opustili. Morebitno prisotnost ferita smo skušali dokazati s pomočjo ternarnih diagramov.

Iz Fe-Cr-Ni diagrama (slika 1), ki nam prikazuje razporeditev posameznih faz v temperaturnem območju maksimalne vsebnosti avstenita, je razvidno, da se točke s 13% Cr in 2 in 4, oziroma 6% Ni nahajajo v  $\gamma$  strukturnem območju. Če upoštevamo še določeno vsebnost C in N v jeklu pa se vse te točke premaknejo še bolj v desno, to je globoko v avstenitno področje.

Enako potrditev smo našli tudi v Fe-Cr-Ni diagramu (0,1% C), v katerem so razvidne posamezne strukturne faze, ki so nastale po hitrem ohlajevanju iz temperatur maksimalne vsebnosti avstenita. Iz tega diagrama (slika 2) je razvidno, da se vse točke s 13% Cr in 2–4–6% Ni nahajajo v čistem martenzitnem področju.

Na osnovi navedenih ugotovitev smo sklepali, da predmetna jekla v temperaturnem območju 900–1300°C ne vsebujejo ferita, temveč čisto avstenitno fazo.

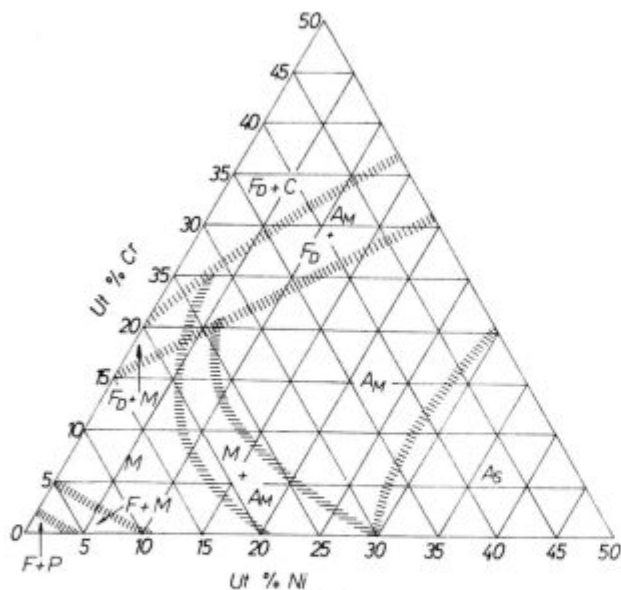


Slika 1:

**Ternarni Fe-Cr-Ni diagram**  
Razporeditev faz v območju maksimalne vsebnosti avstenita (900–1300°C)

Fig. 1

**Ternary Fe-Cr-Ni phase diagram**  
Distribution of phases in the region of maximal austenite content (900 to 1300°C)

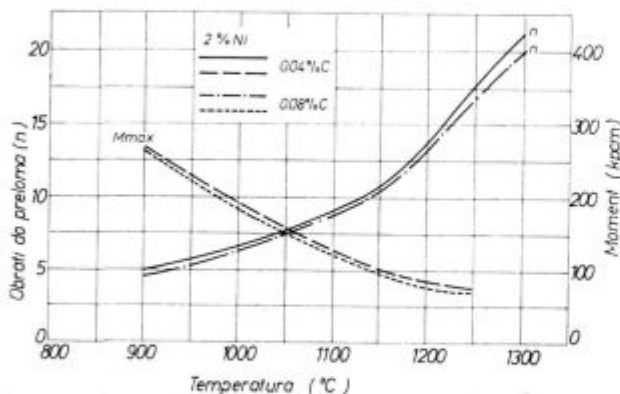


Slika 2:  
Ternarni Fe-Cr-Ni (0,1 %) diagram  
Razporeditev faz po hitrem ohlajanju iz temperatur maksimalne vsebnosti avstenita  
Fig. 2  
Ternary Fe-Cr-Ni (0.1 %) phase diagram  
Distribution of phases after fast cooling from the temperatures of the maximal austenite content

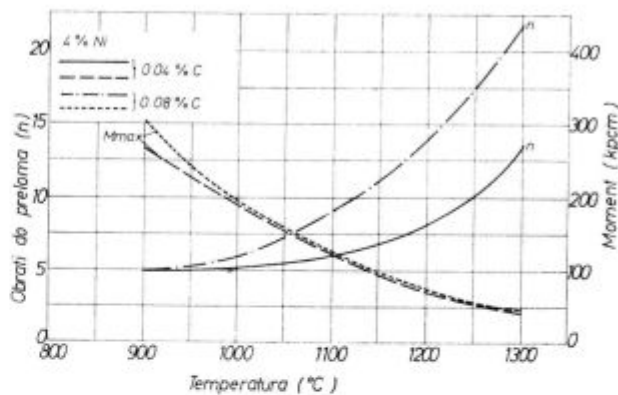
### Torzija in momenti

Preiskave torzije in momentov v vročem smo določevali na kovanih in naknadno mehansko obdelanih preizkušancih z delovnim premerom 9,5 mm in merilne dolžine 30 mm. Preiskave smo izvedli v temperaturnem območju 1300–900° C z 10 min. zadrževanju na predpisani temperaturi. Preizkus torzije smo izvedli pri 85 ob/min. Iz rezultatov, ki so podani na slikah 3, 4 in 5, je razvidno:

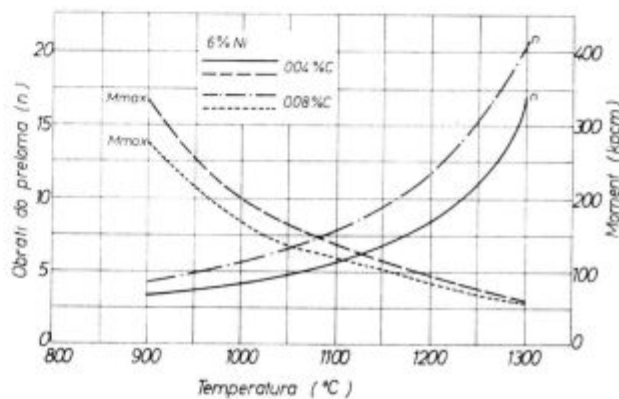
— da pri varianti z nizko vsebnostjo niklja ni bistvene razlike v vrednostih števila torzij in momentov glede na vsebnost ogljika in temperature



Slika 3:  
Torzijski preizkus  
Varianti 1 in 4  
Fig. 3  
Torsion test  
Variants 1 and 4



Slika 4:  
Torzijski preizkus  
Varianti 2 in 5  
Fig. 4  
Torsion test  
Variants 2 and 5



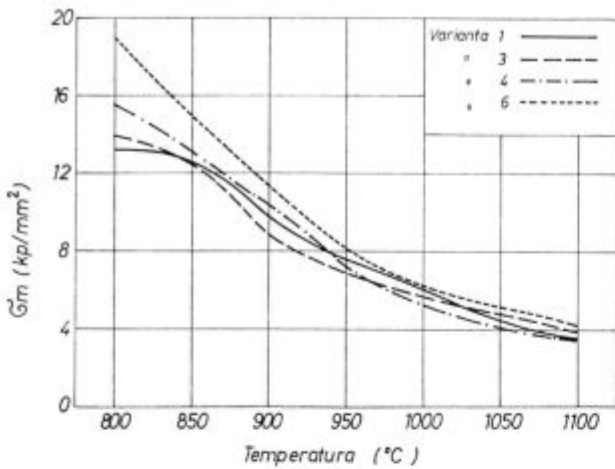
Slika 5:  
Torzijski preizkus  
Varianti 3 in 6  
Fig. 6  
Torsion test  
Variants 3 and 6

— da je opazen vpliv ogljika na število obratov do porušitve pri saržah z višjo vsebnostjo niklja

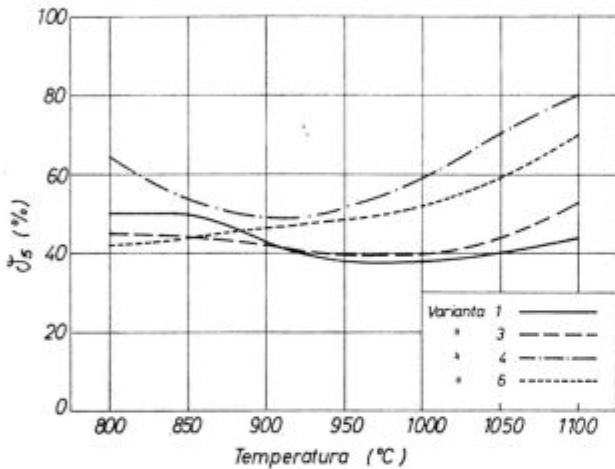
### Mehanske lastnosti

Preiskave mehanskih lastnosti smo izdelali v temperaturnem intervalu od 800–1100° C, in to na saržah z nizko vsebnostjo ogljika in skrajnima vrednostma niklja (varianta 1 in 3) ter na saržah z višjo vsebnostjo ogljika in s skrajnima vsebnostima niklja (varianta 4 in 6).

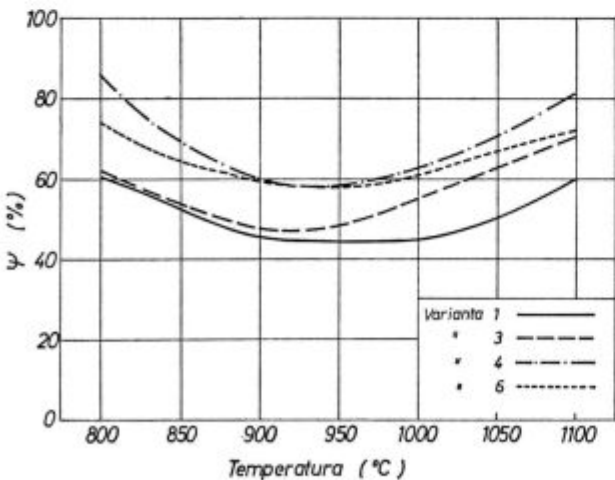
Iz kovanih palic, ki smo jih morali odžariti zaradi mehanske obdelave, smo izdelali mikrotrgalne preizkušance z navoji merne dolžine  $l = 30$  mm in premera 4 mm. Trganje smo opravljali v uporovno segreti pečici, in sicer tako, da smo preizkušance držali 10 minut na temperaturi. Porušitve smo izvedli s hitrostjo 4,25 mm/min. Trgalne preizkuse smo izdelali v 3 paralelakah.



Slika 6:  
Vrednosti trdnosti v temperaturnem intervalu 800—1100° C  
Fig. 6  
Strengths in the 800 to 1100 °C interval



Slika 7:  
Vrednosti raztezkov v temperaturnem intervalu 800—1100° C  
Fig. 7  
Elongations in the 800 to 1100 °C interval



Slika 8:  
Vrednosti kontrakcije v temperaturnem intervalu 800—1100° C  
Fig. 8  
Contractions in the 800 to 1100 °C interval

Slike 6, 7 in 8 nam prikazujejo vrednosti za trdnost, raztezek in kontrakcijo v odvisnosti od temperature. Iz poteka krivulj bi lahko sklepali naslednje:

— pri nizkih temperaturah ima varianta 6 višjo trdnost, pri temperaturi nad 950° C pa razlike med posameznimi variantami izginejo;

— varianti z višjo vsebnostjo ogljika imata ne glede na vsebnost niklja višje vrednosti raztežka in kontrakcije od variant z nižjo vsebnostjo ogljika;

— pri saržah z enako vsebnostjo ogljika ni opazen vpliv niklja na mehanske lastnosti;

— najnižjo vrednost raztezkov in kontrakcije pri temperaturi nad 900° C ima varianta z nizko vsebnostjo ogljika (cca 0,04 %) in najnižjo vsebnostjo niklja (cca 2 %);

— vrednosti raztezkov in kontrakcije padajo do 900—950° C, nakar začenjajo ponovno naraščati.

### Preiskave kovnosti

Poleg preiskav torzije in preiskav mehanskih lastnosti smo izdelali na vseh variantah še preiskave kovne sposobnosti, in to na odlitkih konusne oblike, katerim smo z brušenjem odstranili najbolj grobe površinske napake. Te konuse smo nato po 60-minutnem zadrževanju na temperaturah 1150 in 1250° C kovali tako, da smo izvedli cca 60 % redukcijo višine.

Z očno kontrolo smo ugotovili, da so imeli vzorci vseh variant lepe robove brez razpok, razen vzorcev variante 1, katerih robovi so bili rahlo razpokani.

### ZAKLJUČEK

Iz preiskav torzij, mehanskih lastnosti, strukture in kovne sposobnosti bi lahko sklepali naslednje:

1. Število obratov do porušitve konstantno narašča z naraščajočo temperaturo, vendar je to naraščanje nad 1000—1100° C mnogo bolj rapidno, kar se ujema z rezultati mehanskih lastnosti.

2. Variante z višjo vsebnostjo ogljika (cca 0,08 %) imajo višje število obratov od variant z nižjo vsebnostjo ogljika (cca 0,04 %). To je posebno upadljivo pri variantah s 4, oziroma 6 % Ni.

3. Momenti konstantno padajo z naraščajočo temperaturo.

4. Vrednosti raztezkov in kontrakcije padajo do temperature 900—950° C, nakar začenjajo naraščati. Najnižje vrednosti sovpadajo s pričetkom močnejšega naraščanja števila obratov do porušitve.

5. Najvišje vrednosti raztezkov in kontrakcije smo opazili pri saržah z višjo vsebnostjo ogljika in najnižje pri saržah z nizko vsebnostjo ogljika in cca 2 % Ni.

6. Pri določevanju kovne sposobnosti smo ugotovili pri vzorcu s cca 2 % Ni in cca 0,04 % C rahle razpoke.

7. Kaže, da v področju vroče predelave ni feritne strukture.

#### Literatura

- Metal Handbook, 1948 Edition American society for metals
- B. Stocca, J. Mesec, Zelezarski zbornik 1977, 3, stran 153

### ZUSAMMENFASSUNG

Um die Verformungsfähigkeit des Stahles mit 13 % Cr, welcher für die Herstellung der Turbinenschaufeln angewendet wird festzustellen sind bei der Temperatur der plastischen Verformung entsprechende Untersuchungen durchgeführt worden. Erstens Untersuchungen über die mögliche Anwesenheit des zweiphasigen auste-

nitisch-ferritischen Gefüges, die Warmtorsionsproben mit der Bestimmung der Umdrehungszahl und der Momente bis zum Bruch, und die Untersuchungen über die Schmiedbarkeit. Weiter sind die mechanischen Eigenschaften, die Festigkeit, die Dehnung und die Einschnürung im Temperaturbereich von 800—1100° C bestimmt worden.

### SUMMARY

Suitable investigations in the temperature region of plastic working were made with 13 % Cr steel for turbine blades in order to determine its ability for deforming. Possible presence of two-phase austenite-ferrite structure

was checked. Number of revolutions and moments needed for fracture was measured, and forgeability was determined. Strength, elongations, and contractions were measured in the 800 to 1100° C range.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для того, чтобы определить деформируемость стали с 13 % Cr, предназначенной для изготовления турбин были при т-ах пластической переработки выполнены соответствующие исследования. Определяли возможность присутствия двухфазовой аустенитно-ферритной структуры. Выполнены испытания касающийся

числа оборотов и моментов до предела прочности на разрыв, а также исследования ковности стали.

Определяли значение для прочности, удлинение и сужение в т-ых пределах между 800—1100° C.

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

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

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



# VSEBINA

UDK: 669.046.428

ASM/SLA: B 15r

Metalurgija — priprava sekundarnih surovin — jeklarski prah — piritni ogorki — čiščenje, peletizacija

B. Zalar, V. Osterc, J. Wohinz

**Vključitev jeklarskega prahu in škaže v klorirni postopek predelave piritnih ogorkov**

Zelezarski zbornik 12 (1978) 3 s 77—85

V Sloveniji ostaja letno neizkoriščeno ca. 12.000 t jeklarskih prahov, ca. 6.000 t škaže raznih izvorov in ca. 3.500 obruskov. Lokalne možnosti izkoriščanja, kakor tudi izkoriščanja skupne količine, niso ekonomsko upravičene. Z raziskavami je potrjena možnost dodajanja teh količin v predvideni klorirni postopek predelave ca. 90.000 t piritnih in ferosulfatnih ogorkov letno. Ugotovljena je določena kvantitativna omejitev dodajanja kot posledica prisotnosti cinka v jeklarskih prahovih v kompleksni obliki; kemizem procesa kloriranja pa bazira na oksidih neželeznih kovin.

Direktni stroški predelave optimalne mešanice 85 % piritnih ogorkov, 8 % jeklarskih prahov in 7 % škaže in obruskov v kemijsko očiščene in utrjene pelete za uporabo v plavžih in za nadaljnji proces metalizacije se povečajo za ca. 13 %, stroški investicijskih vlaganj pa za ca. 5 %. Ugotovljena je rentabilnost takšne skupne predelave.

Avtorski izveček

UDK: 669.14.018.25

ASM/SLA: Q29, Q6n, Q6s

Metalurgija — žilavost ostrine — orodja za hladno delo

F. Uranc

**Odpornost proti zatopitvi in žilavost ostrine**

Zelezarski zbornik 12 (1978) 3 s 99—104

Z merjenjem žilavosti ostrine lahko teoretično določimo odpornost rezil proti zatopitvi. Primerjamo poteke krivulj deformacije ali krivulj potrebnih energij udarcev v odvisnosti od števila udarcev.

Na primerih industrijskih nožev smo prikazali učinke različnega števila udarcev iz raznih smeri.

Avtorski izveček

UDK: 669.15.018.252.3

ASM/SLA: D8n, AD-pis 6

Metalurgija, izdelava jekel po EPZ-postopku, brzorezna jekla, modifikacija karbidov

B. Koroušič, J. Rodič, A. Rodič, F. Vodopivec, J. Pšeničnik

**Vpliv modifikatorjev na mehanizem strjevanja, homogenost in naravo karbidov brzoreznej jekel izdelanih po postopku EPZ (I. del — Modifikacija jekla C. 7680 (BRM-2) izdelanega po EPZ-postopku)**

Zelezarski zbornik 12 (1978) 3 s 87—97

Pri pretaljevanju brzoreznej jekel pod žlindro se ne dosežejo vedno optimalne lastnosti. Velikost karbidov narašča z velikostjo ingota in je odvisno od hitrosti taljenja jekla. Dodatki modifikatorjev pred strjevalno fronto vplivajo na potek strjevanja in mehanizem nastajanja eutektskih karbidov. Na poskusnih EPZ-ingotih je študiran vpliv dodatka: Al + Mg + Ti pri različnih količinah dušikov pri izdelavi brzoreznej jekla BRM-2 (C. 7680). Analizirane so lastnosti modificiranih jekel in vršena primerjava s standardno izdelanim jeklom BRM-2. Doseženi so pozitivni rezultati, ki se kažejo v manjšem avstenitnem zrnu in manjši občutljivosti jekla na temperaturo kaljenja. Delno izboljšanje porazdelitve karbidov in trdote jekla.

Avtorski izveček

UDK: 669.14.018.8

ASM/SLA: SS-d

Metalurgija — plastičnost — nerjavno jeklo

B. Stocca

**Nerjavno jeklo za turbinske lopatice s 13 % Cr**

Zelezarski zbornik 12 (1978) 3 s 105—108

Preiskave plastičnosti jekla za turbinske lopatice s 13 % Cr. Vplivi različnih vsebnosti C in Ni na strukturo.

Preiskave torzije, kovnosti in mehanskih lastnosti pri temperaturah vroče predelave.

Avtorski izveček

# INHALT

UDK: 669.14.018.25

ASM/SLA: Q29, Q6n, Qs

Metallurgie — Schneideschlagfestigkeit — Werkzeuge für Kaltarbeit

F. Uranc

**Schlagfestigkeit und Zähigkeit der Schneide**

Zelezarski zbornik 12, 1978, 3 S 99—104

Durch die Messung der Schneidezähigkeit kann theoretisch die Beständigkeit der Messer gegen Abstumpfung bestimmt werden. Es wird nur der Verlauf der Verformungskurven, oder der Kurven der nötigen Schlagenergie in Abhängigkeit von der Schlagzahl verglichen.

An Beispielen von Industriemessern wird die Wirkung verschiedener Schlagzahl von verschiedenen Richtungen gezeigt.

Auszug des Autors

UDK: 669.046.428

ASM/SLA: B15r

Metallurgie — Vorbereitung der Sekundärrohstoffe — Stahlwerksstaub — Pyritasche — Reinigung — Peletisierung

B. Zalar, V. Osterc, J. Wohinz

**Einschliessung des bel der Entstaubung in Stahlwerken entstehenden Staubes und des Zunders in das Chlorierverfahren bei der Verarbeitung von Pyritasche**

Zelezarski zbornik 12 (1968) 3 S 77—85

In den slowenischen Stahlwerken entsteht jährlich ca 12000 t Stahlwerksstaub, ca 6000 t Zunder verschiedenen Ursprungs und ca 3500 t Schleifabfälle die nicht verwertet werden. Die Verwertung dieser Materiale am Ort der Entstehung sowie die Verwertung der gesamten Menge sind nicht ökonomisch berichtigt.

Die Untersuchungen ergaben die Möglichkeit der Zugabe dieser Mengen in das geplante Chlorierverfahren der Verarbeitung von ca 90.000 t Pyritasche und Ferrosulfatischen Abfällen jährlich. Eine bestimmte quantitative Begrenzung dieser Zusätze ist festgestellt worden. Diese ist bedingt durch die Anwesenheit von Zink im Stahlwerksstaub in einer komplexen Form. Der chemische Prozess des Chlorierverfahrens beruht aber an Oxyden der Nichteisenmetalle.

Die direkten Verarbeitungskosten einer optimalen Mischung von 85 % Pyritasche, 8 % Stahlwerksstaub und 7 % Zunder und Schleifabfällen in chemisch gereinigte und verfestigte Pellets für die Verwendung in Hochöfen oder Metallisierung werden um 13 % und die Investitionskosten um ca 5 % höher. Die Rentabilität einer solchen gesamten Verarbeitung ist festgestellt worden.

Auszug des Autors

UDK: 669.14.018.8

ASM/SLA: SS-01

Metallurgie — Verformungsfähigkeit — Nichtrostender Stahl

B. Stocca

**Nichtrostender Stahl für Turbinenschaufeln mit 13 % Cr**

Zelezarski zbornik 12 (1978) 3 S 105—108

Der Artikel enthält die Untersuchungen der Verformungsfähigkeit des Stahles mit 13 % Cr für Turbinenschaufeln. Weiter den Einfluss verschiedener Kohlenstoff und Nickelgehalte auf das Gefüge. Und zuletzt Warmtorsionsversuche, Untersuchungen der Schmiedefähigkeit und der mechanischen Eigenschaften bei den Temperaturen der Warmformgebung.

Auszug des Autors

UDK: 669.15.018.253.3

ASM/SLA: D8n, AD-p36

Metallurgie — ESU Verfahren — Schnelldrehstähle — Modifizierung der Karbide

B. Koroušič, J. Rodič, A. Rodič, F. Vodopivec, I. Pšeničnik:

**Einfluss der Impfmittel auf den Erstarrungsmechanismus, die Homogenität und die Morphologie der Karbide in den Schnelldrehstählen, erzeugt nach dem ESU Verfahren (I. Teil — Modifizierung des Stahles C 7680 (BRM-2) erzeugt nach dem ESU Verfahren).**

Zelezarski zbornik 12 (1978) 3 S 87—97

Beim Elektroschlackeeumschmelzen der Schnelldrehstähle können nicht immer die besten Eigenschaften erzielt werden. Die Karbidkorngrösse wächst mit der Blockgrösse und ist von der Abschmelzgeschwindigkeit des Stahles abhängig.

Die Impfmittelzusätze vor der Erstarrungsfront beeinflussen den Erstarrungsverlauf und den Entstehungsmechanismus der eutektischen Karbide. An den ESU Versuchsblöchen des Schnelldrehstahles C 7680 (BRM-2) ist der Einfluss des Impfmittels Al + Mg + Ti bei verschiedenem Stickstoffgehalt studiert worden. Die Eigenschaften der modifizierten Stähle sind analysiert worden. Ein Vergleich mit einem konventionellerzeugten Stahl BRM-2 ist durchgeführt worden. Die Ergebnisse sind positiv und zeigen sich in kleinerem Austenitkorn und kleinerer Empfindlichkeit gegen die Härtetemperatur. Eine teilweise Verbesserung der Karbidverteilung und Stahlhärte ist erzielt worden.

Auszug des Autors

# CONTENTS

UDK: 669.046.428

ASM/SLA: B15r

Metallurgy — Preparation of secondary raw materials, steel-plant dusts, pyrite cinder, purification, pelletizing

B. Zalar, V. Osterc, J. Wohinz

**Use of dust and scale of steel-making plant in chlorination process for pyrite cinder**

Zelezarski zbornik, 12 (1978) 3 P 77—85

About 12,000 tpy of steel-plant dusts, about 6,000 tpy various scales, and about 3,500 tpy of grinding dusts remain unused in Slovenia. Local possibilities of the application or the application of the whole amount economically is not justified. Investigations confirmed the possibility of adding these materials to about 90,000 tpy of pyrite and ferrosulphate cinder in the designed chlorination process. The additions are limited mainly due to zinc content in steel-plant dusts which is in complex ferritic form; chemistry of chlorination is namely based on oxides of non-ferrous metals.

Direct operational costs for optimal mixtures of 85 % pyrite cinder, 8 % steel-plant dusts, an 7 % scale and grinding dusts to obtain chemically pure and hardened pellets for the burden of blast furnace and further process of metallization are increased for about 13 % while investing costs are increased for about 5 %. Profitableness of such joint treatment was confirmed.

Author's Abstract

UDK: 669.14.018.25

ASM/SLA: Q29, Q6n, Q6s

Metallurgy — Edge toughness — Tools for cold work

F. Uranc

**Resistance to blunting and toughness of the edge**

Zelezarski zbornik, 12 (1978), 3 P 99—104

Resistance of blades to bluntness can be theoretically determined by measurements of the edge toughness. Curves of deformation and curves of energy of impacts depending on the number of impacts were compared.

Influence of various numbers of impacts from various directions was presented on the industrial tools.

Author's Abstract

UDK: 669.15.018.252.3

ASM/SLA: D8n, AD-ps6

Metallurgy, ESR process for steel manufacturing, High-speed steel Modification of carbides

B. Koroušič, J. Rodič, F. Vodopivec, J. Pšeničnik

**Influence of modifying agents on the solidification mechanism, homogeneity and nature of carbides in high-speed steel manufactured by ESR (Part I: Modification of C. 7680 (BRM-2) electroslag remelted steel)**

Zelezarski zbornik, 12 (1978) 3 P 87—97

In electroslag remelting of high-speed steel optimal properties are not always obtained. Size of carbides is increased with the size of ingot and it depends on the steel melting rate. Additions of modifying agents before the front of solidification influence the solidification and the mechanism of formation of eutectic carbides. Influence of Al + Mg + Ti addition at various amounts of nitrogen in manufactured BRM-2 (C. 7680) high-speed steel was studied on experimental ESR ingots. Properties of modified steel were tested and compared with those of normally manufactured BRM-2 steel. The obtained results were positive since the austenite grain size was reduced and the steel was less susceptible to quenching temperature. Distribution of carbides and steel hardness was partially improved.

Author's Abstract

UDK: 669.14.018.8

ASM/SLA: SS-d

Metallurgy — Plasticity — Stainless steel

B. Stocca

**Stainless steel with 13 % Cr for turbine blades**

Zelezarski zbornik, 12 (1978), 3 P 105—108

Investigations of plasticity of steel with 13 % Cr for turbine blades.

Influence of various carbon and nickel contents on the structure. Investigations of torsion, forgeability, and mechanical properties at the temperatures of hot processing.

Author's Abstract

## СОДЕРЖАНИЕ

УДК: 669.14.018.25  
АСМ/САА: Q29, Q6n, Q6s

Металлургия — вязкость лезвия — инструменты для холодной переработки

F. Uranc

Сопротивление против притупления и вязкость лезвия  
Zelezarski zbornik 12 (1978) 3 С 99—104

С измерением вязкости лезвия можно теоретически определить сопротивление реза против притупления. Для этой цели сравнены кривые деформации или кривые толчков, которым необходима определенная энергия в зависимости от числа толчков.

На отдельных примерах применения ножей в промышленности рассмотрена эффективность действия различного числа толчков из разных направлений.

Автореф.

УДК: 669.046.428  
АСМ/САА: B15r

Металлургия — приготовление вторичного сырья — стальная пыль — пиритные огарки — очистка — окомкование.

B. Zalar, V. Osterc, J. Wohinz

Включение стальной пыли и окалины в способ хлорирования при переработки пиритных огарков  
Zelezarski zbornik 12 (1978) 3 С 77—85

Каждый год в Словении остается неиспользовано прибл. 12,000 т стальной пыли, прибл. 6,000 т окалины разных происхождений и прибл. 3,500 т отходов от шифования. Локальные возможности использование, а также использование совокупного количества упомянутых отходов — экономически обосновано. На основании исследований подтверждена возможность использование этих отходов как добавка к переработки прибл. 90,000 т пиритных и ферросульфатных огарков, предусмотренное способом хлорирования (в год). Определены количественное ограничение этой добавки вследствие присутствия цинка в стальной пыли в комплексной форме; процесс же химического хлорирования основывается на окисляемых цветных металлах.

Прямые расходы переработки оптимальной смеси, состоящей из 85-ти % пиритных огарков, 8-и % стальной и 7 % окалины и отходов шифования в форме отвержденных окатышей для употребления в доменных печах и для дальнейшего процесса металлизации увеличиваются прибл. на 13 %, а расходы капитального вложения прибл. на 5 %.

Установлена рентабельность такой совместной переработки.  
Автореф.

УДК: 669.14.018.8  
АСМ/САА: СС-А

Металлургия — пластичность — нержавеющая сталь

B. Stocca

Нержавеющая сталь для лопаток турбин с 13 % Cr  
Zelezarski zbornik 12 (1978) 3 С 105—108

Рассмотрено исследование о пластичности стали для лопаток турбин с содержанием 13 % Cr также влияние различного содержания С и Ni на структуру. Поданы результаты исследований кручения, ковкости и механических свойств при t-ax горячей переработки.

Автореф.

УДК: 669.15.018.252.3

АСМ/САА: D8n, AD-пс 6

Металлургия — изготовление стали ЭПЖ-способом — быстрорежущие стали — модификация карбидов

B. Koroušič, J. Rodič, A. Rodič, J. Pšeničnik

Влияние модификаторов на механизм отверждения, на гомогенность и породу карбидов быстрорежущих сталей изготовленных ЭПЖ-способом (I. часть — Модификация стали С. 7680 (BRM-2) изготовленного ЭПЖ-способом).

Zelezarski zbornik 12 (1978) 3 С 87—97

При переплавке быстрорежущих сталей под шлаком не всегда удается получить оптимальные свойства. Величина карбидов возрастает с увеличением слитков и зависит от быстроты плавления стали. Добавление модификаторов до затвердения оказывает влияние на ход затвердения и на механизм образования эвтектических карбидов. На опытных ЭПЖ-слитках изучали влияние добавки модификаторов Al + Mg + Ti с различным содержанием азота при изготовлении быстрорежущей стали марки BRM-2 (С. 7680). Рассмотрены свойства модифицированных сталей и подано сравнение с сталью этой же марки, изготовленной стандартным способом.

Полученные положительные результаты представляют мелкозернистость аустенита и уменьшение чувствительности стали на t-ру закалки, а также на частичное улучшение распределение карбидов и на твердость стали.

Автореф.