

# ŽELEZARSKI ZBORNIK

## VSEBINA

	Stran
Rodič Jože — Železarna Ravne PROIZVODNJA EPŽ JEKLA — NOVOST V ŽELEZARNI RAVNE . . . . .	73
Koroušič Blaženko — Metalurški institut, Ljubljana IZBOLJSANJE KVALITETE VISOKO LEGIRANIH JEKEL S PRETALJEVANJEM POD ŽLINDRO . . . . .	89
Razinger Anton — Železarna Jesenice ZNACILNOSTI PORAZDELITVE SVINCA V 5 TONSKIH BLOKIH SVINCEVIH JEKEL . . . . .	99
Vodopivec Franc, B. Ralič — Metalurški institut, Ljubljana EVOLUCIJA SESTAVE NEKOVINSKIH OKSIDNIH VKLJUČKOV MED TALJENJEM JEKLA Č 1730 V ELEKTRO PEČI . . . . .	111
Kovač Janez — Železarna Ravne PRIMERJALNO PREIZKUŠANJE TRDOTE PRI POVISANIH TEMPERATURAH . . . . .	119
DRUSTVENE VESTI . . . . .	125
ODLOMKI IZ RAZIKSOVALNEGA DELA V SLOVENSКИH ŽELEZARNAH . . . . .	125

LETO 8 ŠT. 2 1974  
ŽEZB BQ 8 (2) 73-128 (1974)

IZDAJAJO ŽELEZARNE JESENICE, RAVNE, STORE IN METALURŠKI INSTITUT



## VSEBINA

Rodič Jože  
ZEZB 8 (2) s 73—88

**Proizvodnja EPŽ jekla — novost v Železarni Ravne**

DK: 669.162.263  
ASM/SLA: D8n

Koroušič Blaženko  
ZEZB 8 (2) s 89—98

**Izboljšanje kvalitete visoko legiranih jekel s pre-  
taljevanjem pod žlindro**

DK: 669.187.26, 669.046.54  
ASM/SLA: D8n

Razinger Anton  
ZEZB 8 (2) s 99—109

**Značilnosti porazdelitve svinca v 5 tonskih blokih  
svinčevih jekel**

DK: 669.14.018.232; 669.4  
ASM/SLA: SGA-k; Pb

Vodopivec Franc, B. Ralič  
ZEZB 8 (2) s 111—118

**Evolucija sestave nekovinskih oksidnih vključkov  
med taljenjem jekla Č 1730 v elektro peči**

DK: 669.14.018.463; 669.187  
ASM/SLA: L21E; 9—69

Kovač Janez  
ZEZB 8 (2) s 119—123

**Primerjalno preizkušanje trdote pri povišanih  
temperaturah**

DK: 620.187.154  
ASM/SLA: Q29p

Društvene vesti s 125

Odlomki iz raziskovalnega dela v slovenskih žele-  
zarnah s 125

## INHALT

Rodič Jože  
ZEZB 8 (2) s 73—88

**Erzeugung von Stahl im Elektro schlackeum-  
schmelzverfahren — eine Neuheit im Hüttenwerk  
Ravne**

DK: 669.162.263  
ASM/SLA: D8n

Koroušič Blaženko  
ZEZB 8 (2) s 89—98

**Qualitätsverbesserung der hochlegierten Stähle  
durch das ESU Verfahren**

DK: 669.187.26, 669.046.54  
ASM/SLA: D8n

Razinger Anton  
ZEZB 8 (2) s 99—109

**Eigenheiten der Bleiverteilung im 5 t Block eines  
bleilegierten Stahles**

DK: 669.14.018.232; 669.4  
ASM/SLA: SGA-k; Pb

Vodopivec Franc, B. Ralič  
ZEZB 8 (2) s 111—118

**Evolution der Zusammensetzung nichtmetallischer  
oxydischer Einschlüsse beim Schmelzen des  
Stahles Č 1730 im Lichtbogenofen**

DK: 669.14.018.463; 669.187  
ASM/SLA: L21E; 9—69

Kovač Janez  
ZEZB 8 (2) s 119—123

**Härtevergleichsuntersuchungen bei höheren Tem-  
peraturen**

DK: 620.187.154  
ASM/SLA: Q29p

Vereinsnachrichten s 125  
Bruchteile aus der Forschungsarbeit der sloweni-  
schen Hüttenwerke

## CONTENTS

Rodič Jože  
ZEZB 8 (2) s 73—88

**Production of ESR Steel—Novelty in Ravne Iron-works**

DK: 669.162.263  
ASM/SLA: D8n

Koroušič Blaženko  
ZEZB 8 (2) s 89—98

**The quality improvement of high-alloyed Steels by electroslag remelting**

DK: 669.187.26, 669.046.54  
ASM/SLA: D8n

Razinger Anton  
ZEZB 8 (2) s 99—109

**Characteristics of lead distribution in 5 t lead ed Steel ingots**

DK: 669.14.018.232; 669.4  
ASM/SLA: SGA-k; Pb

Vodopivec Franc, B. Ralić  
ZEZB 8 (2) s 111—118

**Evolution of composition of nonmetallic inclusions during smelting Č. 1730 Steel in the electric arc furnace**

DK: 669.14.018.463; 669.187  
ASM/SLA: L21E; 9—69

Kovač Janez  
ZEZB 8 (2) s 119—123

**Comparative Hardness Tests at Higher Temperatures**

DK: 620.187.154  
ASM/SLA: Q29p

Association News s 125

Fragments from the Research Work in Slovene Iron-works

## СОДЕРЖАНИЕ

Rodič Jože  
ZEZB 8 (2) s 73—88

**Производство ЕШП-стали — новость в металл-  
ом заводе Равне**

DK: 669.162.263  
ASM/SLA: D8n

Koroušič Blaženko  
ZEZB 8 (2) s 89—98

**Улучшение качества высоколегированных ста-  
лей переплавлением под шлаком**

DK: 669.187.26, 669.046.54  
ASM/SLA: D8n

Razinger Anton  
ZEZB 8 (2) s 99—109

**Характеристики поразделения свинца в 5-тих  
слитках свинцовых сталей**

DK: 669.14.018.232; 669.4  
ASM/SLA: SGA-k; Pb

Vodopivec Franc, B. Ralič  
ZEZB 8 (2) s 111—118

**Эволюция состава неметаллических оксидных  
включений во время плавки стали марки С 1730  
в электронугловой печи**

DK: 669.14.018.463; 669.187  
ASM/SLA: L21E; 9—69

Kovač Janez  
ZEZB 8 (2) s 119—123

**Сравнительное испытание твёрдости при повы-  
шенных температурах**

DK: 620.187.154  
ASM/SLA: Q29p

Огведомления организаци с 125

Несколько отрывков работ исследования в сло-  
венских металлургических заводах с 125

## Proizvodnja EPŽ jekla - novost v Železarni Ravne\*

DK: 669.162.263

ASM/SLA: D 8 n

Jože Rodič

Postopek električnega pretaljevanja jekla pod žlindro (EPŽ) je najnovejši jeklarski postopek za proizvodnjo jekel vrhunske kakovosti s homogeno in kompaktno kristalizacijo ter vrsto posebnih kakovostnih lastnosti. Železarna Ravne je EPŽ postopek uvedla v svoj proizvodni program v začetku leta 1973. Članek podaja kot povzetek predavanja na prvem jugoslovanskem posvetovanju o EPŽ jeklih (septembra 1973 v Ravnah na Koroškem) in predavanja na Metalurškem srečanju v Portorožu (oktobra 1973) nekaj informacij o polletnih izkušnjah pri osvajanju in redni proizvodnji EPŽ jekla v železarni Ravne.

V kratkem opisu današnjega stanja so podane osnovne karakteristike in proizvodne možnosti, prikaz industrijskega postopka od priprave elektrod do predelave EPŽ ingotov, možnosti in oblike dobav EPŽ jekla, tehnološke poti v proizvodnji EPŽ jekla ter nekaj informacij o kontroli kakovosti in zanesljivosti. Podana je tudi informacija o proizvodnem programu in tendencah razvoja.

Na omenjenih posvetovanjih je bil podan tudi pregled značilnih kakovostnih lastnosti, kar pa bo podrobneje obravnavano v seriji posebnih člankov.

\* Prirejeno po predavanjih na posvetovanju o električnem pretaljevanju pod žlindro v Železarni Ravne 12.—13. septembra 1973 in na metalurškem srečanju v Portorožu 4.—5. oktobra 1973.

Projekt razvoja EPŽ proizvodnje v Železarni Ravne vodi Jože Rodič, dipl. inž. — vodja službe za razvoj tehnologije, izdelkov in metalurške raziskave z naslednjimi sodelavci iz Železarne Ravne:

- Cvetko Stojanov, dipl. inž. — raziskovalec za posebne jeklarske postopke,
- Alenka Rodič, dipl. inž. — vodja metalografskih laboratorijev,
- Vinko Pušnik — vodja obrata EPŽ,
- Jože Pšeničnik — raziskovalec za posebne naloge.

Pri tem razvojnem projektu sodeluje Metalurški inštitut iz Ljubljane s poizkusno EPŽ napravo, na kateri vodi raziskave dr. Blaženko Koroušič, dipl. inž. — vodja raziskav za specialne jeklarske postopke.

### UVOD

Celoten razvoj EPŽ postopka v železarni Ravne je potekal tako, kakor bi si želeli še na mnogih drugih področjih. Čeprav je bil zelo zahteven, smo ga dokaj dobro obvladali s pomočjo projektne organizacije in z vodenjem po mrežnem planu PERT.

V letu 1968 smo opravili sistematično informacijsko-dokumentacijsko dejavnost v zvezi z EPŽ postopkom. Po ogledu poizkusnih in industrijskih EPŽ naprav v nekaterih drugih državah smo lahko še praktično ocenili pomen tega najnovejšega jeklarskega postopka za železarno Ravne. Ko smo se neposredno sami prepričali o kakovostnih izboljšavah, s tem, da smo nekaj vzorcev naših jekel poslali na poizkusno pretaljevanje in izvršili primerjalne preiskave, je prišlo do odločitve o nadaljnjem projektu razvoja. Izdelan je bil mrežni plan za prvo fazo v okviru katere je bila izdelana laboratorijska EPŽ naprava na metalurškem inštitutu v Ljubljani. Do konca leta 1970 so bile na tej napravi opravljene številne raziskovalne naloge s poizkusnim pretaljevanjem najpomembnejših vrst jekel pod različnimi tehnološkimi pogoji. S tesnim sodelovanjem med metalurškim inštitutom in raziskovalnim oddelkom železarne Ravne so bile opravljene vse potrebne raziskave in s primerjavami kakovostnih lastnosti je bila utemeljena pomembnost EPŽ postopka za proizvodni program Železarne Ravne.

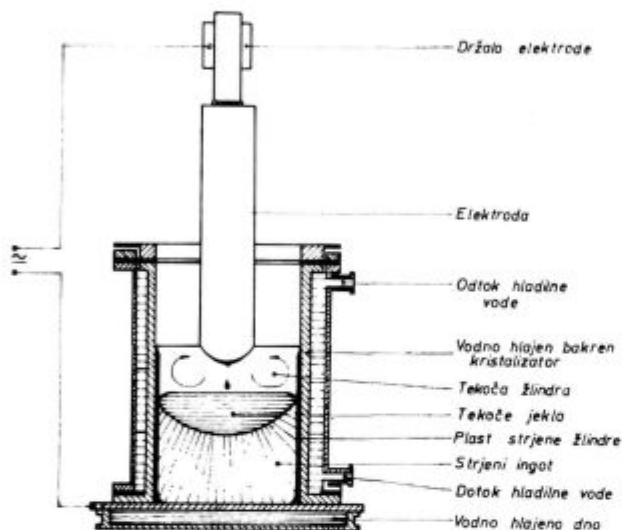
Na takih solidnih osnovah je bil v letu 1971 izdelan investicijski elaborat ter mrežni plan druge faze projekta, s katerim smo potek investicijske dejavnosti kombinirali z intenzivnim raziskovalno-razvojnim delom za osvajanje proizvodnega programa in s strokovnim usposabljanjem potrebnega kadra.

V novembru in decembru 1972 je bila že izvedena montaža EPŽ naprave v novo zgrajenem obratu, tako da smo v prvih dneh leta 1973 začeli s poizkusnim industrijskim obratovanjem, čeprav

je bila v prvem obdobju pretežna količina proizvedenega jekla namenjena raziskovalnim potrebam za oceno tehnologije in kakovostnih lastnosti jekla.

### KARAKTERISTIKE IN PROIZVODNE MOŽNOSTI EPŽ NAPRAVE V ŽELEZARNI RAVNE

EPŽ naprava R-951-U sovjetske proizvodnje je bila instalirana v novem obratu železarne Ravne za električno pretaljevanje porabnih elektrod pod žlindro. Slika 1 prikazuje shemo te naprave, slika 2 pa napravo med obratovanjem.



Slika 1:  
Shema EPŽ naprave

Karakteristike in trenutne proizvodne možnosti v standardni izvedbi so naslednje:

- ena porabna elektroda in nepremični vodno hlajen kristalizator,
- dimenzije EPŽ ingota pri obstoječem kristalizatorju so  $400 \times 400 \times \text{max. } 1800 \text{ mm}$ ,
- presek EPŽ ingota je kvadrat z zaokroženimi robovi,
- ingot je rahlo koničen: spodaj kv. 420 mm, zgoraj kv. 380 mm,
- maksimalna teža EPŽ ingota je 2200 kg.

Glavne proizvodne karakteristike in tehnični podatki EPŽ naprave so:

- produktivnost največ 500 kg na uro,
- omejitve dimenzij porabnih elektrod za obstoječi kristalizator so:
  - $\varnothing$  180 do 280 mm,
  - kv. 220 do 270 mm,
  - dolžina taljenega dela 4000 do 5800 mm,
- premer elektrodne glave pri obstoječih čeljustih je  $\varnothing$  180 mm.

Električne karakteristike so naslednje:

- nazivna moč transformatorja za napajanje peči je 1000 kVA,

- transformator ima 17 stopenj in je proizvodnje RADE KONČAR,
- tok je izmeničen,
- napetost omrežja je 380 do 220 V,
- frekvenca 50 Hz,
- delovna napetost transformatorja za napajanje peči je 40 do 90 V,
- maksimalni tok pretaljevanje je 14000 A.

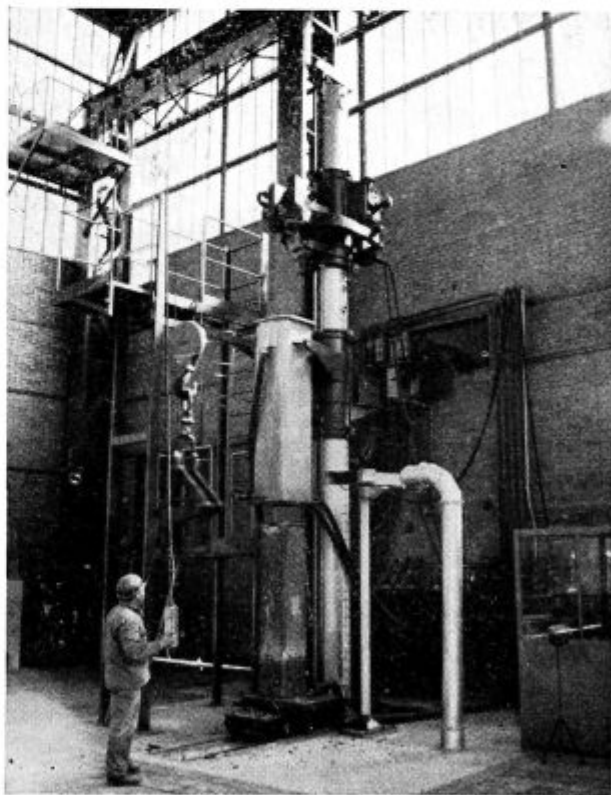
V nadaljnjem izpopolnjevanju bo EPŽ naprava opremljena z dodatnima formatoma kristalizatorja

- kvadratnega preseka  $250 \times 250 \text{ mm}$ ,
- okroglega preseka 600 mm  $\varnothing$ .

### OPIS POSTOPKA PROIZVODNJE Z ELEKTRICNIM PRETALJEVANJEM POD ŽLINDRO V ŽELEZARNI RAVNE

Jeklo se izdelava po klasičnem postopku v električno obločni peči po posebnem naročilu, s katerim so zahtevane spremembe kemijske sestave, upoštevajoč spreminjanje vsebnosti nekaterih legiranih elementov med pretaljevanjem.

Porabne elektrode za elektropretaljevanje pod žlindro se lahko izdelajo z valjanjem, kovanjem ali litjem. Lahko pa za porabne EPŽ elektrode uporabimo tudi gredice iz zaloge, če so te ustreznih dimenzij. Sledi čiščenje in rezanje ter potrebna



Slika 2:  
EPŽ naprava v železarni Ravne med obratovanjem

priprava porabnih elektrod s privarjanjem nastavkov za vpenjanje v čeljusti EPŽ naprave. (slika 3)

Zlindro z izbrano kemijsko sestavo je treba sestaviti in jo pripraviti po posebej predpisanem postopku, z upoštevanjem postavljenih kakovostnih zahtev in glavnega namena elektropretaljevanja pod žlindro.

Sledi pretaljevanje porabne elektrode v kristalizatorju. To izvajamo s programskim, avtomatičnim ali pa ročnim vodenjem procesa.

V odvisnosti od vrste jekla je treba z EPŽ ingoti izvesti po slačenju (slika 4) še določen termični postopek. EPŽ ingote največkrat predelujemo v vročem s kovanjem ali pa tudi z valjanjem. V posebnih primerih je mogoče EPŽ jeklo uporabljati tudi v nepredelanem stanju po ustrezni toplotni obdelavi, kar se v zadnjem času tudi vse bolj uveljavlja.

### Priprava porabnih elektrod

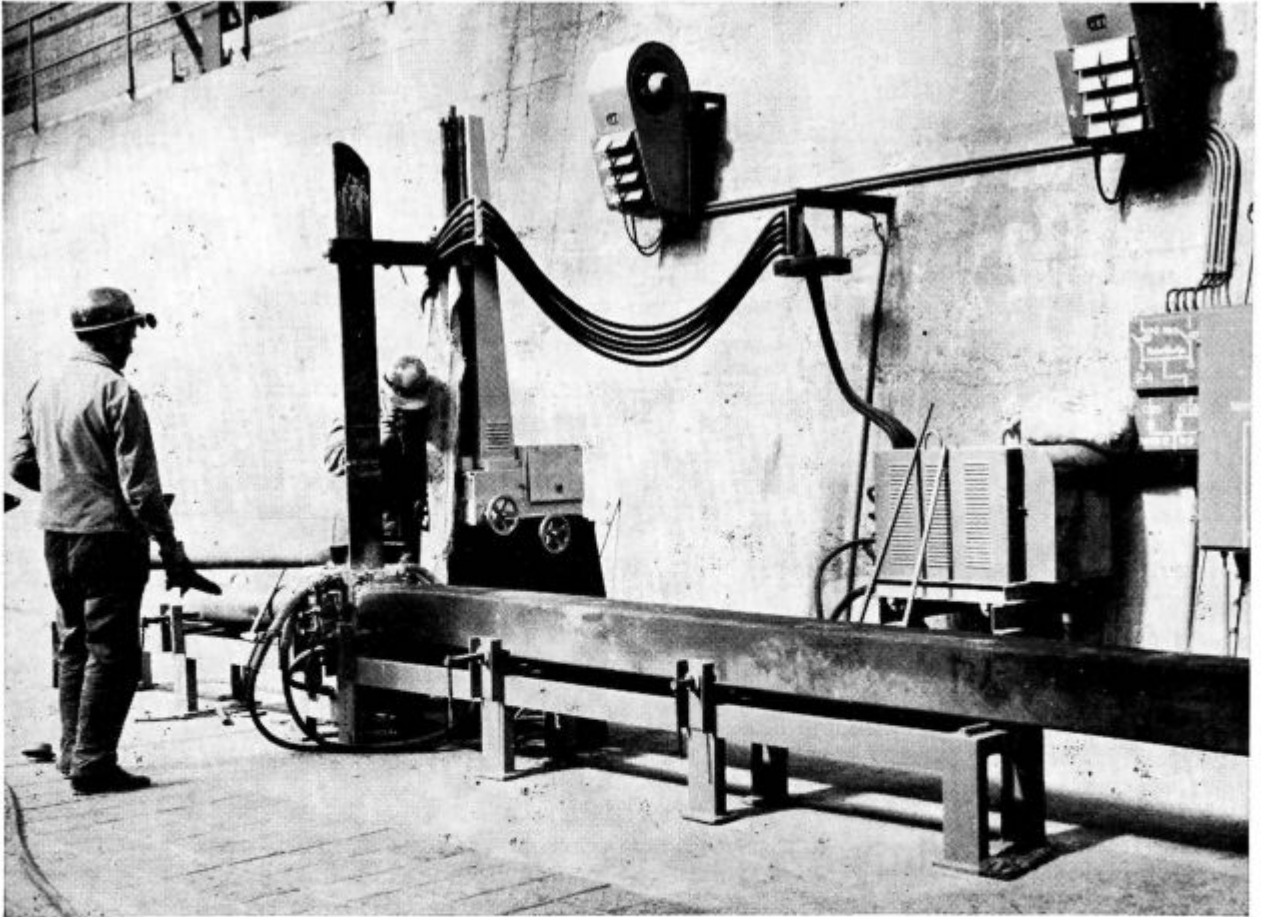
Omenili smo že, da porabne EPŽ elektrode izdelujejo po različnih postopkih, pri čemer moramo posebej za litje omeniti tri načine:

- kontinuirno litje,
- litje v kokile,
- litje v pesek,
- valjanje,
- kovanje.

Izbira postopka je seveda ob upoštevanju tehnoloških možnosti in kapacitet odvisna od karakteristik posameznih vrst jekla in od ekonomičnosti postopka.

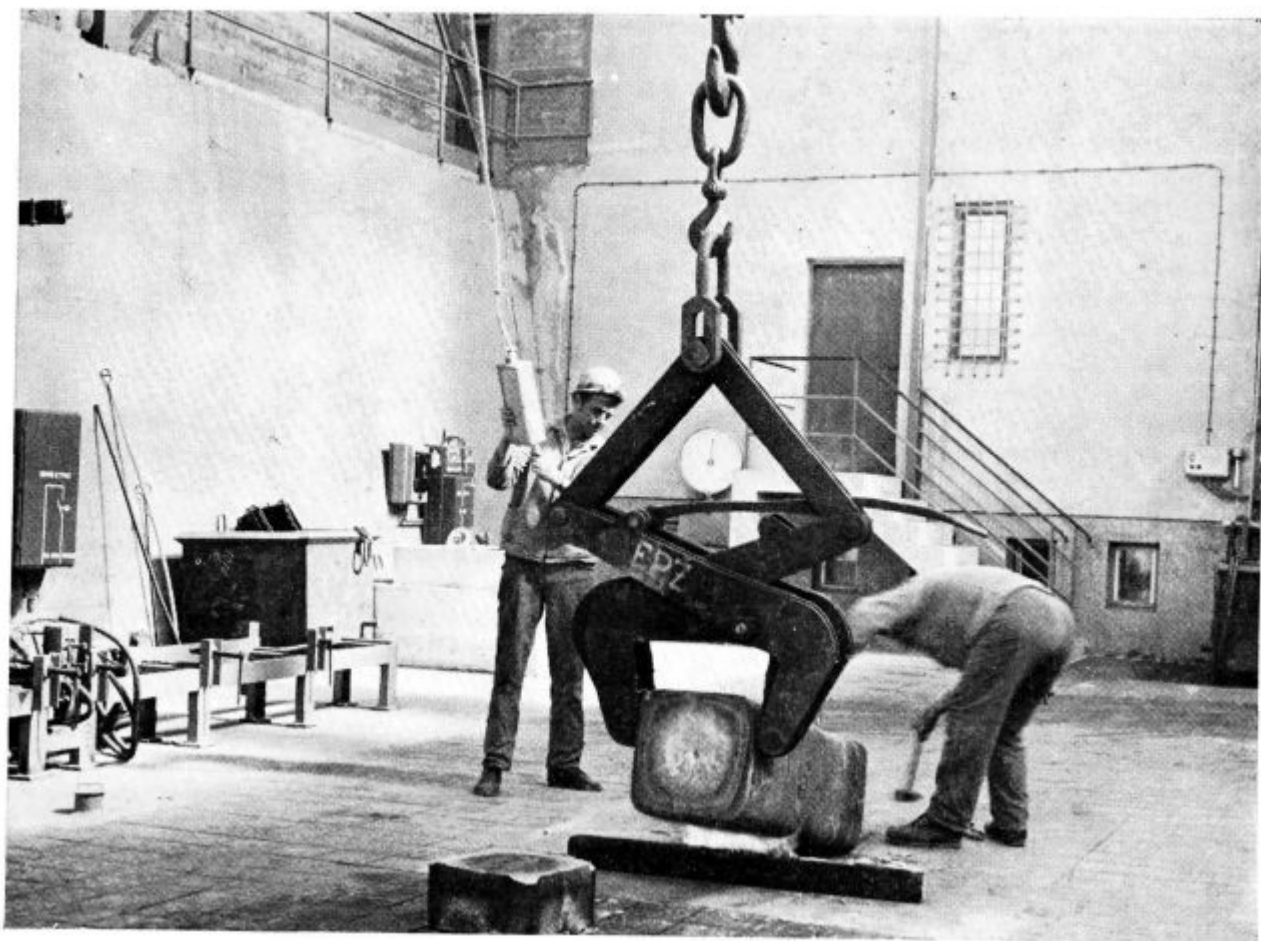
Proizvajalci EPŽ jekla, ki imajo v proizvodnem programu manjši asortiment in izdelujejo večje količine posameznih vrst jekla, se poslužujejo prav gotovo najekonomičnejšega postopka za izdelavo elektrod s kontinuirnim litjem. Ta postopek v sedanji fazi in verjetno tudi v bližnji bodočnosti zaradi številnih specifičnosti v železarni Ravne ne pride v poštev.

Litje elektrod v kokile je dokaj problematično in v praksi skoraj neizvedljivo pri dolžinah elektrod, kakršne uporabljamo v železarni Ravne zaradi značilnosti EPŽ naprave. Litje v kokile prihaja predvsem v poštev za tiste EPŽ naprave, ki delajo z dviznim kristalizatorjem in z menjanjem elektrod med procesom. Pri takih napravah so



Slika 3:  
Privarjanje nastavka za vpenjanje elektrode v čeljusti EPŽ naprave





Slika 4:  
EPZ ingot je gotov

elektrode lahko kratke. Delo s stabilnim kristalizadorjem zahteva velike dolžine elektrod, katerih med procesom ni mogoče menjati.

Formanje elektrod in litje v pesek predstavlja razmeroma drag in proizvodno neugoden postopek. Za nekatera visoko legirana orodna in na zraku kaljiva jekla pa ima postopek litja v pesek z dolgotrajnim počasnim ohlajevanjem v pesku določene prednosti, katere je treba upoštevati, v dobršni meri pa tudi še raziskati.

Izdelava elektrod z valjanjem je za tiste vrste jekel, ki jih lahko valjamo neposredno iz 2-tonskih ingotov do končne dimenzije elektrode brez vmesnega dogrevanja, prav gotovo najinteresantnejši postopek, vsaj pri obstoječih pogojih v železarni Ravne. Ta način izdelave elektrod je seveda že s sposobnostjo jekla za predelavo dokaj omejen, razen tega pa je z ozirom na dimenzije in teže elektrod vezan z nekaterimi težavami. Ta postopek lahko uporabljamo pri obstoječih pogojih le za tista jekla, ki jih lahko ohlajamo na zraku. Za nekatere vrste jekla, ki so prav za EPZ pretaljevanje najinteresantnejša, valjanje elektrod sploh ne pride v poštev zaradi slabe predelavne sposobnosti ali pa zaradi močne kaljivosti na zraku.

Kovanje v principu ni primeren postopek za normalno pripravo EPZ elektrod. V določenih primerih pa smo bili k temu načinu prisiljeni. Kovanje elektrod je problematično zaradi velike dolžine, pri kateri zahtevane ravnosti elektrod skoraj ni mogoče zagotoviti.

Ob določenih pogojih se pojavlja precej problemov tudi pri rezanju koncev elektrod in pri čiščenju s peskanjem, brušenjem ali luženjem.

Že iz opisanega vidimo, da izbira tehnološkega postopka za pripravo porabnih elektrod z ozirom na tehnološke možnosti in kakovostne karakteristike jekel ni najpreprostejša.

Pogoji pretaljevanja na EPZ napravi lahko izredno močno vplivajo na konfiguracijo makro in mikro struktur ter posredno na najrazličnejše lastnosti jekel. Pri pogojih pretaljevanja lahko nastopa neizmerno število najrazličnejših kombinacij tehnoloških parametrov pretaljevanja. S posebnim upoštevanjem izkušenj je potrebno v planu sistematičnih raziskav izbrati določene karakteristične pogoje pretaljevanja. Na podlagi rezultatov takih raziskav pride proizvajalec EPZ jekla do tehnologije pretaljevanja, ki jo lahko v nadaljnji proizvodnji programsko zagotavlja z iz-

koriščanjem avtomatizacije. To je dragoceno bogastvo, do katerega pride proizvajalec EPŽ jekla le z veliko vloženi sredstvi v začetnem obdobju, zato to bogastvo tudi primerno čuva. Prav lahko razumemo, da bi bilo skoraj brezupno iskanje tehnoloških pogojev in programov pretaljevanja v literaturi.

Predelava EPŽ ingotov se izvaja s kovanjem ali z valjanjem, pri čemer imajo tudi primerjave različnih stopenj predelave poseben pomen.

V zvezi s predelavo EPŽ ingotov moramo posebej omeniti, da je poleg standardnega načina kovanja EPŽ ingotov možnih še več vrst posebnih postopkov za doseganje optimalne homogenosti in izotropnosti odkovkov. Prav to je v določenih primerih specialnih orodij ali najodgovornejših konstrukcijskih delov odločilnega pomena.

Obseg raziskovalno-razvojnega dela je na področju električnega pretaljevanja pod žlindro v kombinaciji s tehnologijo kovanja res ogromen, omogoča pa doseganje širokega spektra reguliranih kakovostnih lastnosti.

**EPŽ žlindre**

Izbiro EPŽ žlindre s primerno sestavo in postopek priprave žlinder za elektropretaljevanje moramo obravnavati s posebno pozornostjo, ker so prav žlindre tisto sredstvo, ki ob ustreznih tehnoloških pogojih pretaljevanja odločajo o doseženi kakovosti jekel po pretaljevanju. Železarna Ravne je zaradi specifičnih razmer pri nabavi EPŽ žlinder morala v razvoj EPŽ postopka vključiti tudi osvajanje domače proizvodnje ustreznih EPŽ žlinder, za kar je nalogo poverila metalurškemu inštitutu v Ljubljani. Danes razpolagamo s širokim asortimentom domačih žlinder, ki po svoji kakovosti dokaj zadovoljujejo osnovne zahteve. Nadaljnji razvoj na tem področju bo usmerjen v izpopolnjevanje tehnologije izdelave žlinder in izboljšanje kakovosti ter enakomernosti, obenem pa na tipizacijo in zmanjšanje danes preširokega asortimenta EPŽ žlinder. Seveda bomo to tipizacijo izvedli lahko le postopoma s sistematičnim iskanjem optimalnega asortimenta.

**Možnosti in oblike dobav EPŽ jekla**

V primerjavi s klasično litimi ingoti so EPŽ ingoti toliko kompaktni, da je za določene namene možna uporaba z razrezovanjem ustrezno toplotno obdelanih ingotov v nepredelanem stanju. Za take namene je priporočljivo prilagoditi dimenzije kristalizatorja dimenzijam zahtevanih orodij, oz. konstrukcijskih delov.

Drugo varianto dobav EPŽ jekla predstavlja paličasto jeklo. V valjani izvedbi se dobavlja razmeroma majhen delež proizvedenega EPŽ jekla, ker pridejo do izraza kakovostne lastnosti EPŽ jekla v valjanih palicah le glede čistosti jekla ali pa glede posebnih zahtev predelavne sposobnosti.

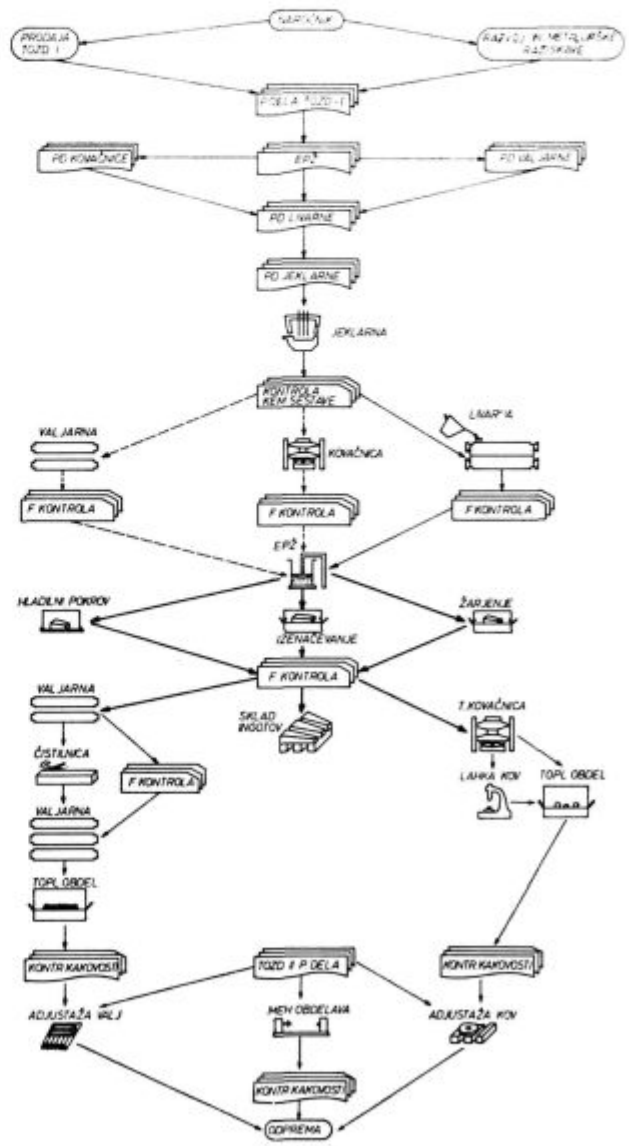
Velika večina proizvedenega EPŽ jekla se dobavlja v obliki odkovkov. Karakteristike strjeva-

nja EPŽ ingota v kombinaciji s posebnimi tehnološkimi postopki predelave s kovanjem dajejo optimalne lastnosti glede homogenosti in izotropnosti jeklenih izdelkov. Posebno pride to do izraza pri zahtevah po obstojnosti mer ali stabilnosti oblik in dimenzij. Seveda tudi tu posebej upoštevamo čistost jekla. V kovani izvedbi EPŽ jekla so možne tudi tiste variante po sestavi, ki se sicer zelo slabo predelujejo. EPŽ jekla so torej v skupini orodnih jekel posebno vzdržljiva proti obrabi.

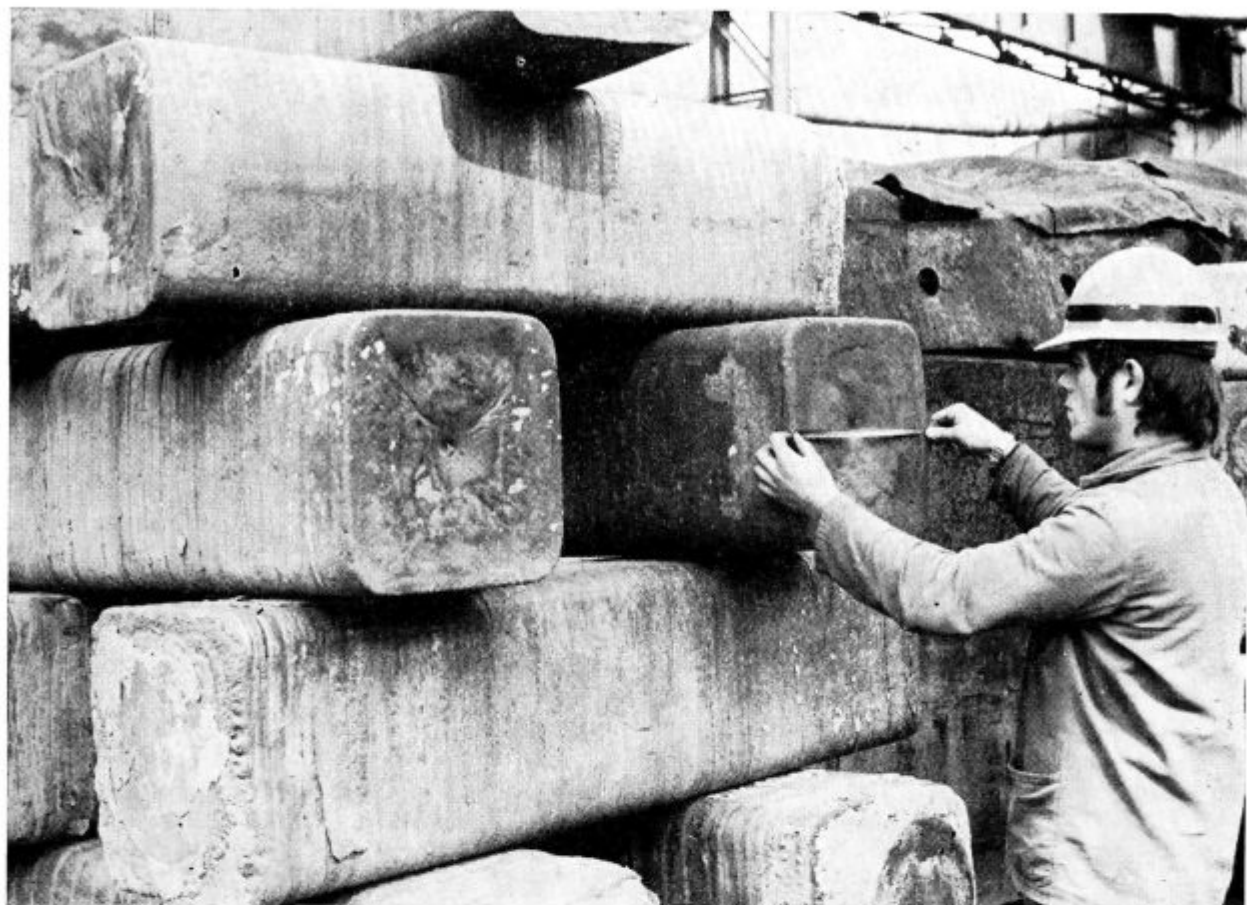
Posebno prednost predstavlja možnost izdelave EPŽ ingotov »na mero« po višini oz. teži, kar omogoča bistveno izboljšanje izplenov.

**Tehnološke poti v proizvodnji EPŽ jekla**

Značilnosti proizvodnje EPŽ jekla z različnimi variantami tehnoloških poti smo do neke mere že spoznali. Za nazoren prikaz so podane na naslednji shemi (slika 5):



Slika 5: Pot proizvodnje EPŽ jekla



Slika 6:  
EPZ ingoti na skladišču

Naročnik ima dve možnosti:

- jekla iz rednega proizvodnega programa naroči po normalni poti v prodajni službi;
- jekla izven normalnega proizvodnega programa in tudi jekla iz normalnega proizvodnega programa v slučaju posebnih kakovostnih zahtev naroči po predhodnih dogovorih v službi za razvoj in metalurške raziskave.

Prodajni oddelek ali služba za razvoj in metalurške raziskave poskrbita v pripravi dela metalurških obratov za izdajo vse potrebne dokumentacije, za natančno definiranje naročila, določitev tehnološke poti in za predpis kontrole kakovosti.

Na osnovi izdane dokumentacije se v jeklarni izdelata ustrezna količina jekla v elektro pečeh za izdelavo porabnih elektrod. V tej fazi se izvrši normalna kontrola kakovosti izdelanega jekla, pri čemer je odločilni kriterij zahtevana kemijska sestava. V naslednji fazi so možne tri variante. Po prvih dveh variantah gredo vroči konvencionalno liti ingoti v valjarno ali v kovačnico, kjer se izdelajo porabne elektrode ustreznih dimenzij za EPZ pretaljevanje. Po tretji varianti se tekoče jeklo v ponovci prenese v livarno, kjer porabne elektrode ulijejo.

Po predpisanih postopkih opravijo fazno kontrolo preizkušancev iz porabnih elektrod. Elektrode se po predpisanem postopku pripravijo in vskladiščijo, uporabijo pa se šele po odločitvi fazne kontrole o izpolnjevanju kakovostnih zahtev.

Sledi elektropretaljevanje pod žlindro po pripravljenem tehnološkem postopku. Pretaljevanje se lahko vodi po programskem modelu, avtomatično po nastavitvi na komandnem pultu ali pa ročno, v kolikor gre za določeno stopnjo osvajanja ali posebnega reguliranja kakovosti.

Po končanem pretaljevanju in slačenju ingota nastopijo štiri različne variante, od katerih so na shemi prikazane tri:

— Po prvi varianti se namreč ingot lahko ohlaja prosto na zraku ali pa ga dostavijo neposredno v predelovalne obrate.

— Po drugi varianti se ingot položi pod izolirani hladilni pokrov za zadrževano ohlajevanje.

— Po tretji varianti se ingot vloži v kurjeno peč za izenačevanje temperature na določenem nivoju in za kontrolirano ohlajanje s predpisano hitrostjo.

— Po četrti varianti se izvede popoln postopek toplotne obdelave — žarjenja, normalizacije ali gašenja.

Izbira ene od teh variant je torej odvisna od zbranih izkušenj za določeno vrsto jekla pri obstoječih tehnoloških pogojih.

Sledi fazna kontrola EPŽ ingotov, v kateri je poleg kontrole kemijske sestave odločilen pregled površine ingota, ultrazvočni pregled in druge preiskave po zahtevi, med katerimi niso redke tudi preiskave vzorcev, odrezanih ali izrezanih iz ingotov, predvsem v fazi, ko osvajamo pretaljevanje nove vrste jekla. Na osnovi dispozicije naročila in odločitev fazne kontrole se EPŽ ingoti vskladiščijo (slika 6) ali pa gredo neposredno na valjanje ali kovanje. Nadaljne poti so poznane in enake kot pri konvencionalno izdelanem jeklu. Naročnik dobi valjano ali kovano jeklo po osnovni toplotni obdelavi, kontroli kakovosti in adjustiranju. Posebno pri EPŽ jeklih je interesantna čim višja stopnja finalizacije znotraj železarne z mehansko predobdelavo ali končno obdelavo izdelkov. Tako dobi naročnik predobdelane polizdelke ali pa gotova orodja in konstrukcijske dele.

### Kontrola kakovosti in zanesljivosti EPŽ jekel ter raziskave

V obdobju osvajanja EPŽ proizvodnje smo organizirali kontrolo kakovosti, tako, da smo lahko neposredno primerjali kakovostne lastnosti porabne elektrode z gredico enakih dimenzij, predelano iz EPŽ ingota. Dodatno smo izvajali preiskave značilnih lastnosti tudi na preizkušancih, izrezanih iz EPŽ ingotov. Po možnosti smo že omenjene gredice iz EPŽ jekel predelovali na tisto dimenzijo gredic, za katero imamo v dokumentaciji največ podatkov iz redne fazne kontrole. Na ta način je omogočena primerjava kakovostnih nivojev konvencionalnega in EPŽ jekla.

Pri tem izvajanju kontrole smo posebej upoštevali izvor porabnih elektrod ter registriran teh-

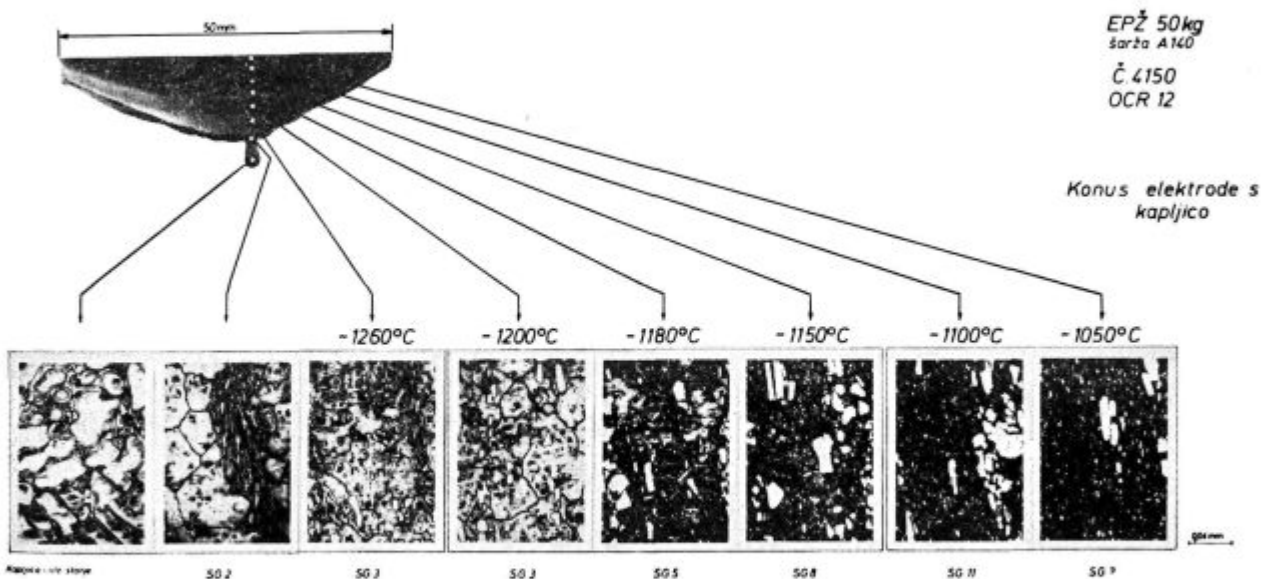
nološki postopek pretaljevanja in po teh kriterijih smo izbrali reprezentančne EPŽ šarže za primerjalne preiskave.

Po končanem osvajanju določene vrste jekla se kontrola kakovosti reorganizira in omeji na standardizirani obseg kontrole EPŽ ingotov in na kontrolo kakovosti končnih izdelkov po zahtevah kupca v naročilu.

V fazi osvajanja osnovnih pogojev tehnologije električnega pretaljevanja pod žlindro so za reguliranje sistema kristalizacije zelo pomembne meritve geometrije odtaljevalnega stožca z označevanjem profila kopeli. Geometrijo odtaljevalnega stožca izmerimo tako, da potegnemo elektrodo iz kopeli in višino stožca ter kote izmerimo, obenem pa obliko kopeli, oz. fronte strjevanja jekla označimo z žveplovim cvetom ali volframovim zdrobom. Tako označeni profil kopeli lahko kasneje kontroliramo na makro jedkanih ploščah ali pa ga odkrivamo z Baumannovim odtisom.

Zanimiva je tudi raziskava odtaljevalnega stožca porabne elektrode s kapljico. Slika 7 nam nazorno prikazuje izoterme na stožcu elektrode jekla Č. 4150 (OCR 12) in pripadajoče značilne mikrostrukture. To jeklo je kaljivo na zraku, zato dobimo tipične kaljene mikrostrukture od podkaljenega do močno pregretega jekla. Po analogiji s poznano odvisnostjo kalilnih struktur in pripadajočih temperatur lahko ocenimo tudi temperature posameznih izoterm na odtaljevalnem stožcu s kapljico, katerega smo vzdolžno prerežali.

Druge preiskave se izvajajo po standardni metodi v redni kontroli ali pa po programu posebnih preiskav v fazi osvajanja. Za programe kontrolnih preiskav posameznih skupin jekel so v metalurških laboratorijih železarne Ravne v rabi standardni hodogrami v obliki mrežnih planov po PERT metodi, ki nakazujejo pot skozi posamezne



Slika 7:

Odtaljevalni stožec elektrode s kapljico in pripadajoče mikrostrukture

laboratorije in terminski potek preiskave. Spremljajoča dokumentacija in predpisi za izvajanje posameznih operacij pa zagotavljajo enotne pogoje preizkušanja, ki so glavni pogoj za neposredne medsebojne primerjave rezultatov.

Poleg standardne metode preizkušanja v kontroli kakovosti se po individualnih zahtevah izvajajo še številne druge metalurške raziskave, kot so:

- izdelava kompletnih TTT diagramov,
- razne dilatometrijske preiskave za ugotavljanje premenskih točk, razteznostnih koeficientov in popuščnih efektov,
- diferencialno termične analize,
- kompleksne preiskave kaljivosti in popuščne obstojnosti,
- preiskave z uporabo rentgenske difraktoometrije,
- raziskave z uporabo elektronskega mikroskopizatorja in podobno.

Primerjava premenskih točk in drugih efektov med konvencionalnim in EPŽ jeklom je večkrat zelo zanimiva, ker vpliv pretaljevanja pod žlindro na te pomembne karakteristike jekla še ni dovolj sistematično pojasnjen. V literaturi je v zvezi s premenskimi karakteristikami in popuščnimi efekti več trditev, ki so si celo nasprotujoče in se zdijo premalo preverjene.

V ozki povezavi s tovrstnimi analizami so preiskave z uporabo rentgenske difraktoometrije in kvantitativne metalografije posebno pomembne.

### **Obseg osvajanja in proizvodnje EPŽ obrata Zelezarne Ravne v letu 1973**

Osnovni namen obratovanja EPŽ naprave v prvem polletju je bilo osvajanje tehnologije pretaljevanja za tipične vrste jekel perspektivnega proizvodnega programa EPŽ jekel. Potrebne so bile zelo obsežne raziskave za oceno uspešnosti tehnologije. V okviru delnega angažiranja naprave za redno proizvodnjo so bile izdelane poizkusne količine jekla za praktični preizkus uporabnosti na določenih področjih.

Razumljivo je, da ob enoizmenskem in delno dvoizmenskem obratovanju v prvem obdobju še ni mogoče pričakovati ekonomsko ugodnih rezultatov, posebno še ob upoštevanju dejstva, da takih visokovrednih jekel na tržišču ni mogoče uveljaviti v kratkem času brez utemeljene in praktično preizkušene upravičenosti višje cene.

Naslednja tabela 1 podaja pregled vrst jekel, ki so bila v programu osvajanja tehnologije v poizkusni EPŽ proizvodnji v obdobju prvega polletja 1973.

Že v prvem obdobju osvajanja so bila potrjena predvidevanja o osnovni strukturi proizvodnega programa EPŽ jekel. Zaradi določenih potreb in neposrednih naročil se je že takoj v prvem obdobju izkazal naslednji prioriteten vrstni red:

— 35 % celotne proizvodnje EPŽ jekla predstavljajo orodna jekla za delo v vročem, tipa utop Mo 2 in utop Mo 1,

— 21 % skupne proizvodnje EPŽ jekla predstavljajo orodna jekla za delo v hladnem, predvsem obstojna proti obrabi tipov OCR 12 VM in OCR 12 in

— 18 % skupne proizvodnje EPŽ jekla predstavljajo jekla za izdelavo valjev za hladno valjanje, tipov OHV 4 in OHV 3.

Te tri skupine orodnih jekel predstavljajo v prvem polletju 1973 skupaj 74 % celotne EPŽ proizvodnje.

Osvajanje in raziskovalno-razvojno delo v drugem polletju 1973 je bilo usmerjeno predvsem na:

— postopno optimizacijo izkoriščenosti EPŽ naprave, izpopolnjevanje tehnologije in dokumentacije tehnoloških predpisov, izpopolnitev kontrolnih listov in zajemanja stroškov ter analizo kritičnih postavk v strukturi stroškov,

— izpopolnitev proizvodnih naprav in potrebne dodatne opreme v EPŽ obratu,

— izpopolnjevanje in ureditev celotne tehnologije od izdelave šarže do končnega izdelka za najpomembnejše skupine orodnih jekel,

— sistematično primerjavo stroškov za zaključene tehnološke cikle med konvencionalnim in EPŽ jeklom,

— osvojitve tehnologije EPŽ za nekatera druga specialna jekla in standardna jekla, namenjena za specialne izdelke.

### **DOSEDANJE UGOTOVITVE IN REZULTATI POSEBNIH RAZISKAV V INDUSTRIJSKIH PROIZVODNIH OBRATIH**

V primerjavi s klasično litimi ingoti je pri EPŽ ingotih opaziti očitno boljšo kakovost površine. To velja za vse vrste jekel, posebno pa je bilo to očitno pri nizko legiranih kromovih jeklih za kroglične ležaje (Č.4146 — OCR 4 ex. spec.) in valje za hladno valjanje (Č.4843 — OHV 3, Č.4740 — OHV 4). Bistveno boljšo površino ingotov smo opazili tudi pri jeklu Č.4770 — Prokron 5. Pri edinem predstavniku konstrukcijskih nerjavnih jekel Č.4572 - Prokron 11 special je površina ingotov izredno lepa.

Podobno kakor za površino ingotov so bila potrjena pričakovanja tudi glede notranje kompaktnosti in homogenosti ingotov. Razen pri nekaterih posameznih izjemah v toku osvajanja tehnologije nismo ugotovili centralne poroznosti ali redkosti sredine, kakor tudi ne večjih makro vključkov ali drugih notranjih napak.

### **Gostota jekla**

Pri makro in mikro preiskavah EPŽ jekel smo dobili vtis večje gostote že v litem stanju. Iz literature je poznano, da predstavljajo rezultati na-

Tabela 1 — Poprečne kemijske sestave jekel iz programa osvajanja EPŽ proizvodnje

Vrsta jekla JUS 2R	C %	Si %	Mn %	Cr %	Ni %	W %	V %	Mo %	Co %	Nb %	N %
Č.9683 BRU	1,25			4		10	3,2	3,7	10,5		
Č.4751 UTOP MO 1	0,4	1		5			0,4	1,3			
Č.4753 UTOP Mo 2	0,4	1		5			1	1,5			
Č. — UTOP Mo 4	0,5	1		5			1	1,5			
Č. — OA 2	1			5			0,3	1			
Č.6451 UTOP 2	0,3			2,5		9,0	0,4				
Č.4850 OCR 12 VM	1,55			12			1	0,9			
Č.4150 OCR 12	2,1			12			0,10				
Č.4146 OCR 4 ex. sp.	1			1,5							
Č.4843 OHV 3	0,85			1,8			0,1				
Č.4740 OHV 4	0,85			1,8			0,1	0,3			
Č.4770 PROKRON 5	0,5			14				0,4			
Č.4572 PROKRON 11 sp.	<0,08	0,5	1,4	18	10,5						> 8x % C
Č.4870 28 - 30 - 4 N	0,55		9	21	4		1	1		1	0,4
Č.4721 ECMo 100	0,2			1,2				0,25			
Č.4320 EC 80	0,16		1,1	0,9							
Č.1330 C 22	0,22										

tančnih meritev gostote jekla zelo pomemben kriterij za oceno kakovosti EPŽ jekla in pravilnosti tehnologije, po kateri je bilo jeklo izdelano. Za tako natančne meritve gostot trenutno še nismo ustrezno opremljeni.

#### Kemijska sestava

Obširne raziskave so bile izvedene v zvezi z ugotavljanjem kemijske homogenosti EPŽ jekel s številnimi analizami vzorcev, izrezanih iz raznih položajev v preseku EPŽ ingotov, porabnih elektrod in EPŽ gredic.

Ugotovitve teh raziskav so zelo pomembne, ker je že pri izdelavi jekla v elektroobločni peči potrebno z določenimi spremembami standardne kemijske sestave jekla zagotoviti želeno sestavo EPŽ jekla.

Raziskave spreminjanja vsebnosti posameznih elementov med pretaljevanjem in izcejanja po preseku in višini ingota so predmet posebnih nalog za izpopolnjevanje tehnologije električnega pretaljevanja pod žlindro. Najpomembnejši elementi, ki jih moramo pri tem obravnavati, so vsekakor silicij, mangan, aluminij, titan in žveplo. Drugi elementi se med pretaljevanjem ne spremi-

najo po svoji vsebnosti toliko, da bi bilo to posebej pomembno. Za kakovost EPŽ jekla je vsekakor najpomembnejša možnost učinkovitega zniževanja vsebnosti žvepla in v določenih primerih predvsem pri orodnih jeklih tudi silicija med pretaljevanjem.

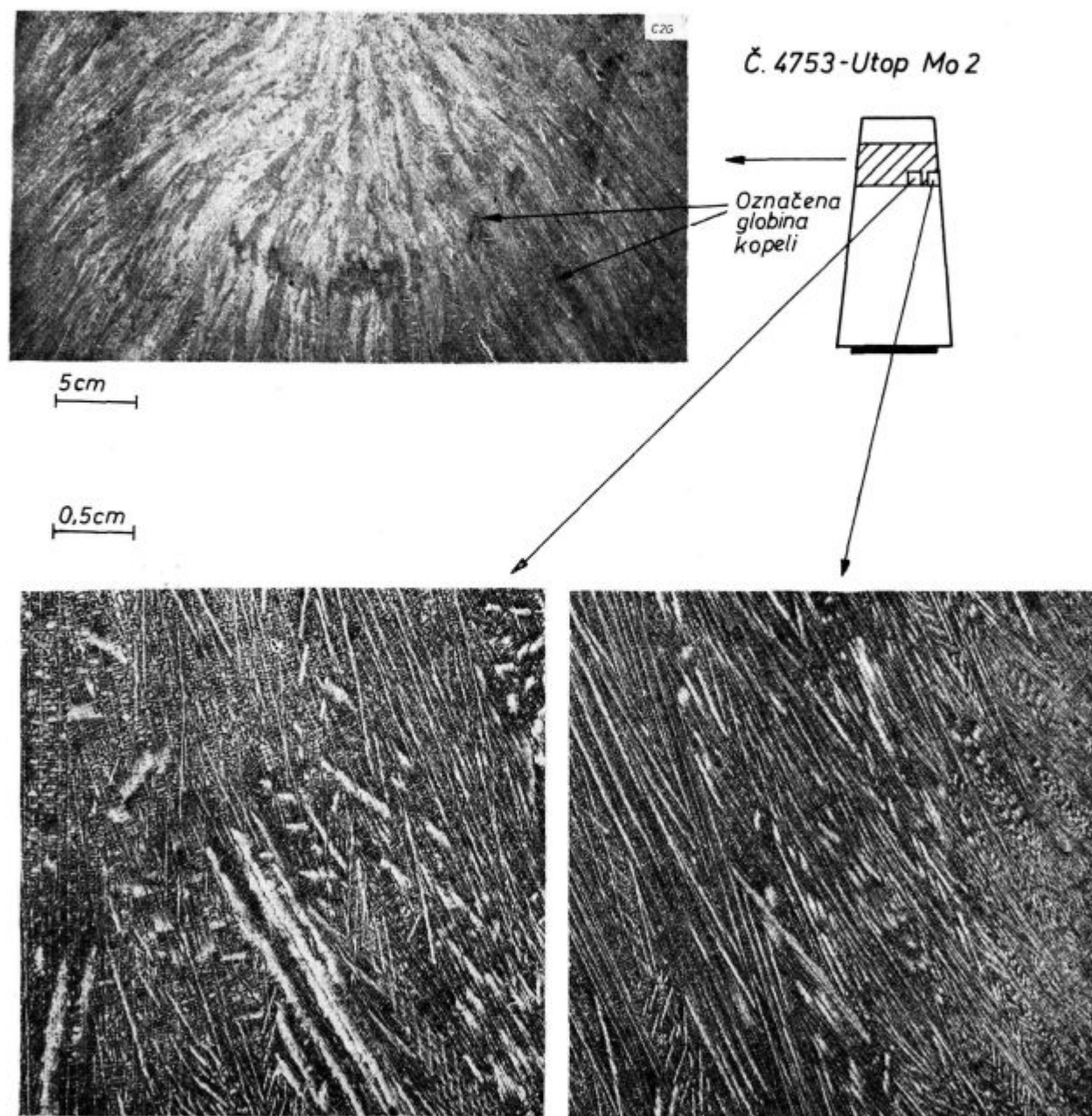
Posebej lahko opozorimo na pomen splošnega zmanjševanja nečistosti v jeklu, tako eksogenih kot endogenih vključkov. Se posebej pomembno je, da tehnologijo pretaljevanja lahko dokaj orientiramo na odpravljanje določene vrste vključkov.

#### Makrostrukture

S spreminjanjem pogojev v tehnologiji elektropretaljevanja pod žlindro lahko zelo učinkovito vplivamo na izoblikovanje makrostrukture strjenega ingota. Poleg zagotavljanja kompaktne notranjosti bloka lahko s spreminjanjem hitrosti odtaljevanja elektrode in z odnosi dovedene energije ter napetosti in jakosti toka reguliramo profil tekoče kopeli jekla. V zelo širokih mejah lahko menjamo globino kopeli in hitrost naraščanja EPŽ ingota. Z obvladanjem tehnoloških pogojev imamo dokaj dobro v rokah tiste vplive, ki odločajo o hitrosti strjevanja in o usmerjenosti kristaliza-

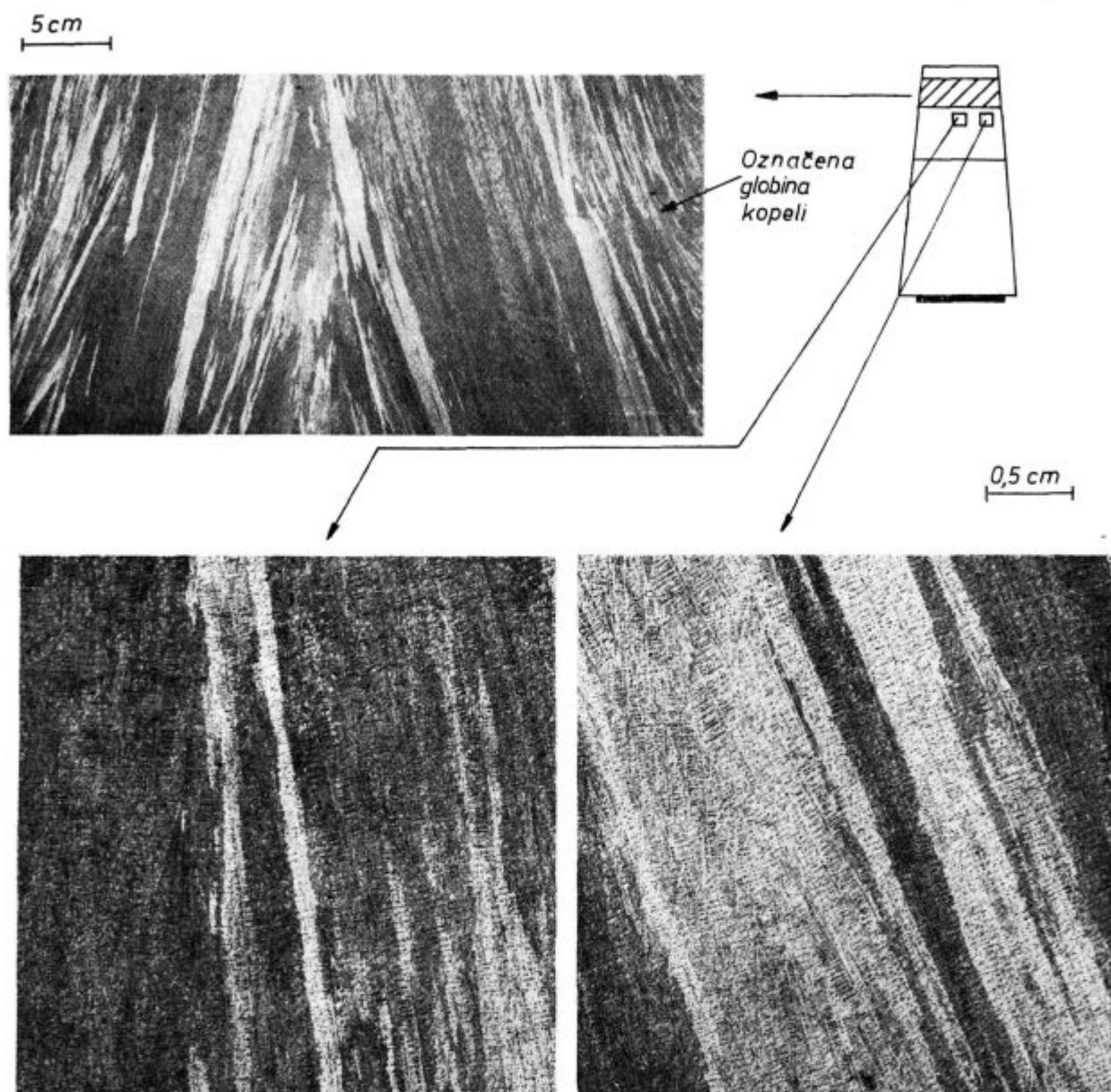
cije. Slika 8 nam nazorno prikazuje, kako pomembna je na tem področju raziskava makrostrukture jekla, za kar je v fazi osvajanja potrebno razrezovanje ingota in prekinjanje pretaljevanja z označevanjem globine kopeli in dokumentiranjem geometrije odtaljevalnega stožca elektrode. Zgornja slika nam prikazuje makrostrukturo iz vzdolžnega preseka ingota blizu glave. Jasno so vidni sledovi označevanja globine kopeli, oz. strjevalne fronte. Spodnji dve sliki prikazujeta detajla, ki sta v primerjavi z zgornjo sliko 10-krat povečana, njun položaj pa je razviden iz skice ingota. V makrostrukturi jasno vidimo smer in

velikost dendritov, katerih rast med strjevanjem lahko spreminjamo v precej širokih mejah. Od kota, pod katerim rastejo dendriti, je v veliki meri odvisna sposobnost za vročo predelavo, od kombinacije teh kotov in poteka deformacij pri določeni tehnologiji kovanja pa je odvisna stopnja izotropnosti mehanskih in fizikalnih lastnosti odkovka. V zvezi s tem je izredno širok maneverski prostor raziskovanja tehnologije tako imenovanih posebnih postopkov, ki so specialiteta posameznih proizvajalcev. Zaradi znanih značilnih lastnosti makro in mikrostrukture nerjavnega jekla so raziskave teh jekel še bolj zanimive.



Slika 8:  
Makrostruktura EPZ ingota Č.4753—utop Mo 2

## Č.4572-PROKRON 11 special



Slika 9:  
Makrostruktura EPŽ ingota Č.4572 — prokron 11 sp.

Na sliki 9 so na enak način kot v sliki 8 prikazane makrostrukture nerjavnega jekla Č.4572 — Prokron 11 special.

#### Sposobnost za predelavo v vročem

Izkušnje pri kovanju in valjanju konvencionalno izdelanih ingotov in EPŽ ingotov so praktično v vseh primerih potrdile pričakovanja z ugotovitvijo, da je sposobnost za predelavo v vročem pri vseh predelovanih EPŽ ingotih mnogo boljše. To je tudi razumljivo z ozirom na znane pogoje kristalizacije in prikazane makrostrukture EPŽ ingotov. Izboljšanje predelavne

sposobnosti je poznana in posebno cenjena prednost EPŽ jekel, saj prav ta omogoča, da si pri EPŽ asortimentu orodnih jekel lahko privoščimo tudi take sestave, ki imajo bistveno povečano obrabno obstojnost. Jekla s tako sestavo v obliki klasično litih ingotov skoraj ne bi bila sposobna za racionalno predelavo v vročem.

Za orientacijo smo izvršili nekaj preizkusov predelavne sposobnosti s torzijo v vročem na preizkušancih, izrezanih iz nepredelanih EPŽ ingotov. V načrtu imamo širše sistematične preiskave predelavne sposobnosti, zato pri teh prvih orientacijskih preizkusih nismo posvečali posebne pazljivo-



sti položaju izrezanih preizkušancev z ozirom na usmerjenost kristalizacije. Preizkušance smo izrezovali iz roba in iz sredine EPŽ ingotov. Preizkušali tudi nismo predelavne sposobnosti v celotnem temperaturnem intervalu, ampak smo izbrali za primerjalne preizkuse samo tiste temperature, za katere smo že razpolagali z nekaterimi rezultati preizkušanja, kar pa ne pomeni, da so to optimalne temperature.

Pri teh poizkusih smo ugotovili, da število obratov do zloma pri preizkušancih jekla Č.4753 — Utop Mo 2, izrezanih iz nepredelanega EPŽ ingota, lahko nekako primerjamo z rezultati, ki smo jih dobili pri konvencionalno izdelanem jeklu Č.4751 — Utop Mo 1 in Č.4753 — Utop Mo 2 v predelanem stanju.

Podobno razpolagamo s primerjalnimi podatki za jeklo Č.4146—OCR 4 ex. spec. Lahko trdimo, da ima EPŽ ingot bistveno boljše predelavnost kot klasičen ingot, ker je predelavnost EPŽ ingota ob robu že zelo blizu doseženih predelavnosti klasičnega jekla v prekovanem stanju.

Ugotovitve laboratorijskega preizkušanja se zelo dobro ujemajo z opažanji pri kovanju EPŽ ingotov pod stiskalnico. Najvišje legirano in zelo težko predelavno brzorezno jeklo Č.9683 — BRU se v EPŽ izvedbi bistveno boljše predeluje. Podobno smo ugotovili tudi pri kovanju visoko legiranega ledeburitnega orodnega jekla za delo v hladnem Č.4850 — OCR 12 VM. Zaradi izboljšane plastičnosti so se ti ingoti izredno lepo kovali, obenem pa smo ugotovili, da kaže EPŽ jeklo sposobnost za vročo predelavo v znatno širšem temperaturnem intervalu. Nadaljnje sistematične raziskave bodo usmerjene v preverjanje teh ugotovitev in šele z njimi bomo ugotovili optimalni temperaturni in časovni režim ogrevanja pred prede-

lavo, temperaturni interval predelave in maksimalne dopustne stopnje deformacije.

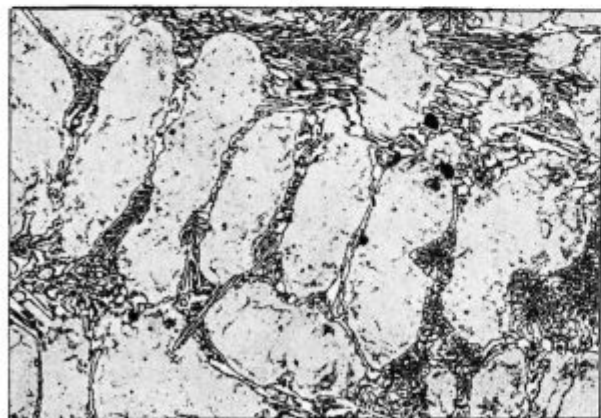
Orodno jeklo za delo v vročem tipa Č.6451 — Utop 2, ki je sicer znano po problemih vroče predelave, je pri kovanju EPŽ ingotov kazalo dobro sposobnost za plastično deformacijo v vročem. Pri kovanju ni bilo nobenih težav. Tudi novo orodno jeklo z oznako OA 2, ki ustreza ameriškemu tipu visoko trdnega konstrukcijskega in orodnega jekla A 2, je kljub visoki vsebnosti ogljika v EPŽ izvedbi dobro predelavno.

### Mikrostrukture

Pri metalografskih pregledih preizkušancev, izrezanih na različnih mestih iz nepredelanih EPŽ ingotov, smo opazili, da je velikost dendritov v teh ingotih neprimerno manjša od dendritov v ingotih enake velikosti, litih po konvencionalnem postopku. Za take kvantitativne ocene so posebno primerna ledeburitna orodna jekla na bazi visokega kroma in visokega ogljika ter brzorezna jekla. Velikost zrn, obkroženih z ledeburitnim evtektikom, je pri EPŽ ingotih bistveno manjša. Tudi velikost karbidnih zrn je manjša. To posebej poudarjamo zato, ker primerjave EPŽ gredic, izdelanih iz EPŽ ingotov, v primerjavi z elektrodami, izdelanimi iz konvencionalnih ingotov, pri uvodnih orientacijskih preiskavah niso pokazale tako očitnih sprememb v prid EPŽ izvedbi.

Žal smo ugotovili, da smo v času raziskave naleteli na nenormalne in zelo neugodne razmere v kovačnici, tako da so bili zaradi zastojev časi ogrevanja ingotov na visoki začetni temperaturi nenormalno dolgi. Iz mnogih raziskav z brzoreznimi jekli in ledeburitnimi Cr—C orodnimi jekli pa vemo, da dolgotrajno ogrevanje na visokih temperaturah neugodno vpliva, ker se razmeroma

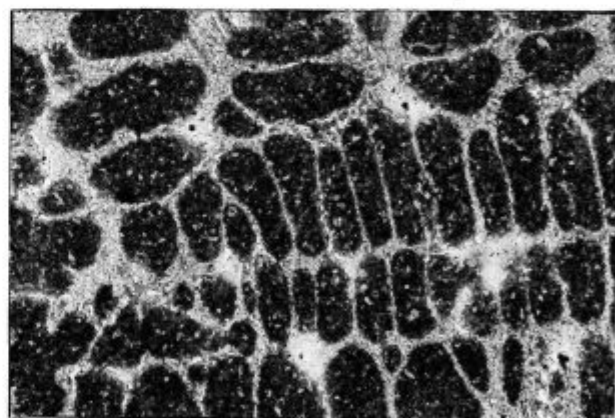
KLASIČNO LITO  $\phi$  220mm



POPREČNA MEDDENDRITNA RAZDALJA 120 $\mu$ m

0,1mm

EPŽ NEPREDELAN INGOT  $\phi$  400mm



POPREČNA MEDDENDRITNA RAZDALJA 40 $\mu$ m

0,1mm

Slika 10

Primerjava mikrostrukture klasično litega jekla kv. 220 mm in nepredelanega EPŽ ingota kv. 400 mm — Č.4150 — OCR 12

fina rebra ledeburitnega eutektika koagulirajo v groba karbidna zrna, katerih ni mogoče več bistveno zmanjšati niti z nadaljnjo vročo predelavo. Tako smo torej visoko kvalitetno EPZ jeklo zaradi nenormalnosti pri vroči predelavi pokvarili. To naj v prihodnje velja kot posebno opozorilo.

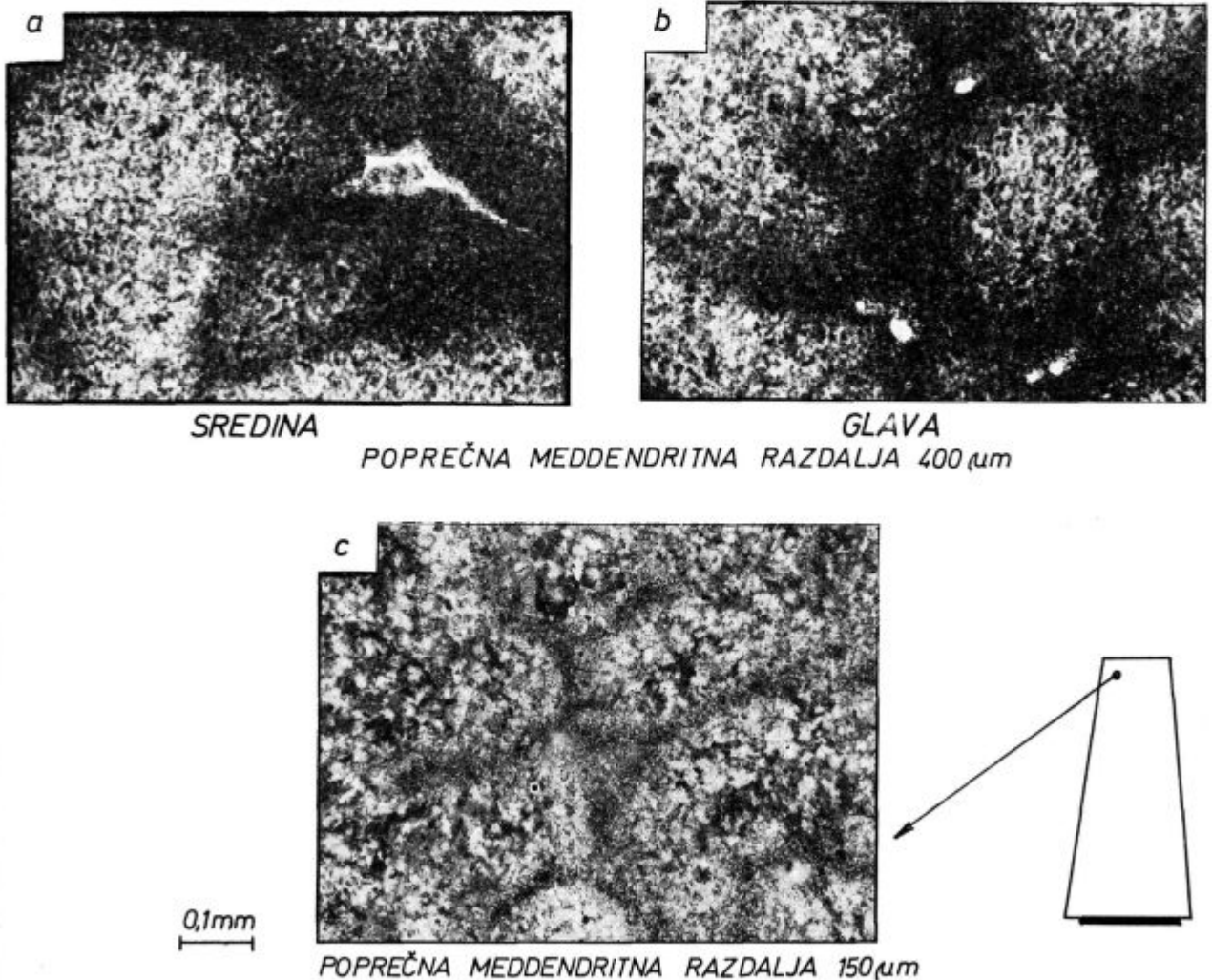
Pri ingotih v nepredelanem stanju smo tako pri orodnih jeklih tipa Utop Mo kot pri ledeburitnih orodnih in brzoreznih jeklih ugotovili znatno ugodnejšo usmerjenost dendritov in predvsem bistveno manjše meddendritne razdalje v primerjavi s klasičnimi ingoti.

Na sliki 10 je za jeklo Č.4150 — OCR 12 podana primerjava povprečnih meddendritnih razdalj za klasično in EPZ jeklo. Posebej je treba poudariti, da je za klasično izdelano jeklo prikazana mikrostruktura lite porabne elektrode s presekom kv. 220 mm, za EPZ jeklo pa je prikazana mikrostruktura nepredelanega EPZ ingota s presekom kv. 400 mm, izdelanega iz te elektrode. Kljub mnogo večjemu preseku so povprečne meddendritne razdalje pri EPZ jeklu trikrat manjše kot pri kla-

sično litem. Mikrostruktura je torej izredno fina in enakomerna, kar je zelo pomembno za mnoge lastnosti, ki so od razporeda karbidov prvenstveno odvisne. Seveda je od pogojev vroče predelave v veliki meri odvisno, kako to ugodno izhodno strukturo ohranimo in še izboljšamo. Z nepravilnimi pogoji ogrevanja in kovanja lahko marsikaj tega, kar smo z EPZ postopkom pridobili, zlahka pokvarimo.

Na sliki 11 je prikazana zanimiva primerjava mikrostruktur klasičnega in EPZ jekla Č.4146 — OCR 4 ex. spec. Na zgornjih dveh slikah sta prikazani mikrostrukturi klasično litega nepredelanega ingota pri glavi in v sredini. Jasno so vidne izceje in tudi izločeni karbidi.

Spodnja slika pa prikazuje mikrostrukturo nepredelanega EPZ ingota enake velikosti pri glavi. Očitna je razlika v velikosti nakazanih zrn. Povprečne meddendritne razdalje so pri klasičnem ingotu dva do trikrat večje kot pri EPZ ingotu, posebna prednost pa je v tem, da praktično nismo našli izločenih karbidov na stičiščih zrn. Prikazana



Slika 11:

Primerjava mikrostruktur klasičnega in EPZ jekla Č.4146 — OCR 4 extra special v nepredelanem žarjenem stanju (a in b — klasično lit ingot 2 t, c — EPZ ingot 2 t)

mikrostruktura klasičnega ingota na zgornjih dveh slikah pa ni najbolj kritična, saj večkrat srečamo mnogo bolj neenakomerne mikrostrukture in grobe karbidne izceje, ki jih je zelo težko ali pa skoraj nemogoče odpravljati v toku predelave in toplotne obdelave jekla. Poglejmo še nekaj problematičnih mikrostruktur v klasično litem nepredelanem ingotu jekla Č.4146 — OCR 4 ex. spec. na sliki 12. Na levi strani so prikazane zelo različne mikrostrukture v različnih položajih preseka ingota, na desni strani pa so detajli teh mikrostruktur pri petkrat večji povečavi. Takih karbidnih segregacij s homogenizacijo, predelavo in toplotno obdelavo skoraj ne moremo z gotovostjo odpraviti, zato še bolj cenimo ugotovitev, da s pregledom mikrostruktur na različnih položajih preseka EPŽ ingota nismo opazili grobih karbidnih izcej. K temu prav gotovo pripomore tudi splošno večja homogenost porazdelitve kemijskih elementov z

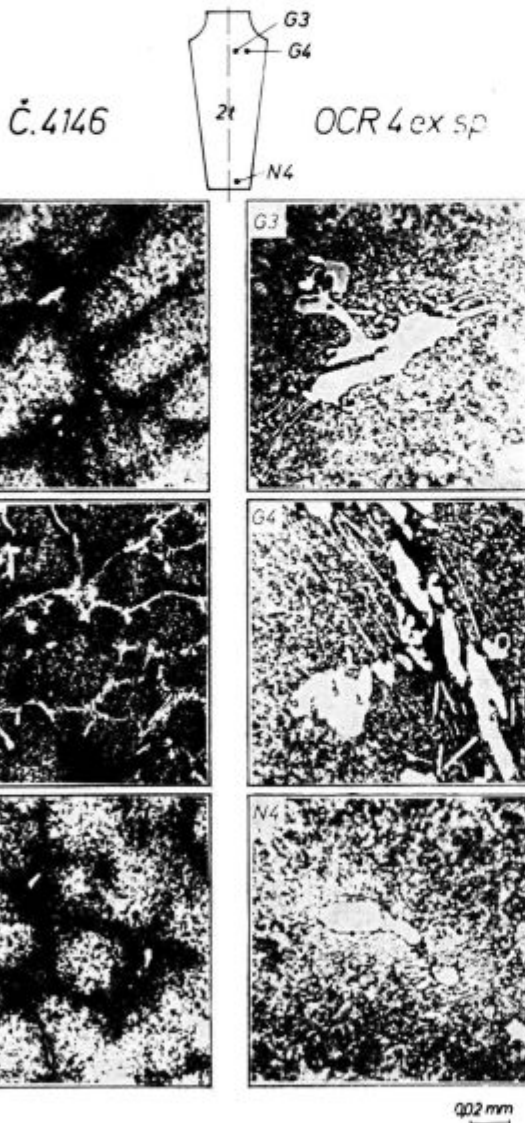
zmanjšanjem blokovnih izcej po višini in preseku EPŽ ingota. Karbidne izceje in neenakomernost mikrostrukture je večkrat povezana tudi s splošno čistostjo jekla in z razporedom vključkov. Primerjave vključkov in vsebnosti žvepla v tem jeklu ne navajamo, ker te primerjave najdemo v številnih publikacijah s področja elektropretaljevanja pod žlindro. Zadovoljimo se z ugotovitvijo, da je EPŽ jeklo neprimerno čistejše, da je mikrovključkov, posebno sulfidnih bistveno manj, grobih vključkov pa pri EPŽ jeklu skoraj sploh ne poznamo. Pri jeklu za kroglične ležaje je zaželena čim nižja vsebnost žvepla in fosforja. Ker znižanje žvepla pri elektropretaljevanju pod žlindro sploh ne predstavlja problema, se lahko z jeklarsko tehnologijo pri izdelavi jekla za elektrode posvetimo predvsem znižanju fosforja. Številni avtorji navajajo velike prednosti EPŽ jekla za kroglične ležaje, predvsem glede obrabne obstojnosti, dinamične vzdržljivosti in splošne življenjske dobe ležajev.

Za perspektive EPŽ jekel za kroglične ležaje pa predstavlja poseben problem cena jekla, ki je izredno nizka in ne prenese stroškov pretaljevanja, zato se uporaba EPŽ jekla omejuje le na izdelavo specialnih ležajev.

Na področju brzoreznih jekel je z EPŽ postopkom omogočeno bistveno izboljšanje homogenosti in mikrostruktur pri večjih formatih ingotov. Z EPŽ postopkom lahko z zmanjšanjem meddendritnih razdalj dosežemo finejšo ledeburitno mrežo. Pri klasičnem ingotu z naraščajočim formatom ingota hitro narašča velikost ledeburitne mreže in neenakomernost mikrostrukture po preseku ingota. Te razlike so pri EPŽ pretaljevanju zaradi značilnosti tehnološkega postopka bistveno manjše, zato se odpirajo nove možnosti povečanja formata EPŽ ingota. Z enakomernejšo in finejšo ledeburitno mrežo je bistveno izboljšana tudi predelavna sposobnost teh jekel. Železarna Ravne danes že lahko izdelava kakovosten odkovek iz brzoreznega jekla z največjim presekom  $\varnothing$  300 mm in težo do ca. 1500 kg, kar po klasični tehnologiji ni izvedljivo.

### Mehanske lastnosti

Prednosti EPŽ jekla glede mehanskih lastnosti se izražajo predvsem v boljših mehanskih lastnostih v prečni smeri. S posebnimi postopki predelave EPŽ jekel je mogoče mehanske lastnosti v prečni smeri zelo približati tistim, ki jih dobimo s preizkušanci, izrezanimi v vzdolžni smeri. EPŽ jeklo nima bistveno drugačnih trdnostnih lastnosti, pač pa ima pri enaki trdnosti boljše žilavost, kontrakcijo, raztezek in predvsem boljše dinamične lastnosti. Pri jeklu za poboljšanje smo v nekaterih primerih dosegli s pretaljevanjem trikrat večjo žilavost v prečni smeri — povečanje od 5 na 15—18 kpm/cm<sup>2</sup>. Z orientacijskimi preizkusi smo pri jeklu Utop Mo 2 ugotovili, da ima nepredelano EPŽ jeklo celo boljše ali vsaj enake me-



Slika 12:

Mikrostrukture klasično litega ingota teže 2t v nepredelanem stanju — jeklo Č.4146 — OCR 4 extra special

hanske lastnosti v vročem (pri temperaturah preizkušanja 520 in 600°C) kot standardno jeklo v predelanem stanju.

Pri orientacijskem preizkušanju mehanskih lastnosti nerjavnega jekla Č. 4572 — Prokron 11 special v nepredelanem stanju EPŽ ingota smo ugotovili boljše ali vsaj enake mehanske lastnosti, kot jih dosegajo preizkušanci iz valjanih gredic kv. 150 mm, izdelanih iz klasičnih dvotonskih ingotov. Žilavost v vzdolžni in prečni smeri se praktično ne razlikuje.

#### **Dobave EPŽ jekel in informacije o obnašanju v praktični uporabi**

Pretežna količina v prvem polletju 1973 izdelanega EPŽ jekla je bila porabljena za interne raziskovalne namene in za preiskave v zvezi z razvojem EPŽ tehnologije v železarni Ravne. Normalno je za definiranje osnovne tehnologije pretaljevanja potrebno izdelati vsaj tri EPŽ ingote, od katerih je prvi neuporaben zaradi večkratnih prekinitev z izvajanjem vseh potrebnih meritev. Drugi ingot je potrebno razrezati za preiskavo makro in mikrostruktur, ki služijo za oceno dosežene kakovosti v odvisnosti od tehnoloških pogojev. Tretji ingot se poizkusno predela. V kolikor so potrebne kakršnekoli korekture pri izpopolnjevanju tehnologije, je potrebno še ustrezno število dodatnih ingotov. Stroški osvajanja so torej zelo veliki in vsaj delno jih zmanjšujemo s preliminarnim preizkušanjem tehnologije, izbire pogojev in EPŽ žlinder na majhni laboratorijski napravi na metalurškem inštitutu. Kljub temu v obdobju osvajanja ostane na razpolago razmeroma malo jekla za dobavo potrošnikom.

V fazi osvajanja nas predvsem zanimajo informacije o obnašanju EPŽ jekel v praktični uporabi. Zato smo posameznim podjetjem s karakterističnimi področji proizvodnje dobavili določene

poizkusne količine, bodisi po posebnem naročilu in dogovoru o dobavi EPŽ jekla, bodisi v okviru rednih naročil. Prejeli smo že mnogo ugodnih ocen, čeprav večina dobavljenega jekla še ni praktično preizkušena, ker je to vezano na dolgotrajno sistematično delo.

Ob koncu leta 1973 z zadovoljstvom ugotavljamo, da je večji del predvidenega sortimenta proizvodnje EPŽ jekel zadovoljivo osvojen za redno proizvodnjo. Izvršene raziskave so potrdile vsa pričakovanja glede kakovosti EPŽ jekel. Povratne informacije o izkušnjah pri uporabi EPŽ jekel so še nepopolne, kolikor pa smo jih že zbrali, so zelo ugodne. Potrebno bo tudi vnaprej tesno neposredno sodelovanje z uporabniki EPŽ jekel, ker so možnosti doseganja specifičnih kakovostnih lastnosti zelo velike na osnovi usmerjenega reguliranja tehnoloških pogojev pretaljevanja k določenim ciljem glede kakovosti jekla.

Zanimanje za dobave EPŽ jekel je v letu 1973 zelo hitro naraščalo in preseгло pričakovanja. Lahko z gotovostjo pričakujemo, da bo že v prvem polletju 1974 angažirana letoletna razpoložljiva kapaciteta EPŽ obrata za leto 1974. To pa solidno utemeljuje smernice načrtovanega nadaljnega razvoja, po katerem bodo kapaciteta in proizvodne možnosti obstoječe naprave v naslednjih letih precej povečane. Ko bo nominalna kapaciteta povsem izkoriščena, naj bi naslednja nova naprava z normalno proizvodnjo EPŽ ingotov teže do 15 ton (maksimalna možnost 25—30 ton) in s premerom ingotov do 1000 mm odprla s težkimi odkovki povsem novo področje uporabe EPŽ jekel. Znatno se bo s tem povečala splošna ekonomičnost EPŽ proizvodnje, ki bo predvidoma pokrila vse pričakovane potrebe jugoslovanskega tržišča po specialnih EPŽ jeklih, obenem pa razpolaga z znatnim deležem kapacitete za izvoz visokovrednih izdelkov.

### **ZUSAMMENFASSUNG**

Das Elektroschlackeumschmelzverfahren ist das neueste Verfahren für die Erzeugung von Stahl der besten Qualität mit einer homogenen und kompakten Kristallisation und einer Reihe von besonderen Qualitätsvorteilen. Das Hüttenwerk Ravne hat das ESU Verfahren in seinem Erzeugungsprogramm seit Anfang des Jahres 1973. Dieser Artikel ist ein Auszug des Vortrages, vorgetragen vom Autor an der ersten jugoslawischen Beratung über die ESU Stähle (im September 1973 in Ravne na Koroškem) und des Vortrages am Hüttenstag in Portorož (im Oktober 1973), und gibt einige Informationen über die halb-jährigen Erfahrungen bei der Einführung und der normalen Produktion von ESU Stahl im Hüttenwerk Ravne.

In der kurzen Übersicht des heutigen Zustandes sind die grundlegenden Eigenheiten und Erzeugungsmöglichkeiten, eine Darstellung des Verfahrens von der Elektrodenvorbereitung bis zu der Verarbeitung der ESU Blöcke, Möglichkeiten und Formen des gelieferten ESU Stahles, die technologischen Wege bei der Erzeugung von ESU Stahl und einige Informationen über die Qualitäts- und Zuverlässigkeitskontrolle angegeben. Auch eine Information über den Erzeugungsprogramm und die Entwicklungstendenzen ist gegeben.

Auf den genannten Beratungen ist auch eine Übersicht über die eigenartigen Qualitätseigenschaften der ESU Stähle gegeben worden, was aber bis ins kleinste in den folgenden Artikeln bearbeitet wird.

### **SUMMARY**

Electro-slag remelting of steel (ESR) is the newest steelmaking process in manufacturing steels of the highest quality with homogeneous and compact crystallization

and with many special quality properties. The Ravne Ironworks introduced the ESR process in its production program in the beginning of 1973. The paper is a summary

of the paper to the first Yugoslav Conference on ESR steel, Ravne na Koroškem, September 1973, and of the paper on Metalurško srečanje, Portorož, October 1973, and gives some informations on half-year experiences in introducing and regular production of ESR steel in Ravne Ironworks.

In a short description of the present state basic characteristics and production possibilities, presentation of

the industrial process from preparation of electrodes to working of ESR steel ingots, possibility and shapes of delivered ESR steels, technological solutions in ESR steel manufacturing, and some informations on production program and development trends are given.

On the mentioned conferences also a review of characteristic quality properties was given but this will be presented later in a series of special papers.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Способ электрического переплавления стали под шлаком (ЕЩП) представляет самое новейшее достижение производства стали высокого качества, компактной и однородной кристаллизации и целым рядом специальных преимуществ, что касается качества. Металлургический завод Равне внёс ЕЩП способ в свой план деятельности производства стали в начале 1973-го г. В статье, в форме осмотра, подан доклад с первого югославского совещания о ЕЩП-сталях (сентября 1973-го г. в Равнах) и доклад с совещания металлургов в Портороже (октября, 1973-го г.); некоторые сведения о полугодовых опытах при освоении и регулярного производства ЕЩП-стали в металл-ом заводе Равне.

С коротким описанием теперешнего состояния этого способа поданы основные характеристики процесса и возможности в промышленном производстве, начиная с приготовлением электрода до переработки ЕЩП-слитков. Рассмотрены также технологические направления при производстве ЕЩП-стали, а также некоторые сведения о контроле и надёжности качества. На упомянутых докладах приведен обзор качественных свойств стали этого способа производства, которые будут обширно изложены в будущих работах на эту тему.

# Izboljšanje kvalitete visoko legiranih jekel s pretaljevanjem pod žlindro (EPŽ-postopek)

DK: 669.187.26; 669.046.54  
ASM/SLA: D 8 n

Blaženko Koroušič,

Članek podaja rezultate večletnih raziskav na področju pretaljevanja visoko legiranih jekel pod žlindro (EPŽ-postopek). Opisane so tehnološke značilnosti postopka ter njihov vpliv na potek taljenja. Makroskopske in mikroskopske preiskave jekla v litem in predelanem stanju. Kemična analiza jekla pred pretaljevanjem in po pretaljevanju pod žlindro s posebnim poudarkom na obnašanje silicija, žvepla in kisika. Na kraju je podana diskusija o vplivu kristalizacijskih pogojev na homogenost EPŽ-jekla v litem in predelanem stanju.

## 1. UVOD

Na Metalurškem inštitutu v Ljubljani smo začeli z osvajanjem in razvojem na področju elektro pretaljevanja visoko legiranih jekel pod žlindro 1970. leta.

Pričeli smo s pretaljevanjem jekel za kroglične ležaje<sup>1</sup> in nato razširili aplikacijo EPŽ-postopka tudi na brzorezna<sup>2</sup>, utopna, nekatera ognjeodporna in nerjavna jekla<sup>3</sup>.

Razvojni program EPŽ-postopka smo razdelili v dve osnovni skupini, kar izhaja iz osnovnih značilnosti EPŽ-postopka:

1. izboljšanje čistoče jekla zaradi ugodnih rafinacijskih pogojev (visoka temperatura, reakcijska površina in kemično aktivna žlindra),

2. izboljšanje makro in mikrostrukturne homogenosti jekla zaradi usmerjene kristalizacije.

## 2. EPŽ-naprava

Laboratorijska EPŽ-naprava, instalirana na Metalurškem inštitutu je prva naprava tega tipa v Jugoslaviji. Namenjena je predvsem za raziskovanje.

Njena izvedba je monofaznega tipa z nepremičnim kristalizatorjem, premera 118 mm in efektiv-

\* Članek predstavlja skrajšani povzetek predavanja, ki ga je imel avtor na prvem jugoslovanskem posvetovanju Električno pretaljevanje jekel pod žlindro v prireditelji Zvezne Ravnice in Metalurškega inštituta iz Ljubljane na Ravnah na Koroškem, septembra 1973.

Avtor je diplomirani inženir metalurgije in doktor metalurških znanosti ter samostojni raziskovalec na metalurškem inštitutu v Ljubljani.

no višino ingota do 600 mm. Maksimalna teža ingota znaša 50 kg.

Pečni transformator ima naslednje karakteristike:

Primarna moč	140 kVA
sekundarna napetost (4 stopnje)	38—54 V
maksimalna jakost toka (sekundarna)	1800 A
hitrost premika elektrode	0—50 mm/min

Naprava je opremljena z elektronsko regulacijo hitrosti taljenja, kakor tudi z elektronskim sistemom za odčitavanje nivoja elektrode (kontrola hitrosti taljenja).

Posebej izdelana monofazna grafitna peč služi za taljenje žlindre (tekoči vžig).

## 3. Metalurška praksa

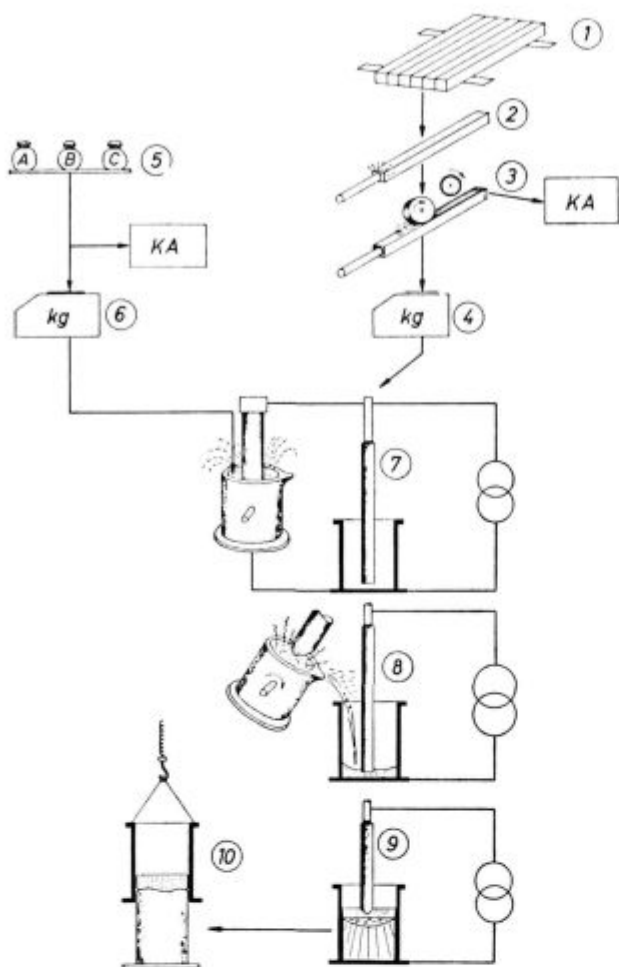
Potek priprave elektrod, tekoče žlindre, vžig ter vodenje postopka taljenja je prikazano v grafični obliki na sliki 1.

Na palice okroglega ali kvadratnega preseka 50—60 mm in dolžine maks. 3,5 m se navari elektrodni nastavek. V primeru, da je površina palic (v nadaljnjem elektrod) zelo oksidirana ali če gre za jekla, ki jim postavljamo visoke zahteve glede čistoče, se izvede mehansko čiščenje elektrod (poz. 3). Da bi natančneje kontrolirali proces taljenja in materialno bilanco procesa, se elektroda tehta (poz. 4) in nato vpne v elektrodni sistem EPŽ-naprave (poz. 7).

Izbrana vrsta in količina žlindre (normalno 5—6 % od teže jekla) se po vzetem vzorcu za kemično analizo (KA) in tehtanju šaržira v elektro peč, v kateri se z uporovnim taljenjem stali v času 8—10 min.

Nato se žlindra prelije iz grafitne peči v kristalizator, v katerem jeklena elektroda (ki je pod napetostjo) takoj prevzame funkcijo ogrevanja in nekaj sekund za tem se tudi sama začne odtaljevati.

Za ponovno stabilizacijo procesa (ponovno ogrevanje žlindre na delovno temperaturo) je potrebno ponavadi 5—7 min., nakar proces taljenja jekla poteka zelo mirno in ga je mogoče v celoti prepustiti avtomatski kontroli taljenja.



Slika 1:

Tehnološka shema izdelave EPŽ-ingotov na polindustrijski EPŽ-napravi na Metalurškem inštitutu v Ljubljani

S časom taljenja se zmanjšuje dolžina elektrode, kar pri konstantni napetosti (in praviloma tudi konstantni ohmski upornosti žlindre) vodi do povečanja moči v žlindro in s tem se tudi poveča hitrost taljenja jekla. Zato je potrebno kontrolno taljenja voditi tako, da je dovedena moč v žlindro konstantna, kar se doseže z optimalno izbiro napetosti ali vključevanjem induktivne upornosti (dušilke) v primarno stran transformatorja.

Kvaliteta površine ingota je odvisna predvsem od toplotnih pogojev v žilindrni kopeli, oziroma od ravnotežja med dovedeno količino toplote v žlindro in izgubami v žilindrni kopeli.

Pri veliki razdalji elektrodnega konusa od tekoče kopeli jekla narašča ohmska upornost žlindre in pada jakost toka, kar vodi do zmanjšanja moči (s kvadratom toka) in padca temperature žlindre. Pri zelo majhni razdalji narašča jakost toka, toda dovedena moč kljub temu pada, kar se ponovno pokaže v padcu temperature žlindre.

V obeh ekstremnih primerih nastaja skorja žlindre z neenakomerno debelino, kar vodi do zelo slabe kvalitete površine EPŽ-ingota in s tem

tudi do poslabšanja izkoristka kovine pri njegovi nadaljni predelavi.

Na sliki 2 so prikazane nekatere značilnosti površin EPŽ-ingotov, ki jasno kažejo energetska stabilnost procesa.

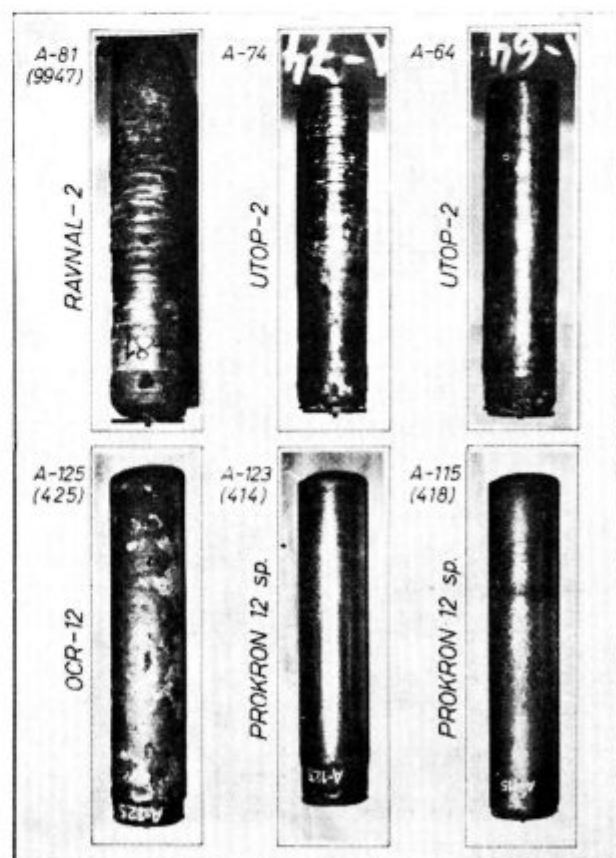
#### 4. REZULTATI

V prvi fazi osvajanja in razvoja EPŽ-procesa smo osnovno pozornost posvetili obnašanju kemičnih elementov in spremembam makro in mikrostrukture jekel med pretaljevanjem pod žlindro.

##### 4.1 Kemična analiza jekel

Analiza kemične sestave žlindre med procesom kaže, da se s časom taljenja spreminja predvsem vsebnost  $\text{CaO}$  in  $\text{SiO}_2$  ter v manjši stopnji vsebnost ostalih sestavin žlindre ( $\text{CaF}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{C}$ ,  $\text{S}$ ).

Primerjava kemične sestave izhodnega jekla (elektrode), lite strukture »glava« in »noga« EPŽ-ingota in jekla v predelanem stanju (po kovanju EPŽ-ingota) nam pokaže, da obnašanje elementov v jeklu lahko razdelimo v štiri osnovne skupine:



Slika 2:

Nekateri tipični oblike površine EPŽ-ingotov pretaljenih pod žlindro  $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}$

1) elementi, katerih vsebnost v pretaljenem jeklu ostane nespremenjena: Co, Ni, C, Mo, W, C ter primesi As, Sn, Sb, Cu, Zn in Pb,

2. elementi, katerih vsebnost se spremeni za manj kot 10—15 %: Mn, N, P,

3. elementi, katerih vsebnost se spremeni med 10 do 80 %: Si, O in S,

4. elementi, katerih vsebnost variira, odvisno od pogojev taljenja (»odgor« ali prirastek): Al, Ti.

#### 4.1.1 Silicij

Silicij ima od vseh elementov največjo aktivnost pri visoko legiranih jeklih med pretaljevanjem pod CaF<sub>2</sub>-žlindrami in je zato tudi najmočnejši dezoksidant (razen pri jeklih z zelo visoko vsebnostjo Al, Ti, B itd.).

»Odgor« silicija iz elektrode je posledica njegove reakcije s kisikom na fazni meji: elektrodni konus — žindra. Čim večja je bazičnost žindre in čim večja je vsebnost (FeO) v žindri, tem močnejši je njegov »odgor«.

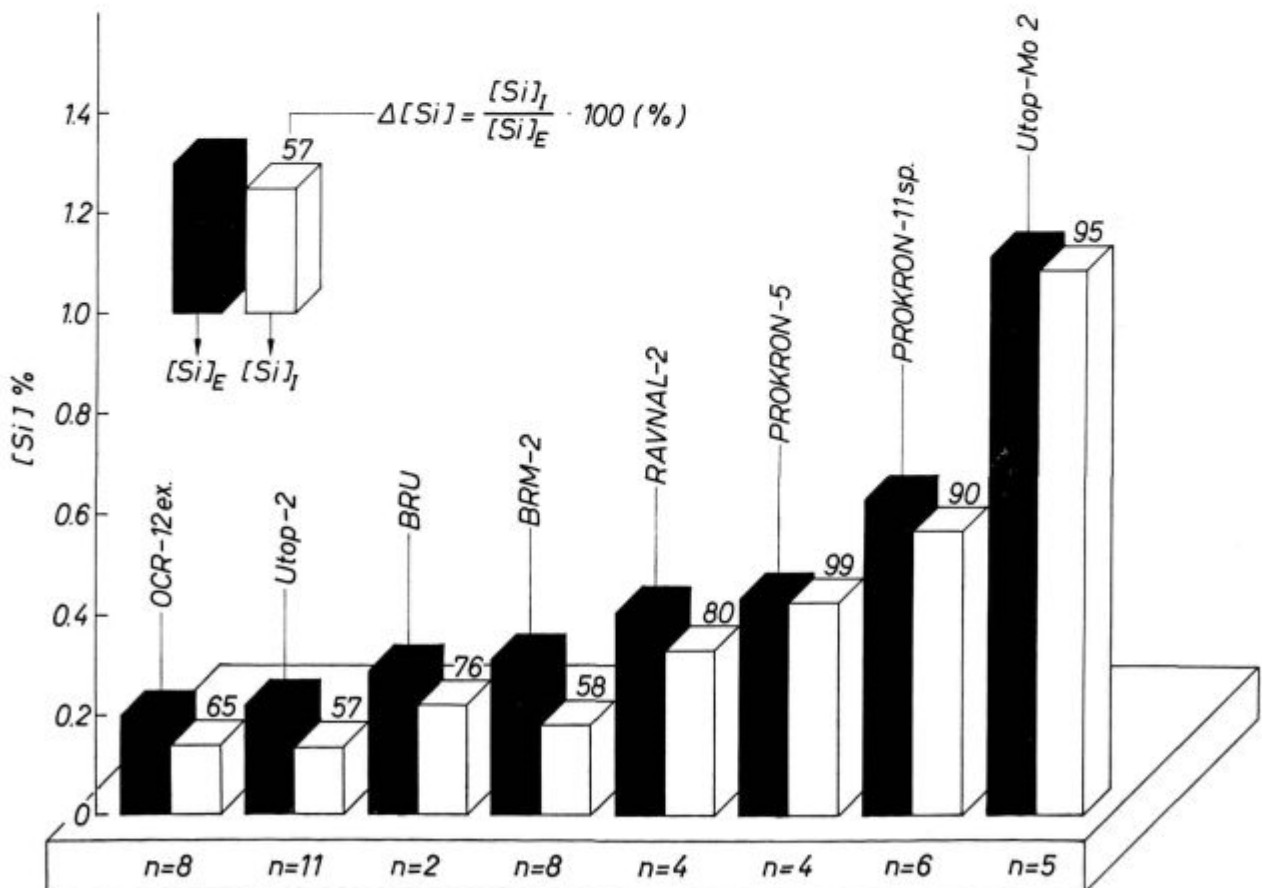
Na sliki 3 je prikazan povprečni izkoristek silicija nekaterih visoko legiranih jekel, pretaljenih pod žlindrami iz sistema CaF<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CaO. [Si]<sub>E</sub> in

[Si]<sub>I</sub> pomenita povprečno vsebnost silicija v elektrodi in EPŽ-ingotu (glava) in »n« število preiskanih ingotov.

Iz teh rezultatov je razvidno, da je odgor silicija pri jeklih s Si ≥ 0,4 % manjši od 10 %, medtem ko je pri jeklih z nižjim silicijem znatno večji in doseže vrednosti med 40—45 %. Odgor silicija kakor tudi drugih elementov je mogoče preprečiti s kontinuirano dezoksidacijo žindre med procesom taljenja (z doziranjem aluminija v žindro). V začetni fazi taljenja (noga ingota) je bazičnost žindre največja, kar ima za posledico maksimalno aktivnost silicija v jeklu. Kemična analiza žindre, vzete direktno iz kristalizatorja v različnih fazah taljenja jekla, nam pokaže, da vsebnost SiO<sub>2</sub> v žindri s časom taljenja nenehno narašča. Ker vsebnost CaO ne narašča z enako stopnjo, bazičnost žindre pada od noge proti glavi ingota. Posledica tega je poslabšanje pogojev za reakcijo silicija s kisikom in drugimi komponentami sistema kovina — žindra, kakor tudi zmanjšanje stopnje odžveplanja.

#### 4.1.2 Kisik

Obnašanje kisika v EPŽ-jeklu je tesno povezano z obnašanjem silicija in aluminija. Pri jeklih,

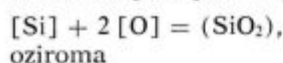


Slika 3:

Obnašanje silicija med pretaljevanjem visoko-legiranih jekel pod žindro  
[Si]<sub>E</sub>, [Si]<sub>I</sub> — vsebnost silicija v elektrodi oziroma ingotu n — število pregledanih ingotov



pri katerih je silicij najmočnejši dezoksidant, je vsebnost kisika v jeklu določena s termodinamičnim ravnotežjem po reakciji<sup>4</sup>:



$$[\% \text{O}]^2 = \frac{a_{\text{SiO}_2}}{K_{\text{Si}, \text{O}} \cdot [\% \text{Si}] \cdot f_{\text{O}} \cdot f_{\text{O}}^2}$$

Iz te enačbe je razvidno, da bo pri konstantni temperaturi in vsebnosti silicija v jeklu vsebnost kisika v jeklu tem večja, čim večja je aktivnost  $\text{SiO}_2$  v žlindri (oziroma čim manjša je bazičnost žlindre).

Analiza vsebnosti kisika v nogi, sredini in glavi EPZ-ingotov potrjuje to ugotovitev, ker kisik praviloma narašča z naraščajočo vsebnostjo  $\text{SiO}_2$  v žlindri.

Pri konstantni vsebnosti  $\text{SiO}_2$  v žlindri (konstantni aktivnosti  $\text{SiO}_2$ ) in konstantni temperaturi bi morala obstajati (glede na omenjeno odvisnost med  $[\text{Si}]$  in  $[\text{O}]$ ) direktna odvisnost med kisikom in silicijem, tj. čim večja je vsebnost silicija v jeklu, tem nižja je vsebnost kisika.

Praktični poskusi so pokazali, da vsebnost silicija le delno vpliva na vsebnost kisika v jeklu in da so vplivi temperature, bazičnosti žlindre in vsebnosti kisika v izhodni elektrodi znatno močnejši.

Na sliki 4 je pokazana povprečna stopnja odprave kisika med pretaljevanjem različnih visoko legiranih jekel.

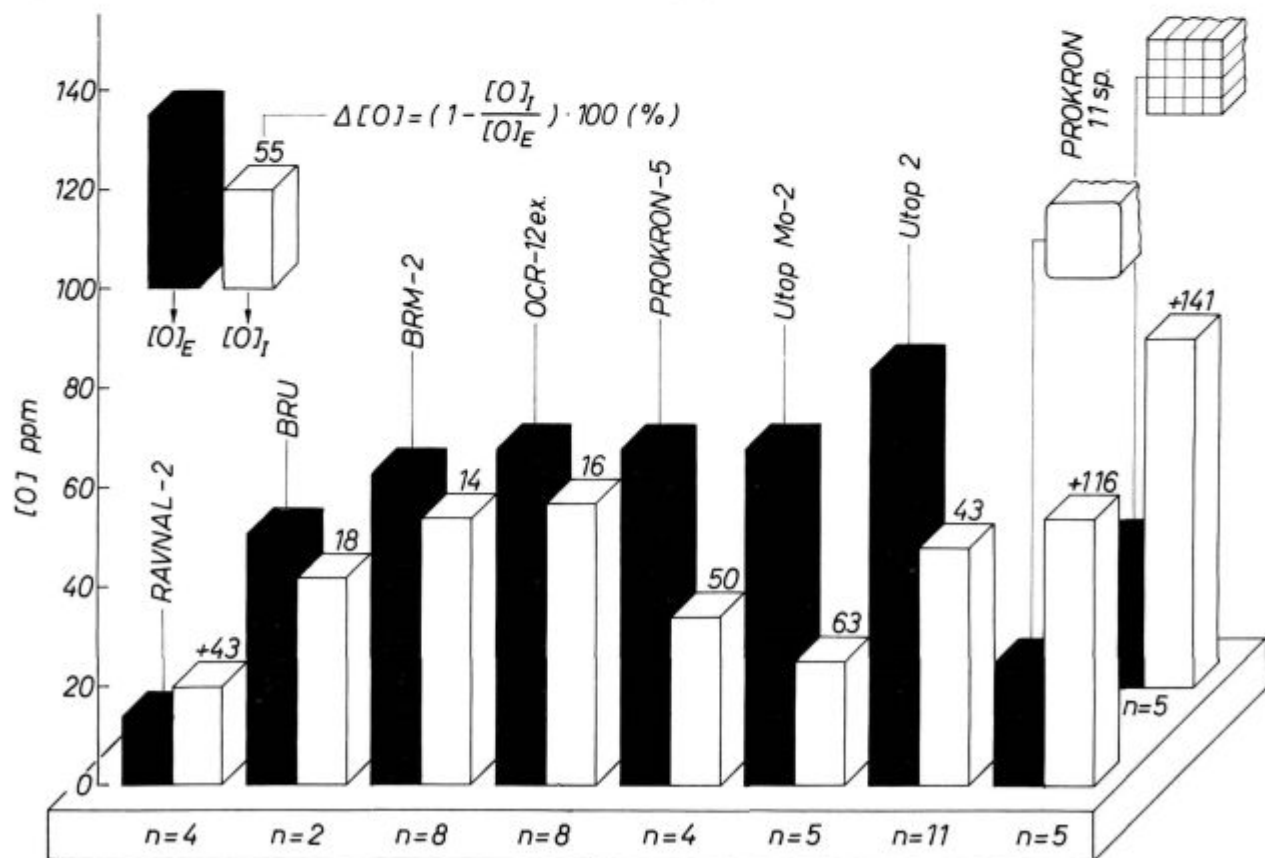
Iz podanih rezultatov je razvidno, da je zmanjšanje kisika v pretaljenem ingotu v povprečju zelo različno, od 14 do 63 %, in da pri jeklih z zelo nizko vsebnostjo kisika v izhodnem stanju (če niso izvršeni nikakršni ukrepi za preprečitev oksidacije — uporaba nevtralne atmosfere, dezoksidacija žlindre med taljenjem) lahko pride celo do povečanja vsebnosti kisika.

Vpliv oksidacije površine elektrode med pretaljevanjem jasno kaže primer pretaljevanja nerjavnega jekla Prokron 11 sp., pri katerem je uporabljena poleg navadne še sestavljena elektroda. Povečanje površine elektrode v razmerju 4:1 je prineslo povečanje vsebnosti kisika v razmerju 2,5:1 pod sicer enakimi ostalimi pogoji pretaljevanja.

#### 4.1.3 Žveplo

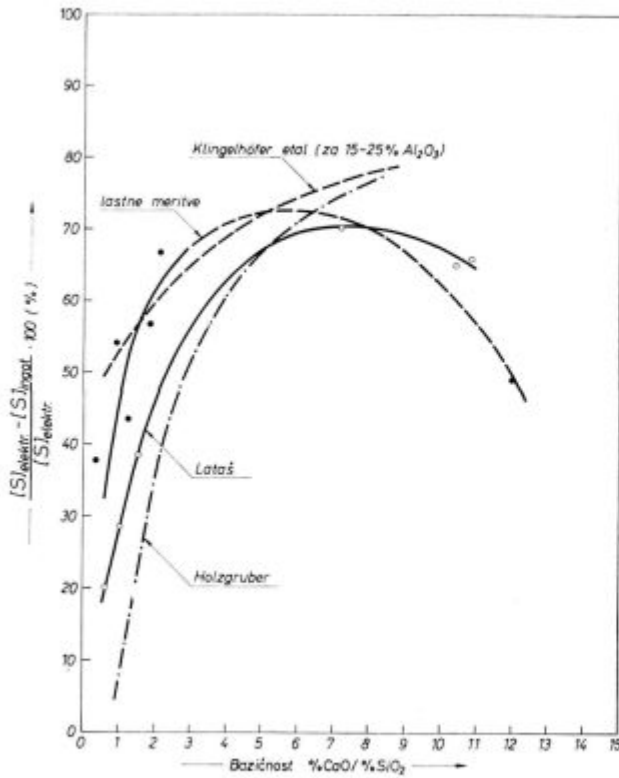
Ena od osnovnih značilnosti EPZ-postopka je visoka stopnja odžveplanja jekla, pretaljenega pod  $\text{CaF}_2$ -žlindrami. Stopnja odžveplanja narašča z bazičnostjo žlindre, kot je to razvidno iz slike 5.

Povprečna stopnja odžveplanja analiziranih jekel se giblje med 25—74 %. Absolutna vsebnost žvepla analiziranih jekel leži med 40—100 ppm (glej sliko 6).



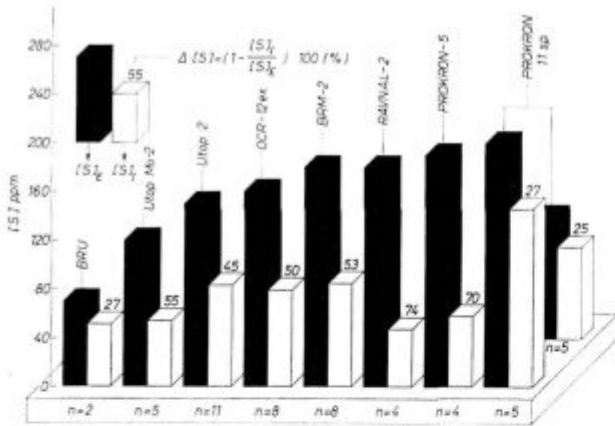
Slika 4:

Obnašanje kisika med pretaljevanjem visoko-legiranih jekel pod žlindro (oznake enako kot na sliki 3)



Slika 5:

Vpliv bazičnosti na stopnjo razžveplanja med talenjem jekla po EPZ-postopku (Rezultati Lataša izračunani na osnovi podatkov o sestavi žilindre po talenju jekla in vsebnosti žvepla v elektrodi in ingotih)



Slika 6:

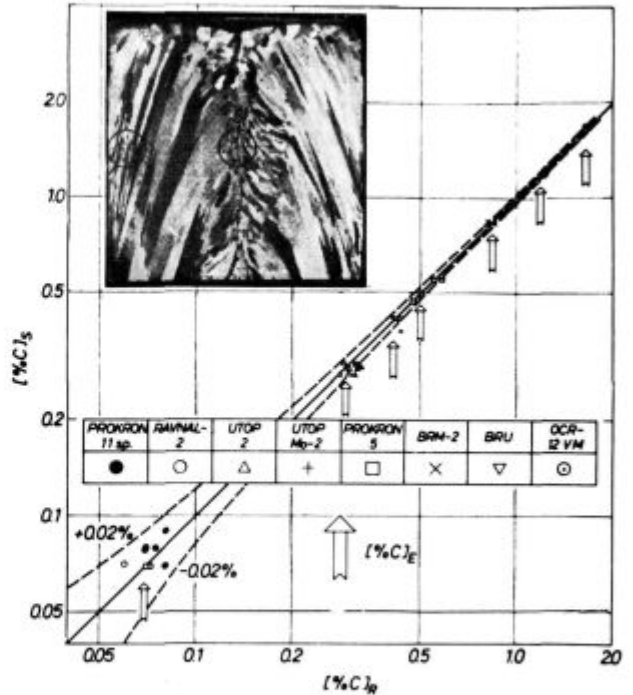
Žveplo in stopnja odžveplanja v visoko-legiranih jeklih pretaljenih po EPZ-postopku (oznake enako kot na sliki 3)

#### 4.1.4 Ostali elementi

Sprememba vsebnosti ostalih elementov v analiziranih kvalitetah jekel je zanemarljivo majhna.

Vsebnost ogljika leži v mejah natančnosti analitske tehnike in ni opaziti bistvenih razlik med nogo in glavo ter robom in sredino EPZ-ingota (glej sliko 7).

Vsebnost aluminija se zmanjšuje z naraščajočo višino ingota, in sicer tem močnejše, čim nižja je njegova vsebnost v izhodni elektrodi. Vsebnost



Slika 7:

Odvisnost med vsebnostjo ogljika v obrobem [%C]<sub>R</sub> in srednjem delu EPZ-ingota [%C]<sub>S</sub> — [%C]<sub>R</sub> — povprečna vsebnost ogljika v elektrodi

mangana, dušika, fosforja in bakra je v povprečju 5—10 % nižja kot v izhodni elektrodi.

Vsebnost legirnih elementov in primesi ostane v mejah izhodne elektrode.

## 4.2 Izboljšanje strukture visoko legiranih jekel

Strukturne značilnosti pretaljenih jekel smo analizirali v litem in predelanem stanju.

### 4.2.1 Makrostruktura EPZ-ingotov

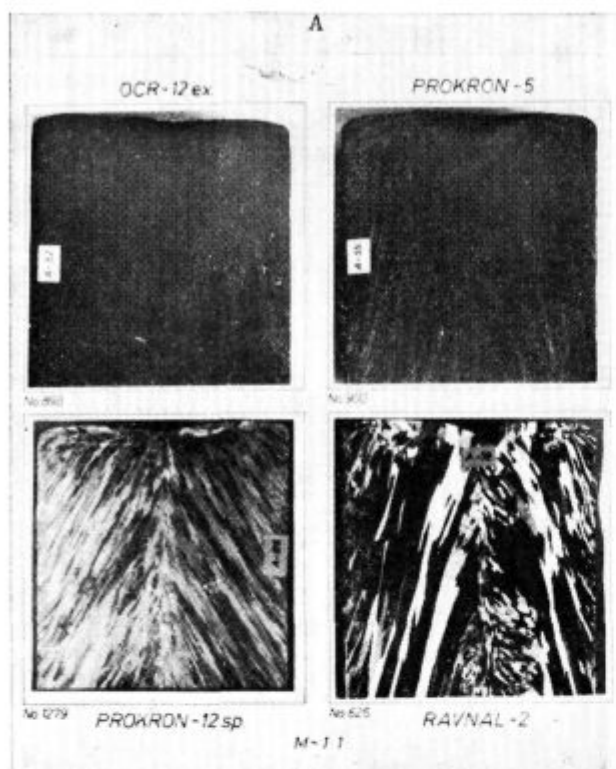
Makrostruktura EPZ-ingotov se razlikuje od makrostrukture konvencionalno litih ingotov predvsem po načinu kristalizacije, kar je pogojeno z načinom odvajanja toplote.

Makrosegregacije in poroznost strukture v srednjem delu ingota, ki so značilne za standardno ulite ingote, zlasti pri večjih dimenzijah, so pri EPZ-ingotih skoraj popolnoma izključene.

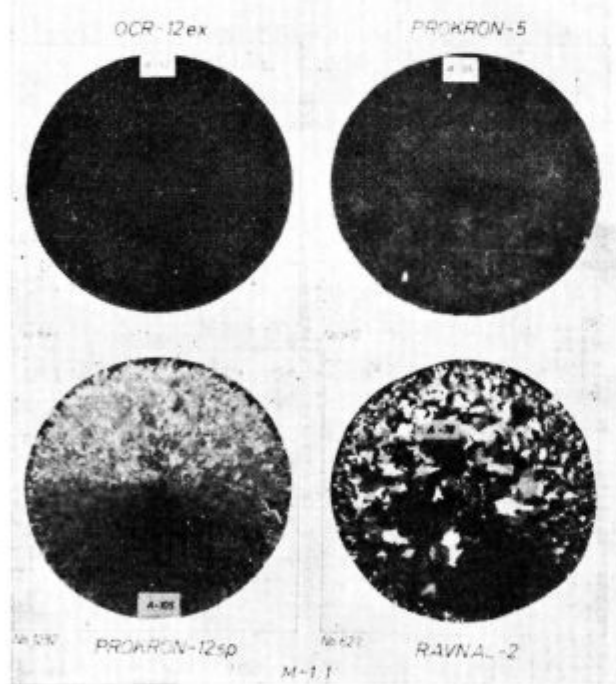
Osnovna značilnost EPZ-ingotov je usmerjena kristalizacija ter gosta in homogena struktura.

Na sliki 8 (A in B) je pokazana makrostruktura v vzdolžni in prečni smeri za štiri različne kvalitete jekel.

- A — 52: ledeburitno jeklo (OCR-12)
- A — 55: martenzitno jeklo s 13 % Cr (Prokron 5)
- A — 105: nerjavno avstenitno jeklo (Prokron 12 sp)
- A — 78: feritno, ognjeodporno jeklo (Ravnal 2)



B



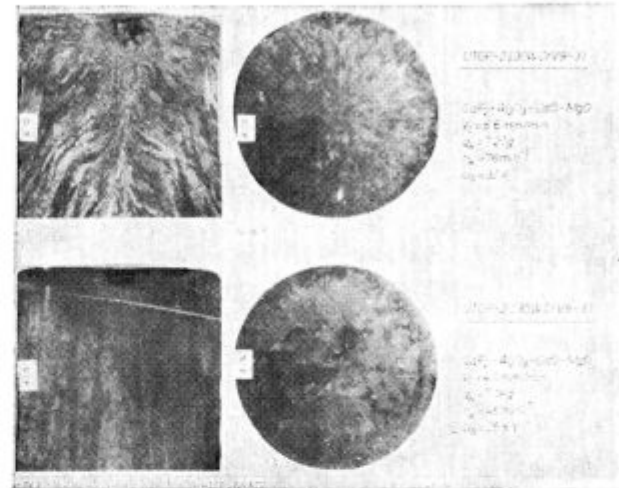
Slika 8:

Makrostruktura nekaterih visoko-legiranih jekel pretaljenih pod žlindro v vzdolžnem (A) in prečnem preseku (B)

Naklon kristalov in gostota jekla je odvisna predvsem od talilnih pogojev, kot so količina dovedene električne moči v žlindro, količina in vrste žlindre, velikost polnilnega faktorja  $k = (d_E/D_K)^2$

in drugih, ki v kompleksni obliki vplivajo na hitrost taljenja in s tem tudi na geometrijo kovinske kopeli.

Na sliki 9 je ilustriran primer vpliva hitrosti taljenja na makrostrukturo EPZ-ingotov (hitrost naraščanja ingota —  $v_I$  (mm/min) je direktno proporcionalna hitrosti prenosa kapelj —  $n_K$  (min<sup>-1</sup>). Pri omenjenih poskusih je spreminjana količina dovedene moči v žlindrno kopel, medtem ko so vsi ostali pogoji ostali nespremenjeni. Iz primer-



Slika 9:

Makrostruktura utopnega jekla pretaljenega pod žlindro  $CaF_2-Al_2O_3-CaO-MgO$  pri dveh različnih hitrostih taljenja

jave makrostruktur je razvidno, da so pri večjih hitrostih naraščanja ingota zelo močni konvektivni tokovi v kovinski kopeli pred kristalizacijsko fronto, kar ima znaten vpliv na kvaliteto pretaljenega jekla.

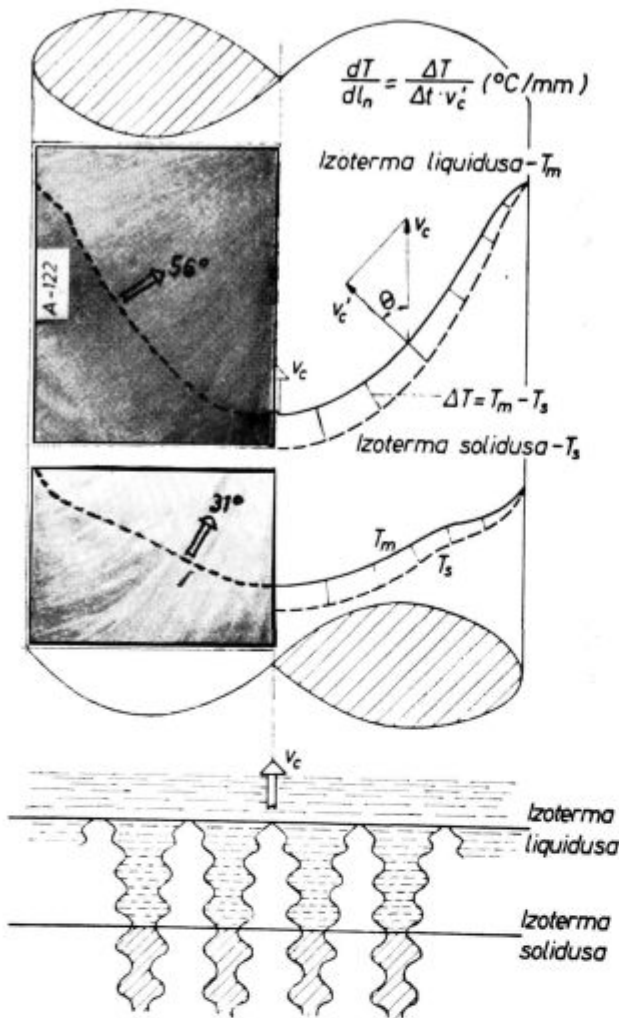
4.2.2 Mikrostruktura EPZ-ingotov

Številne raziskave o kristalizaciji EPZ-ingotov so pokazale, da obstaja direktna odvisnost med mikrostrukturo jekla v litem stanju (npr. razdalja med sekundarnimi vejami dendritov) in temperaturnim gradientom na kristalizacijski fronti<sup>8</sup>.

Toplotni pogoji v kovinski kopeli se pokažejo, kot smo že omenili, v njeni geometriji. Velikost temperaturnega gradienta  $dT/dl_n$  (°C/mm) je odvisna od<sup>9</sup>: temperaturnega intervala strjevanja —  $\Delta T$ , lokalnega časa strjevanja —  $\Delta t$  in komponente hitrosti strjevanja —  $v_e'$  (glej sl. 10).

Čim večja je vrednost gradienta  $dT/dl_n$ , tem manjša je razdalja med dendritnimi osmi in tem manjša je kemična heterogenost v mikro področjih.

Interval taljenja legiranih jekel z visoko vsebnostjo ogljika (kot so orodna jekla) je ponavadi zelo širok (reda velikosti 100—200° C), zato so tudi lokalni časi strjevanja zelo veliki. Ker velja predpostavka, da karbidi rastejo le v dvofaznem območju, pomeni, da je pri nizki hitrosti taljenja



Slika 10:

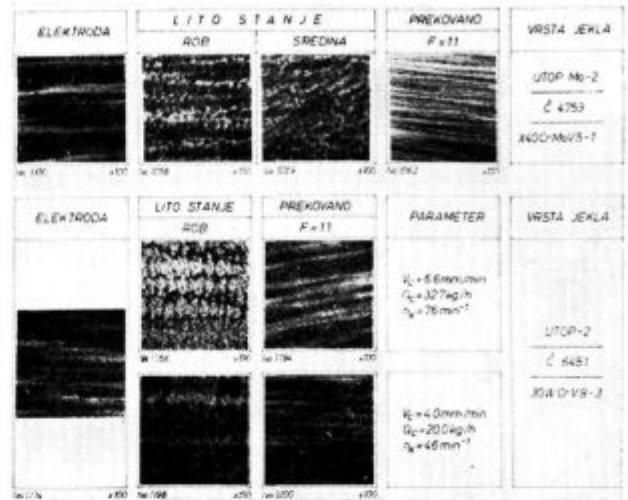
Shematska ponazoritev liquidus in solidus izoterm ter poenostavljen model dvofaznega območja (Mellberg in Sandberg)\*

lokalni čas ( $\Delta t$ ) daljši in so zato karbidi večji. Seveda je treba pri tem poudariti, da z naraščanjem velikosti ingota narašča tudi čas strjevanja, kar govori, da je potrebno za vsako vrsto jekla določiti optimalno velikost ingota in optimalno hitrost taljenja.

Prednosti EPŽ-postopka v primerjavi s konvencionalnimi postopki izdelave visoko legiranih jekel se kažejo v možnosti vodenja kristalizacije v kontroliranih pogojih (spreminjanje hitrosti taljenja in geometrije kovinske kopeli), ki se manifestirajo v spreminjanju homogenosti jekla (močan vpliv na plastične lastnosti jekel) in čistoče jekla od nekovinskih vključkov.

Na sliki 11 je prikazana mikrostruktura dveh tipičnih predstavnikov orodnih jekel — utop Mo 2 in utop 2. Zaradi lažje primerjave je na sliki podana struktura elektrode (predelano stanje), EPŽ-ingota v litem stanju (rob in sredina) in prevokani ingot s stopnjo deformacije ( $F_0/F = 11$ ).

Iz podane slike je razvidno, da je struktura predelane EPŽ-ingota znatno drobnejša kot

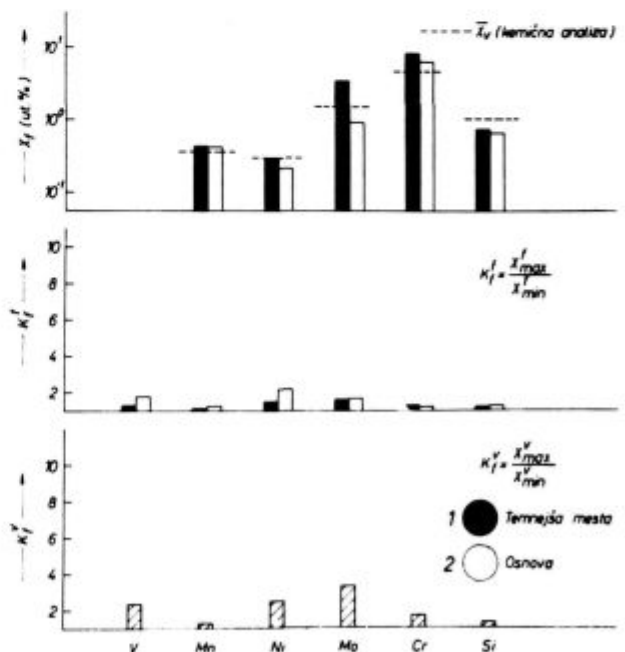
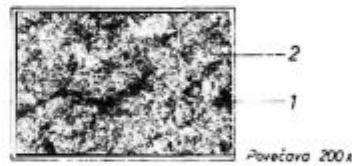


Slika 11:

Mikrostruktura EPŽ-jekel utop Mo 2 in utop 2 v litem in predelanem stanju

struktura izhodnega jekla, čeprav je stopnja deformacije elektrodnega materiala veliko večja.

Vpliv hitrosti taljenja pri jeklu utop 2 v predelanem stanju ni več tako izrazit kot pri mikrostrukturi (glej sl. 9), čeprav je trakasta struktura pri manjši hitrosti taljenja drobnejša in enakomernejša.



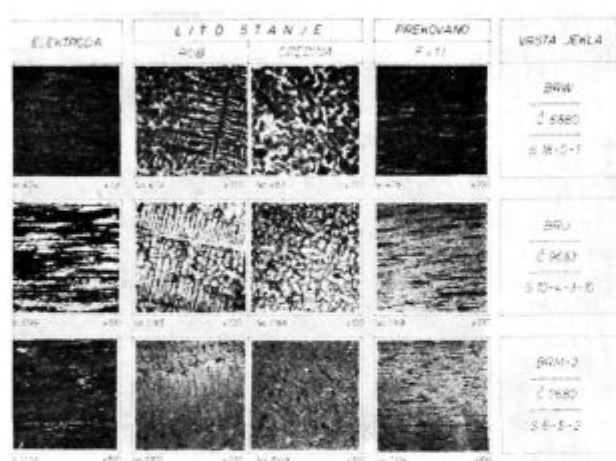
Slika 12:

Porazdelitev kemičnih elementov v mikrostrukturi EPŽ-jekla utop Mo 2 (A-38) v prevokanem stanju ( $F = 11$ )

Na sliki 12 je prikazana porazdelitev kemičnih elementov v mikrostrukturi EPŽ-jekla utop Mo 2 v prekovanem stanju ( $F_0/F = 11$ ) (preiskave z mikrosondo).

Iz podanih rezultatov je razvidno, da je homogenost analiziranih elementov v eni strukturalni fazi ( $k_f^x = x_{\max}^f/x_{\min}^f$ ) kakor tudi v celotnem vzorcu ( $k_f^v = x_{\max}^v/x_{\min}^v$ ) zelo visoka, kar se ujema z analognimi ugotovitvami drugih avtorjev pri enaki kvaliteti jekla<sup>10</sup>.

Kot nadaljni primer kažemo primerjavo mikrostruktur za tri tipične predstavnike brzoreznil jekel: BRW (S 18-0-1), BRU (S 10-4-3-10) in BRM 2 (S 6-5-2), in sicer za izhodno elektrodo, EPŽ-ingot v litem stanju (rob in sredino) in EPŽ-jeklo v predelavnem stanju (stopnja deformacije  $F_0/F = 11$ ) (slika 13).



Slika 13:

Mikrostruktura treh predstavnikov brzoreznil jekel pretaljenih pod žlindro (v litem in predelanem stanju)

Mikroskopska analiza je pokazala, da v liti strukturi EPŽ-ingotov opazimo dve strukturalni komponenti: v območju od roba do približno 1/4 radija ingota so prisotni dendritni kristali z zelo majhno meddendritno razdaljo ( $d_{II} = 30-40$  mikronov), medtem ko se v srednji coni ingota nahajajo globularni kristali ( $d_{II} = 40-55$  mikronov). Primerjava lite strukture EPŽ-ingotov z analogno strukturo konvencionalno litih ingotov (pri enaki velikosti ingota) pokaže, da je oblika, velikost in porazdelitev karbidov v predelanem stanju znatno ugodnejša kot v izhodnem jeklu (elektrodi). Pri tem moramo poudariti, da se vse omenjene primerjave nanašajo na isti presek in stopnjo deformacije.

Superiornost EPŽ-jekel se pokaže najbolj pri primerjavi strukturalnih lastnosti jekel pri večjih dimenzijah ingotov.

Ugotovljeno je, da stopnja karbidnih segregacij in velikost karbidov narašča linearno s premerom ingota<sup>11</sup>, iz česar sledi, da EPŽ-tehnologija omogoča izdelavo večjih ingotov pri znatno nižji

stopnji deformacije. Stroške za pretaljevanje jekel je mogoče pri optimalno izbrani tehnologiji v večini primerov kompenzirati s povečanjem izkoristka pri termo-mehanski predelavi.

## ZAKLJUČKI

Obsežni laboratorijski poskusi pretaljevanja visoko legiranih jekel po EPŽ-postopku so pokazali, da so osnovne značilnosti pretaljenih jekel:

1. znatno izboljšanje čistoče jekel, zlasti kisika in žvepla, ter v zvezi s tem v znižanju vsebnosti nekovinskih vključkov,

2. izboljšanje kemične in strukturne homogenosti.

Tehnologija izdelave EPŽ-ingotov v laboratorijskih pogojih se razlikuje od industrijskih pogojev v naslednjih značilnostih:

a. rafinacijski učinki žlindre so močno odvisni od temperature procesa, spremembe kemične sestave žlindre in dovedene moči v žlindrno kopel;

b. vpliv polnilnega faktorja —  $k = \left(\frac{d_E}{D_K}\right)^2$ , koli-

čine žlindre, intenzitete hlajenja in hitrosti taljenja na kvaliteto površine ingota je znatno močnejši kot pri velikih EPŽ-napravah;

3. izrednega pomena je optimalna izbira vrste in količine žlindre.

4. uporaba tekoče žlindre v začetni periodi znatno skrajša obdobje nestabilnosti procesa in prispeva k izboljšanju kvalitete površine v spodnjem delu ingota.

Analiza kemične sestave pretaljenih jekel je pokazala, da je kontrola visoko oksidativnih elementov odvisna od kemizma žlindre in pogojev taljenja. Na splošno veljajo naslednje ugotovitve:

1. vsebnost silicija se zniža v povprečju med 40—45 % pri jeklih z vsebnostjo Si  $\leq 0,4$  % in pri jeklih z vsebnostjo silicija nad to mejo manj kot 10 %;

2. vsebnost kisika se pri večini analiziranih jekel zniža od 14 do 60 %. Pri jeklih z zelo nizko vsebnostjo kisika v izhodnem jeklu (20—25 ppm) se opaža delno povečanje vsebnosti kisika;

3. stopnja odžveplanja jekla je odvisna od bazičnosti žlindre, ki kaže maksimalne vrednosti pri  $\% \text{CaO} / \% \text{SiO}_2 = 5-8$ . Povprečna stopnja odžveplanja pri analiziranih jeklih se giblje med 25—75 %, odvisno od vrste jekla, vsebnosti žvepla v izhodnem materialu in vrste uporabljene žlindre.

4. Sprememba vsebnosti ostalih elementov je pri analiziranih jeklih manjša od 10 %, izjemo predstavljata le Al in Ti, katerih sestava je odvisna od tehnoloških pogojev.

Makrostruktura EPŽ-ingotov je znatno boljše kot pri konvencionalno izdelanih ingotih pri enakem prečnem preseku. Ni opaziti nikakršnih napak tipa, centralne poroznosti, lunkerja, grobih makro vključkov in podobno.

Zaradi zelo ugodnih kristalizacijskih pogojev (kratek čas bivanja taline v dvofaznem območju), je kemična homogenost v mikroobmočju zelo visoka. Meddendritne razdalje (disperznost strukture) in z njimi povezani segregacijski pojavi se bistveno ne razlikujejo od analognih podatkov za konvencionalno izdelane ingote. Kljub temu opazamo, da je porazdelitev in velikost karbidov (npr. v brzoreznih in ledeburitnih jeklih) v predelanem stanju občutno boljša.

Nadaljne preiskave mehanskih lastnosti in eksploatacija EPŽ jekla v praktičnih pogojih bodo pokazali, kakšne so prednosti in ekonomski učinki EPŽ-jekla v primerjavi s konvencionalno izdelanim jeklom. To velja zlasti za visoko legirana jekla, izdelana na večjih EPŽ-napravah, pri katerih je v večini primerov mogoče povečanje cene EPŽ-jekla zaradi pretaljevalnih stroškov kompenzirati z izboljšanjem izkoristka, manjšimi predelevalnimi stroški in predvsem z boljšo kvaliteto jekla.

#### Literatura

1. Koroušič, B.: Vpliv elektropretaljevanja pod žlindro na kvaliteto jekla za kroglične ležaje (OCR-4 ex. sp.), Zelezarski zbornik 4 (1971) 193—198

2. Koroušič, B., A. Rodič: Informacija o vplivu kinetike nastajanja kapelj na velikost karbidov v brzoreznem jeklu BRM-2 (S6-5-2) pretaljenem po metodi EPŽ, Rudarsko metalurški zbornik 1 (1972) 73—79

3. Koroušič, B.: Metalurške reakcije pri pretaljevanju kvalitetnih jekel pod žlindro (EPŽ), Zelezarski zbornik 1 (1973) 23—29

4. Holzgruber, W., E. Plöckinger: Das Elektroschlacke-Umschmelzen ein neues Verfahren zur Verbesserung der Qualität von Edelmählen, Berg. u. Hüttenmanhefte 3 (1968) 83—93 (1458)

5. Klingelhöfer et al: Ein Beitrag zur Metallurgie des Elektro-Schlacke-Umschmelzen, Archiv Eisenhüttenwes 5 (1971) 299—306 (1459)

6. Holzgruber, W.: Dr.-Diss. Mont. Hochschule, Leoben 1967

7. Lataš, Ju., V.: Issledovanie metallurģičeskikh procesov pri elektrošlakovom pereplave stali, Avtomatič. svaraka 9 (1965) 25—29 (1850)

8. Holzgruber, W. et al: Einfluss der Umschmelzbedingungen auf die Makro- und Mikrostruktur elektroschlacke-umgeschmelzener Blöcke unter besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse beim Elektrodenwechsel, Neue Hütte 9, 10 (1971) 606—610 (2135)

9. Melberg, P. O., H. Sandberg: Solidification studied by ESR Remelting of High-speed steel, Scand. Journ. of Metall, 2 (1973) 83—86 (2405)

10. Wahlster, M.: Review of current application of ESR and its products, ISI/SMEA, 10—11 januar 1973

11. Kajioka, H. et al: Effects of various melting parameters on the qualities of elektro-slag remelting ingots, Proc. 4th international symposium on ESR, Tokyo 7—8 June (1973) 102—114

#### ZUSAMMENFASSUNG

Umfangreiche laboratorische Versuche des Umschmelzens hochlegierter Stähle nach dem ESU Verfahren zeigten folgende grundlegende Eigenheiten der umgeschmolzenen Stähle:

1. Erhebliche Verbesserung der Reinheit des Stahles, besonders Verminderung des Sauerstoffes und Schwefels und die damit verbundene Verminderung des Einschlussgehaltes.

2. Verbesserung der chemischen und Gefügehomo-genität.

Technologie der Erzeugung der ESU Blöcke in laboratorischen Bedingungen unterscheidet sich von den Betriebsbedingungen in folgenden Eigenheiten:

a. Raffinationseffekt der Schlacke ist stark von der Temperaturführung, von der Änderung der chemischen Zusammensetzung der Schlacke und von der zugeführten Energie in das Schlackenbad abhängig.

b. Einfluss des Füllungsfaktors —  $K = \left(\frac{d_g}{D_h}\right)^2$  der

Schlackenmenge, der Kühlintensität, der Schmelzgeschwindigkeit auf Oberflächenbeschaffenheit des Ingots ist bedeutend stärker als bei grossen ESU Anlagen.

3. Eine optimale Wahl der Schlackenqualität und Schlackenmenge ist von ausserordentlicher Bedeutung.

4. Die Anwendung flüssiger Schlacke in der Anfangsperiode verkürzt erheblich den Zeitabschnitt des nicht-stabilen Prozesses und trägt zu der Oberflächenqualitätsverbesserung im unteren Blockteil bei.

Analyse der chemischen Zusammensetzung der umgeschmolzenen Stähle zeigte, dass die Kontrolle der Hochsauerstoffaffinen Elemente von der Schlackenchemie und Schmelzbedingungen abhängig ist. Im allgemeinen gelten folgende Feststellungen:

1. Der Siliziumgehalt vermindert sich durchschnittlich von 40—45 % bei Stählen mit Si Gehalt unter 0,4 % und bei Stählen mit Si Gehalt über diese Grenze für weniger als 10 %.

2. Der Sauerstoffgehalt vermindert sich bei den meisten analysierten Stählen von 14 bis 60 %. Bei Stählen mit

sehr niedrigen Sauerstoffgehalt in der Elektrode (20 bis 25 ppm) wird ein leichter Sauerstoffanstieg beobachtet.

3. Der Entschwefelungsgrad des Stahles ist von der Schlackenbasizität abhängig. Maximale Werte werden bei  $\% \text{CaO} / \% \text{SiO}_2 = 5—8$  erreicht. Der durchschnittliche Entschwefelungsgrad bei den analysierten Stählen variiert zwischen 25—75 %, abhängig von der Stahlsorte, von dem Schwefelgehalt im Ausgangsstadium und der angewendeten Schlackenqualität.

4. Die Gehaltsänderung anderer Elemente ist bei analysierten Stählen kleiner als 10 %, eine Ausnahme bilden Al und Ti, dessen Zusammensetzung von den technologischen Bedingungen abhängig ist.

Das Makrogefüge der ESU Blöcke ist bedeutend besser als bei den konventionell erzeugten Blöcken beim gleichen Durchmesser. Es können keine Fehler beobachtet werden, wie innere Porosität, Lunker, grobe Makro-einschlüsse und ähnliches.

Wegen der günstigen Kristallisationsbedingungen, (kurzer Aufenthalt der Schmelze im Zweiphasenbereich) ist chemische Homogenität im Mikrobereich sehr hoch. Die Entfernungen zwischen den Dendriten und damit verbundenen Segregationserscheinungen unterscheiden sich nicht wesentlich von den analogen Daten für konventionell erzeugte Blöcke. Es kann trotzdem beobachtet werden, dass die Verteilung und Karbidgrösse, (in Schnelldreh- und ledeburitischen Stählen) im verarbeiteten Zustand bedeutend besser ist.

Die weitere Untersuchungen der mechanischen Eigenschaften und die Ausbeutung des ESU Verfahrens in praktischen Bedingungen werden zeigen, wie gross die Vorteile und ökonomische Effekte des ESU Stahles im Vergleich zum konventionell erzeugten Stahl sind. Das gilt besonders für hochlegierte Stähle, welche auf grösseren ESU Einheiten erzeugt werden, bei welchen in den meisten Fällen eine Erhöhung des Preises der ESU Stähle wegen der Umschmelzkosten, mit einem besseren Ausbringen, kleineren Verarbeitungskosten, und vor allem, mit einer besseren Qualität kompensiert werden kann.

## SUMMARY

Comprehensive laboratory experiments of remelting of high-alloyed steels by ESR process showed the following basic characteristics of the remelted steel:

1. considerably improved purity of steel, mainly in respect to oxygen and sulphur, and consequently the reduced quantity of non-metallic inclusions,

2. improved chemical and structural homogeneity.

Manufacturing technology of ESR ingots in laboratory scale differs from the industrial conditions in the following characteristics:

a. refining effects of slag are highly dependent on process temperature, change in chemical composition of slag, and power input into the slag melt,

b. influence of the parameter  $k = \left(\frac{d_E}{D_k}\right)^2$ , slag quantity,

cooling rate, and melting rate is considerably higher on the surface quality of the ingot than in an industrial ESR plant,

3. extremely important is the optimal choice of the type and the quantity of slag,

4. application of molten slag in the initial period considerably shortens the instability period of the process and contributes to the improved surface quality in the lower part of the ingot.

Analysis of chemical composition of the remelted steel showed that the control of high oxidative elements depends on the slag chemistry and the conditions of melting. The following findings are generally valid:

1. Silicon content is reduced in average for 40 to 45 % in steel with  $Si \leq 0.4\%$ , and for 10 % in steel with higher silicon.

2. Oxygen content was in the majority of analyzed steels reduced for 14 to 60 %. In steel with a very low

oxygen content in the initial state (20 to 25 ppm) a partial increase of the oxygen content was observed.

3. The degree of desulphurisation of steel depends on the slag basicity, and the optimal values were obtained when  $\% CaO/\% SiO_2$  was 5 to 8. The average degree of desulphurisation in the analyzed steels was 25 to 75 % depending on steel type, sulphur content in the initial state, and on the type of the applied slag.

4. Change in the content of other elements was in the analyzed steels lower than 10 %, the exceptions are only Al and Ti which content depends on the technological conditions of the process.

Macrostructure of ESR ingots is considerably better than in conventionally made ingots of the same cross section. No defects of any type, neither porosity in the centre, nor pipe, coarse inclusions, etc. were observed.

Due to very favourable crystallization (short retention time of the melt in the two-phase region) the chemical homogeneity in the micro-region is very good. Interdendrite distances (structure dispersity) and the connected segregation phenomena does not differ essentially from the analogous data for the conventionally manufactured ingots. But the distribution and the size of carbides was observed (e.g. high speed and ledeburite steels) to be considerably more favourable after the working.

Further investigations of mechanical properties and use of ESR steel for practical purposes shall show the advantages and economical effects of ESR steel comparing it with the conventionally manufactures steel. This is especially valid for high-alloyed steel manufactured in industrial ESR plants where often the higher costs of ESR steel due to remelting can be compensated by the improved yield, lower working costs, and mainly by the better steel quality.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обширные лабораторные опыты переплавки высоколегированных сталей способом ЭШП (электрошлаковый переплав) указали на свойства, которые можно считать как основными переплавленных сталей. Исследования указали на следующее:

1. значительное улучшение чистоты стали в особенности что касается кислорода и серы и, (в связи с этим уменьшение неметаллических включений);

2. улучшение химического состава и однородности структуры.

Надо упомянуть, что технология производства ЭШП-слитков в лабораторных условиях различается от условий в промышленности, и т. в следующем:

а) Эффективность рафинирования шлака очень зависит от температуры процесса, неустойчивости химического состава шлака и теплоты дewardной в ванну при плавки;

б. от влияния фактора навалки —  $k = \left(\frac{d_E}{D_k}\right)^2$  количества

шлака, интенсивности охлаждения и быстроты плавки на качество поверхности слитка гораздо сильнее чем это случай при больших установках ЭШП-способа;

3. большое значение имеет оптимальный выбор сорта и количества шлака;

4. Применение жидкого шлака в начальной этапе процесса значительно сокращает период неустойчивости процесса и способствует улучшению качества поверхности нижней части слитка.

Анализ химического состава переплавленных сталей показал, что контроль элементов высокой окислительности зависит от химизма шлака и от условий при плавки.

В общем можно считать с следующими констатациями:

1. При сталях с содержанием  $Si \leq 0.40\%$  содержание кремния уменьшается в среднем за 40—45 % а при сталях с выше 0.40 % Si, уменьшение кремния в шлаке не превышает 10 %;

2. Содержание кислорода в большинстве анализированных сталей уменьшено от 14 до 60 %. При сталях с начальным очень

низким кислородом установлено частично незначительное повышение O<sub>2</sub>;

3. Степень десульфурации стали зависит от основности шлака, максимальная предельная величина которого  $\% CaO : \% SiO_2 = 5 - 8$ . Степень десульфурации анализированных сталей была в среднем в пределах 25—75 % а зависела от содержания серы в основном материале и от сорта употребленного шлака;

4. Изменение содержания остальных элементов анализированных сталей не превышало 10 %; исключение представляли только элементы Al и Ti, содержание которых зависит от технологических условий производства.

В сравнении с нормальным производством, микроструктура ЭШП-слитков гораздо лучше, при одном и том же сечении. Не обнаружены никакие пороки как и, пр.: усадочные раковины, центральная пористость, грубые макро-включения и подобное.

Вследствие того, что расплавленный металл находится в двухфазной среде очень короткое время, т. е. в весьма благоприятных условиях для кристаллизации то химическая однородность в микро-зоне очень хорошая.

Расстояние между дендритами (структурная дисперсность) и, в связи с этим, появления сегрегации существенно не различается от аналогичных данных конвенционально произведенных слитков. Несмотря на это, установлено, что поразделение и величина карбидов (и, пр. в быстрорежущих и ледебуритных сталях) в обработанном состоянии существенно лучше.

В продолжении исследований механических качеств Э Ш П-сталей и её применении покажут какие преимущества и какой экономический эффект можно ожидать при эксплуатации этой стали в сравнении с сталями конвенционального производства. Это касается главным образом высококачественных сталей, произведенных в больших Э Ш П-установках при которых, в большинстве случаев, увеличение расходов вследствие переплавки компенсируется улучшением выхода, уменьшением расходов переработки и, в особенности, улучшением качества стали.

# Značilnosti porazdelitve svinca v 5 tonskih blokih svinčevih jekel

DK: 669.14.018.232; 669.4  
ASM/SLA: SGA-k; Pb

Anton Razinger

Preiskali smo porazdelitev svinca v blokih svinčevih jekel z namenom, da bi dokazali pravilnost osvojene tehnologije uvajanja svinca v jeklo ter dali svoj prispevek k študiju oblike in porazdelitve svinca v litem jeklu. Rezultati preiskav so pokazali, da znaša obseg poudarjenih izcej svinca skupaj s skorjo brez svinca v nogi blokov, 3,5 % celotnega volumna blokov svinčevih jekel. V »zdravem« volumnu blokov, ki obsega območje od 4 do 92 % višine blokov, pa je svinec relativno enakomerno porazdeljen. Vsebnost svinca se v vsem »zdravem« volumnu preiskanih blokov nahaja v zahtevanih analiznih mejah. Manjše neenakomernosti v tem delu blokov so predvsem posledica asociativnosti delcev svinca s sulfidnimi nemetalnimi vključki v jeklu. Dokazana je popolna identičnost vseh lokalnih blokovnih segregacij žvepla in svinca. Izolirani krogličasti vključki svinca, katerih velikost je v preiskanih jeklih ca. 5  $\mu$ m, so v vseh območjih bloka enakomerno porazdeljeni.

Rezultati opisanih preiskav so ponoven dokaz trditve, da se v blokih svinčevih jekel enakomerno porazdeli le tisti del svinca, ki se raztopi ter med ohlajanjem taline izloči iz raztopine.

## 1. Uvod

Porazdelitev delcev svinca v blokih svinčevih jekel je osnovni pokazatelj kvalitete svinčevega jekla, obenem pa najboljše merilo za uspešnost neke tehnologije izdelave svinčevih jekel. Da bi bil svinec v jeklu učinkovit, mora biti v jeklu porazdeljen v obliki drobnih in enakomerno porazdeljenih delcev. Takšna porazdelitev svinca se odraža v izboljšani obdelovalnosti in nespremenjenih fizikalnih lastnostih svinčevih jekel v primerjavi z osnovnimi jekli. Enakomerna porazdelitev svinca v blokih svinčevih jekel pa je odločilnega pomena tudi za ekonomiko proizvodnje svinčevih jekel, ki se kaže v dobiti jekla ter izkoristku dodanega svinca.

V železarni Jesenice smo osvojili tehnologijo izdelave jekel legiranih s svincom. Vse naprave, potrebne za legiranje svinca v jeklu, smo konstruirali in izdelali v lastnem raziskovalnem oddelku. Svinec legiramo v jeklo tako, da ga v obliki drob-

nih delcev vpihavamo v curek jekla med vlivanjem v kokile. Svinčeva jekla vlivamo komunicirajoče skozi lijak v normalno konične kvadratne bloke, preseka 650  $\times$  650 mm, višina blokov 2000 mm, teža blokov 5400 kg.

Izhajajoč iz predpostavke, da se bo v blokih svinčevih jekel enakomerno porazdelil le tisti svinec, ki se bo med ohlajevanjem taline izločil iz raztopine, smo v procesu osvajanja tehnologije izdelave svinčevih jekel skušali v vseh fazah zadostiti vsem pogojem za čim večjo topnost svinca v jeklu. Posebno pozornost smo posvetili optimalni granulaciji svinca za vpihovanje, temperaturnemu režimu vlivanja jekla, enakomernosti uvajanja svinca med vlivanjem jekla, pričetku uvajanja svinca v jeklo, predvsem pa doziranju pravih količin svinca, ki izhajajo iz teoretično izračunane topnosti svinca v posameznih vrstah jekla (1).

## 2. Jeklo za preiskave

### 2.1 Vrste jekel in pogoji izdelave

Za študij porazdelitve svinca v blokih svinčevih jekel smo izbrali naslednje vrste jekel:

- polpomirjeno avtomatno jeklo ATJ 100 Pb
- ogljikovo nelegirano jeklo za cementacijo Č 1120 Pb
- ogljikovo nelegirano jeklo zaboljšanje Č 1531 Pb
- nizkolegirano jeklo za cementacijo Č 4320 Pb

Vsa jekla so bila izdelana v 60-tonski ASEA elektroobložni peči. Pred vlivanjem so bile vse taline v ponovci prepihane z argonom. Na vsaki livni plošči so bili vlti po trije ingoti. Svinec je bil dodan le na prvi plošči, na drugi plošči pa je bilo vlito primerjalno jeklo brez dodatka svinca. Pogoji vlivanja in legiranja svinca v jeklo so podani v tabeli 1.

Tabela 1:

Vrsta jekla	temp. °C + K	hitrost (cm/min.)	kol. Pb (kg/t)	čas uvajanja Pb (min.)
ATJ 100 Pb	1470	25	4	5
Č 1120 Pb	1480	25	3	5.5
Č 1531 Pb	1460	24	3	6.5
Č 4320 Pb	1475	26	3	4

Anton Razinger je diplomirani inženir in magister metalurgije in višji strokovni sodelavec v raziskovalnem oddelku Železarne Jesenice.



Kemične analize šarž so podane v tabeli 2:

Tabela 2:

vrsta jekla	vsebnost elementov (%)							
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Al
ATJ 100 Pb	0.10	0.03	0.94	0.060	0.322	0.19	0.27	0.002
C 1120 Pb	0.08	0.18	0.40	0.023	0.022	0.20	0.09	0.024
C 1531 Pb	0.50	0.29	0.67	0.016	0.012	0.26	0.17	0.021
C 4320 Pb	0.18	0.25	1.22	0.028	0.015	0.26	0.96	0.046

## 2.2 Mesta jemanja vzorcev za preiskave

Da bi dobili ustrezne vzorce za preiskavo porazdelitve svinca v blokih svinčevih jekel, smo po en blok od vsake šarže razrezali vertikalno po sredini v plošče debeline 50 mm. Na ustrezno pripravljenih površinah smo najprej z makrojedkanjem s 15 % raztopino amonpersulfata odkrili cone kristalizacije po celotnem preseku blokov. Na celotnem preseku smo izdelali tudi Wraggejev in Baumanov odtis makroskopske porazdelitve svinca, oziroma žvepla, s čimer smo odkrili območja lokalnih blokovnih segregacij žvepla in svinca.

Na osnovi tako dobljene slike o položaju posameznih kristalizacijskih con ter lokalnih blokovnih segregacij žvepla in svinca po celotnem preseku blokov smo izbrali mesta jemanja vzorcev tako, da smo za študij porazdelitve svinca v blokih svinčevih jekel zajeli vsa pomembna območja.

## 3. Raziskovalne metode

Kratek opis raziskovalnih metod, s pomočjo katerih smo preiskali porazdelitev svinca v svinčenih jeklih, je naslednji:

### 3.1 Wraggejev odtis svinca.

Wraggejev odtis svinca izdelamo tako, da na fino zbrušeno površino preizkušanca z rahlim pritiskom položimo fotografski papir, ki mora biti predhodno ustrezno pripravljen. Ob dotiku obeh površin pride do reakcije med svincom na površini preizkušanca ter NaOH in Na<sub>2</sub>S. Prisotnost svinca se na fotografskem papirju pokaže v obliki temno rjavih madežev. Funkcija Wraggejevega odtisa za preiskavo makro porazdelitve svinca je torej podobna funkciji Baumanovega odtisa za preiskavo makroporazdelitve žvepla v jeklu. Na osnovi zelo skopih podatkov iz literature smo na raziskovalnem oddelku Železarne Jesenice izpopolnili tehniko izdelave Wraggejevega odtisa do take mere, da v zelo kratkem času lahko

izdelamo kvaliteten odtis, ki razločno pokaže prisotnost ali pa zelo majhne spremembe v koncentraciji svinca na preseku preizkušancev.

### 3.2 Kemična analiza:

V kemičnem laboratoriju železarne Jesenice smo za določevanje svinca v svinčevih jeklih uporabili polarografsko metodo (2), ki je primerna za kemično analizo vsebnosti svinca v avtomatnih ter nelegiranih in nizkolegiranih jeklih za cementacijo in poboljšanje, v katerih je vsebnost Mn do 1.5 %, Cr do 1 % in Cu do 0.5 %. Izkazalo se je, da je polarografska metoda enostavna, poceni in dobro ponovljiva. Ugotovljena napaka pri tej metodi je ± 5 % t. j. ca. 0.01 % Pb.

### 3.3 Elektronska mikroanaliza:

Zanesljivo lahko identificiramo prisotnost svinca v mikrostrukturi jekel že s pomočjo odbitih elektronov, t. j. z elektronsko sliko. V tem primeru so delci svinca bele barve, ker je atomska masa svinca mnogo večja od povprečne atomske mase jekla, ki je na sliki temnejše. Elektronska mikro analiza je predvsem primerna za študij oblike in porazdelitve svinca, ki se nahaja v asociaciji z nemetalnimi vključki, ki so prisotni v blokih svinčevih jekel. Preiskave smo izvršili na metalurškem inštitutu v Ljubljani.

### 3.4 Selektivna mikroradiografija:

To raziskovalno metodo smo uporabili za študij porazdelitve in oceno velikosti vključkov svinca. Uporabljeno je bilo karakteristično sevanje CoK $\alpha$ , napetost 30 kW, osvetlitev 90 min, fotografska emulzija Kodak H. R. Debelina lamel je bila 50 do 100  $\mu$ m. Velike razlike masnih absorpcijskih koeficientov Pb (354) in Fe (59.5) omogočajo jasno identifikacijo vključkov svinca v mikrostrukturi svinčevih jekel.

Preiskave smo izvršili v laboratorijih FNT Univerze v Ljubljani, odsek za metalurgijo (3).

## 4. Rezultati preiskav

### 4.1 Splošne ugotovitve na osnovi odtisov svinca:

Makroskopske slike porazdelitve svinca po celotnem preseku blokov, ki nam jih odkrije Wraggejev odtis, kažejo naslednja značilna območja porazdelitve svinca po preseku blokov, ki jih nahajamo v vseh preiskanih blokih.

a. Skorja brez svinca, ki leži ob bazni ravnini in ob vertikalnih stranicah blokov.

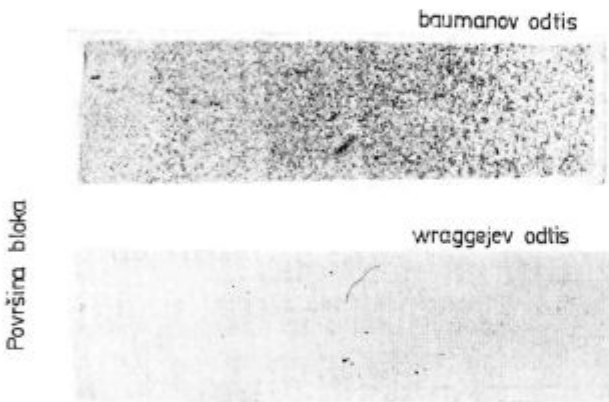
b. Območje poudarjenih izcej svinca, ki je omejeno v ozkem kolobarju v nogi blokov.

c. Območje zunaj poudarjenih izcej svinca in skorje brez svinca, kjer je svinec enakomerno porazdeljen.

Mesto in obseg ugotovljenih območij lahko pojasnimo na osnovi rezultatov preiskav porazdelitve žvepla z baumanovimi odtisi ter območij posameznih con strjevanja.

#### 4.2 Skorja brez svinca:

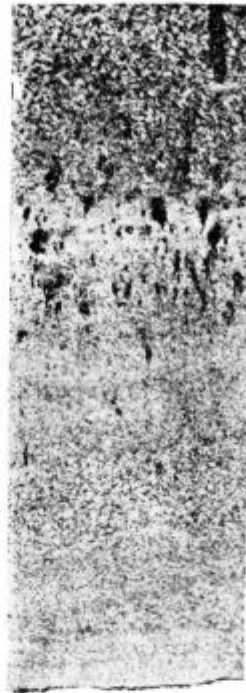
Območje, kjer ni svinca, leži med površino bloka ter zunanjo črto strjevanja. Z višino bloka se globina tega območja manjša in popolnoma izgine približno na polovici višine bloka. Ugotovili smo, da skorja brez svinca postopoma prehaja v območje z normalno vsebnostjo svinca tako v globino kakor v višino bloka. Edina možna razlaga obstoja skorje brez svinca je ta, da se skorja bloka strdi prej, preden dodani svinec pride do površine kokile (sl. 1).



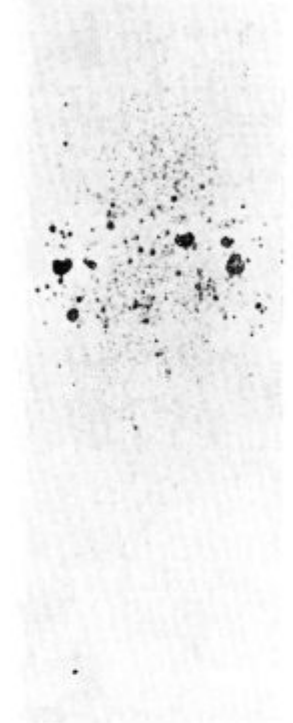
Slika 1

Crte strjevanja ter skorja brez svinca

baumanov odtis



wraggejev odtis



#### Bazna ravnina

Slika 2

Položaj in oblika poudarjenih izcej svinca v nogi bloka svinčevega jekla ATJ 100 Pb

tudi, da skepljanje eksogenih nemetalnih vključkov s kapljicami neraztopljenega svinca povzroča delno čiščenje jekla od velikih eksogenih vključkov (sl. 3).

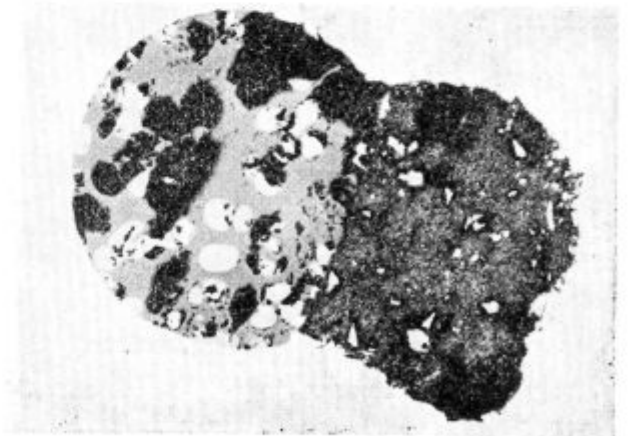
4.4 Makroskopska porazdelitev svinca zunaj območja skorje brez svinca in poudarjenih izcej svinca.

4.3 Območje poudarjenih izcej svinca v nogi blokov

Območje poudarjenih izcej svinca v nogi blokov se razteza v kolobarju okoli vstopne odprtine vzporedno z bazno ravnino bloka. Največja koncentracija svinca sovпада z notranjo črto strjevanja (sl. 2).

Skorja brez svinca omejuje območje poudarjenih izcej svinca navzdol in ob straneh. Debelina kolobarja znaša ca. 30 mm, oddaljenost zgornje ploskve kolobarja od bazne ravnine bloka pa 55 do 60 mm. V blokkih OK 650 (preseki 650 × 650 mm) znaša torej delež jekla s poudarjenimi izcejami svinca v nogi blokov ca. 3,5 %, tak pa je tudi potreben odpadek pri nogi blokov.

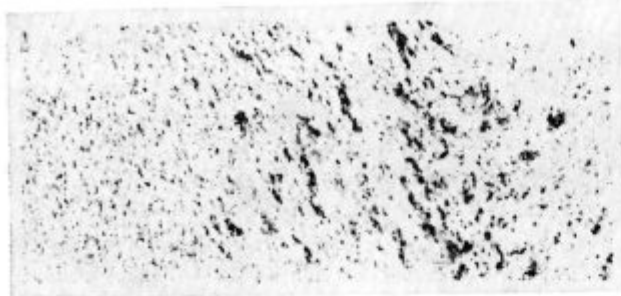
Na osnovi rezultatov makroskopskih in mikroskopskih preiskav v območju poudarjenih izcej svinca v nogi blokov svinčevih jekel lahko trdimo, da so te izceje posledica posedanja grobih kapljic svinca, ki se niso raztopile v jeklu. Pokazalo se je



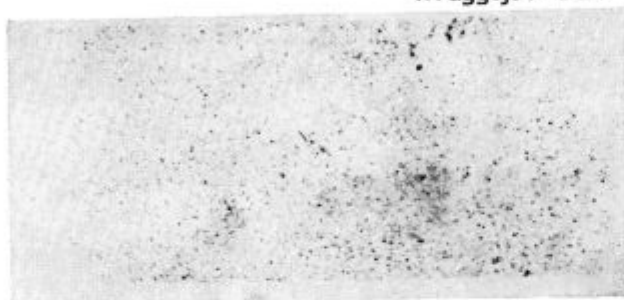
Slika 3

Značilna oblika makrovključka v območju poudarjenih izcej svinca v nogi bloka (jeklo ATJ 100 Pb — pov. 200 ×)

baumanov odtis



wraggejev odtis

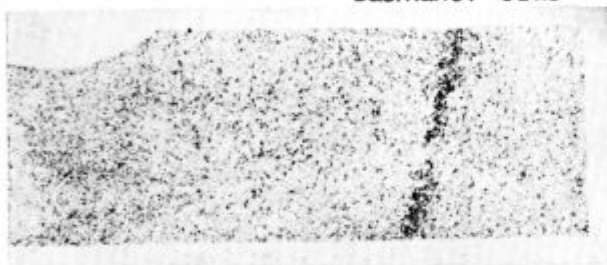


Slika 4

Makroskopska porazdelitev svinca in žvepla v območju lokalnih blokovnih segregacij jekla Č 4320 Pb (detajl V izceje)

V območju, ki leži zunaj opisanih območij poudarjenih izcej svinca v nogi blokov ter skorje brez svinca nam makroodtisi kažejo popolno skladnost položaja lokalnih segregacij žvepla in svinca (sl. 4) (sl. 5).

baumanov odtis



wraggejev odtis



Slika 5

Makroskopska porazdelitev svinca in žvepla v območju lokalnih blokovnih segregacij jekla ATJ 100 Pb (detajl A izceje)

V območju, kjer ni lokalnih segregacij žvepla, je svinec v makroskopskem merilu enakomerno porazdeljen (sl. 6).

Rezultati makroskopskih preiskav porazdelitve svinca po preseku blokov kažejo dokaj ostro mejo med segregiranimi in nesegregiranimi območji. Intenziteta lokalnih blokovnih segregacij je pri žveplu znatno večja kakor pri svinču.



Slika 6

Makroskopska porazdelitev svinca in žvepla v območju noge bloka jekla Č 1530 Pb (detajl)

#### 4.5 Kemična porazdelitev svinca

Pri vlivanju jekla skozi lijak je mešanje kovine in svinca v livnih kanalih in v kokili dovolj intenzivno, da ob ugodni zrnatosti svinca dosežemo maksimalno topnost. Zaradi kroženja jekla v kokili med vlivanjem se temperatura taline v kokili ves čas izenačuje, s tem pa tudi koncentracija raztopljenega svinca. Ko je vlivanje končano, se talina v kokili ne umiri, temveč še nadalje kroži. V blokih, kjer je višina taline visoka, se to kroženje taline zaradi konvekcijskih tokov dopolnjuje še z gravitacijskim padanjem prostih kristalov in akumulacijo le-teh v spodnjem delu bloka, to je v sedimentacijski coni.

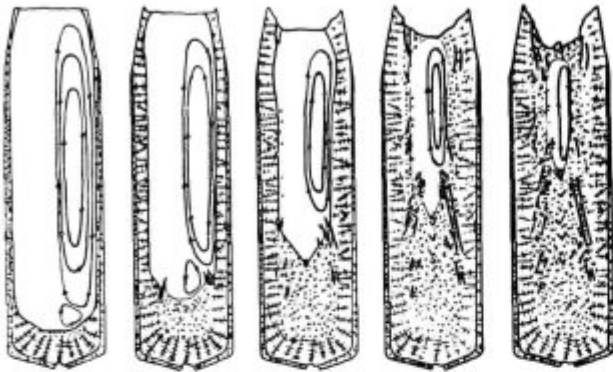
Ker topnost svinca v tekočem jeklu zelo hitro pada, se večina raztopljenega svinca izloči v obliki tekočih vključkov že v začetni fazi kristalizacije jekla. Vključki svinca naj bi bili zato, podobno kakor ostali nemetalni vključki, ki so v tem trenutku že izločeni iz taline, podvrženi gravitacijskim in konvekcijskim tokovom v strujočem se bloku. Opisana spoznanja so nam služila kot teoretična podlaga za študij porazdelitve svinca v blokih svinčevih jekel.

Celotno področje presečne ploskve blokov smo razdelili v naslednja območja:

- a) območja, kamor ne prodre konvekcijski tokovi, t. j.:
  - stroga glava blokov
  - noga blokov (sedimentacijska cona)
  - skorja bloka (območje globulitnih kristalov);
- b) območje, v katerem je konvekcijski tok obrnjen navzdol; to območje obsega predvsem cono orientiranih transkristalov;
- c) prehodno območje, kjer se konvekcijski tok obrne; to območje naj bi označevale A izceje;

d) območje, v katerem je konvekcijski tok usmerjen navzgor; to je območje sredine bloka in ga karakterizirajo V izceje.

Na sliki 7 je shematično prikazana smer gibanja konvekcijskih tokov ter nastanek kristalizacijskih con in lokalnih blokovnih koncentracij med strjevanjem bloka (4).



Slika 7

Shematičen prikaz gibanja konvekcijskih tokov in poteka strjevanja bloka

Za vrednotenje rezultatov kemične analize smo uporabili naslednje metode iz statistične matematike:

- analiza porazdelitve
- analizo variance
- regresijsko analizo (multiplo in kvadratno)

Tabela 3: Kemična porazdelitev svineca v blokih svinčevih jekel

Opazovano območje	ATJ 100 Pb				Č 1531 Pb				Č 1120 Pb				Č 4320 Pb			
	n	$\bar{X}_{Pb}$ %	$S_{Pb}$ %	$P_{Pb}$ %	n	$\bar{X}$ %	s %	P %	n	$\bar{X}$ %	s %	P %	n	$\bar{X}$ %	s %	P %
glava	22	0.25	0.06	77	20	0.218	0.026	20	20	0.172	0.025	21	21	0.175	0.052	45
orient. dendr.	18	0.19	0.02	63	26	0.209	0.017	—	26	0.198	0.028	10	22	0.156	0.015	10
A izceje	22	0.18	0.02	56	36	0.207	0.009	—	36	0.172	0.010	-22	36	0.151	0.009	15
sredina	29	0.22	0.07	94	30	0.212	0.027	42	29	0.178	0.020	10	30	0.161	0.051	61
noga	37	0.186	0.022	-49	33	0.213	0.021	-28	36	0.183	0.021	24	33	0.146	0.025	-23

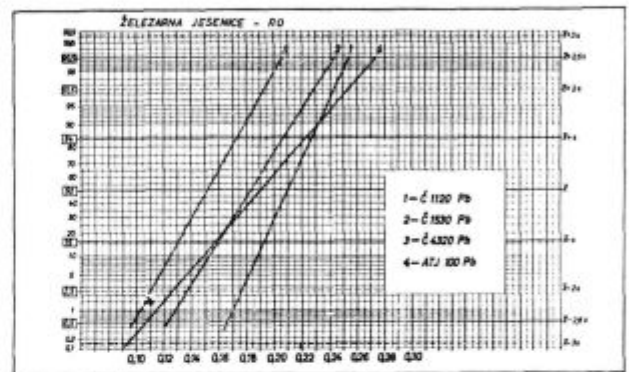
Tabela 4: Kemična porazdelitev žvepla v blokih svinčevih jekel

Vrsta jekla	ATJ 100 Pb				Č 1120 Pb				Č 1531 Pb				Č 4320 Pb			
	n	$\bar{X}_{Pb}$ %	$S_{Pb}$ %	$P_{Pb}$ %	n	$\bar{X}$ %	S %	P %	n	$\bar{X}$ %	S %	P %	n	$\bar{X}$ %	S %	P %
glava	22	0.437	0.143	74	20	0.024	0.007	8	20	0.010	0.003	9	21	0.016	0.005	57
orient. dendr.	18	0.343	0.013	—	26	0.027	0.003	—	26	0.009	0.001	25	22	0.013	0.001	—
A izceje	22	0.323	0.037	41	36	0.023	0.002	—	36	0.009	0.001	—	36	0.014	0.001	17
sredina	29	0.393	0.128	90	30	0.024	0.007	15	29	0.010	0.002	—	30	0.014	0.005	63
noga	37	0.316	0.024	25	33	0.020	0.003	—	36	0.009	0.001	13	33	0.013	0.001	-74

S pomočjo regresijske analize smo želeli ugotoviti trend izcejanja preiskanih elementov v posameznih območjih ter dobiti korelacijo med izcejami svineca in izcejami ostalih elementov. V tabelah so navedeni tudi procenti pojasnjenih vplivov (% P) za dobljene regresijske odvisnosti.

Za posamezne preiskane vrste jekel so statistično obdelani rezultati preiskav zbrani v tabeli 3 in tabeli 4.

V »zdravem« delu bloka, ki obsega ca. 88 % vsega volumna blokov (od 4 do 92 % višine bloka), se vsebnost svineca nahaja v zahtevanih analizijskih mejah, kar je razvidno iz diagrama na sliki 8.



Slika 8

Porazdelitev svineca in žvepla v »zdravem« delu blokov svinčevih jekel

S statistično analizo smo dokazali, da obstajajo med posameznimi preiskanimi območji statistično pomembne razlike. Te razlike so posebej izrazite pri avtomatnem svinčevem jeklu ATJ 100 Pb, kjer so izceje žvepla najbolj poudarjene.

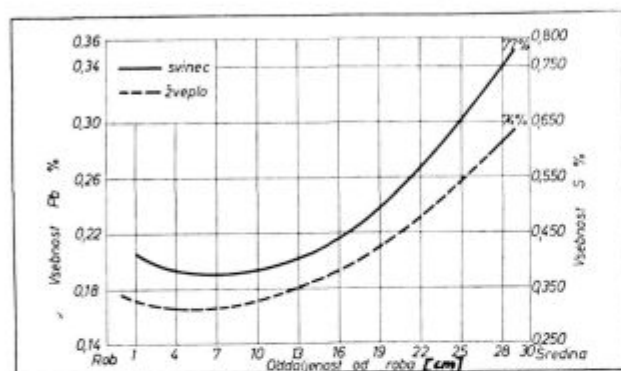
Pri tem jeklu imamo znotraj obravnavanih območij naslednjo sliko porazdelitve žvepla in svinca.

a) Glava bloka (sl. 9).

Korelacijski koeficient med vsebnostjo žvepla in svinca v območju glave je visok in znaša 0.98.

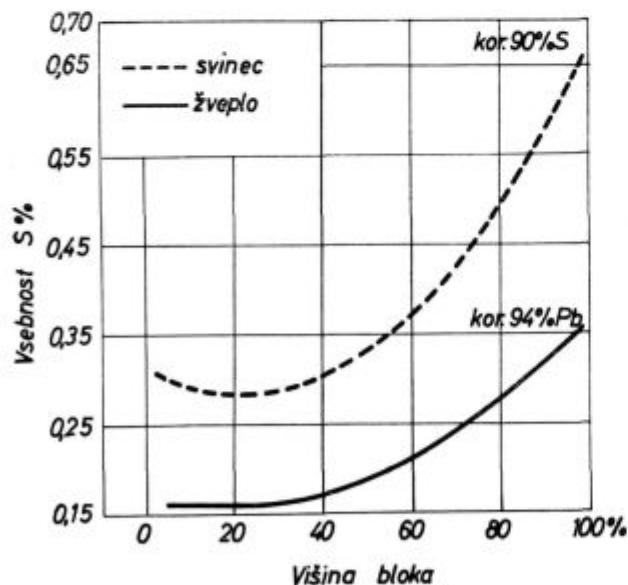
b) Sredina bloka (sl. 10).

Ugotovljeni koeficient korelacije med vsebnostjo S in Pb je 0.97. Izcejanje se prične na višini ca. 30 %, kar se ujema s pojavom V-izcej. Mi-



Slika 9

Porazdelitev svinca in žvepla v glavi bloka jekla ATJ 100 Pb



Slika 10

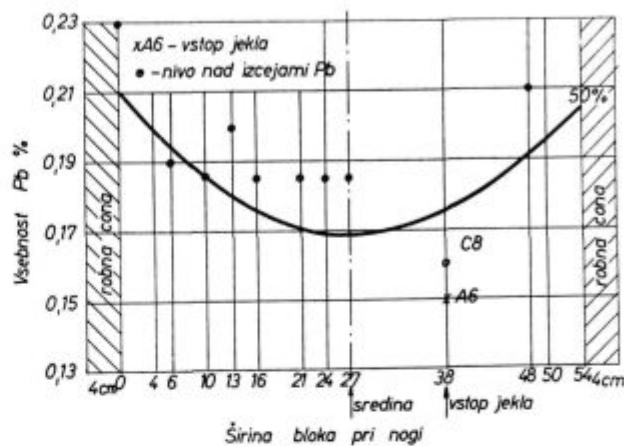
Porazdelitev svinca in žvepla v sredini bloka

nimum parabole na višini bloka ca. 20 % lahko pojasnimo z inverznimi izcejami žvepla in svinca v nogi bloka (sedimentacijska cona).

c) Noga bloka — sedimentacijska cona (sl. 11).

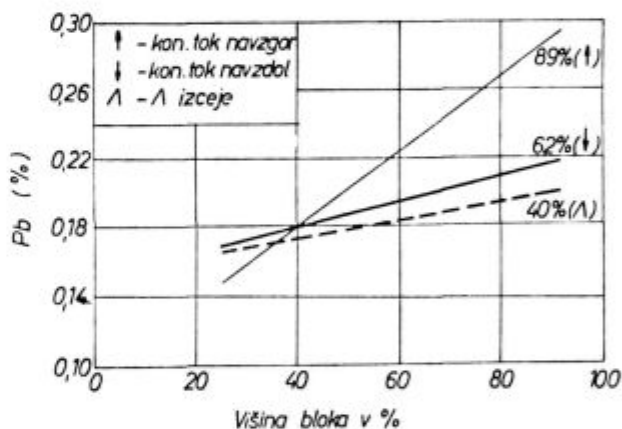
V nogi bloka je dokazano inverzno izcejanje svinca in žvepla. Kljub izcejanju je porazdelitev svinca in žvepla v tej coni zelo enakomerna. Raztros je pri svinču in žveplu enak.

d) Območje orientiranih transkristalov in  $\Lambda$ -izcej (sl. 12).



Slika 11

Porazdelitev svinca in žvepla v sedimentacijski coni



Slika 12

Porazdelitev žvepla in svinca v območju orientiranih transkristalov in  $\Lambda$ -izcej

Porazdelitev svinca in žvepla je v območju orientiranih transkristalov enakomerna, kljub temu pa tudi v tem območju opazimo normalno izcejanje svinca in žvepla.

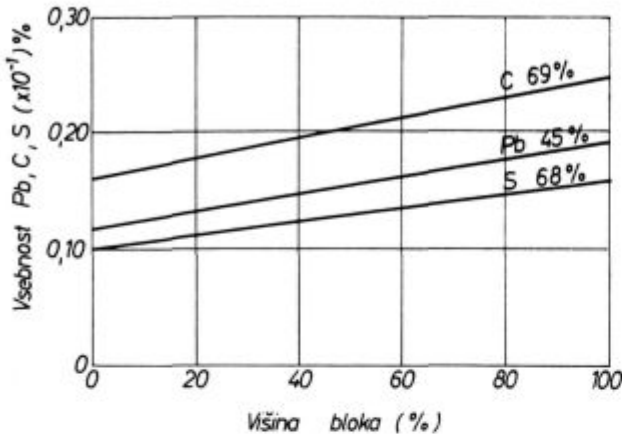
Značilno za opazovana območja je tudi to, da se v območju  $\Lambda$ -izcej porazdelitev žvepla poslabša, porazdelitev svinca pa kaže enake značilnosti kakor v območju orientiranih transkristalov.

V ostalih preiskanih blokih svinčevih jekel, ki vsebujejo normalno nizko vsebnost žvepla opazimo enake zakonitosti, le da so manj poudarjene kakor pri jeklu ATJ 100 Pb. (sl. 13).

## 5. Analiza rezultatov preiskav

Rezultati preiskav porazdelitve svinca v blokih svinčevih jekel kažejo na to, da je svinec razen

v območju specifičnih izcej, v nogi blokov in skorje brez svinca enakomerno porazdeljen v tistih območjih bloka, kjer so tudi drugi elementi enakomerno porazdeljeni. V območjih lokalnih blokovnih segregacij ostalih elementov, predvsem žvepla, pa je tudi porazdelitev svinca neenakomerna.

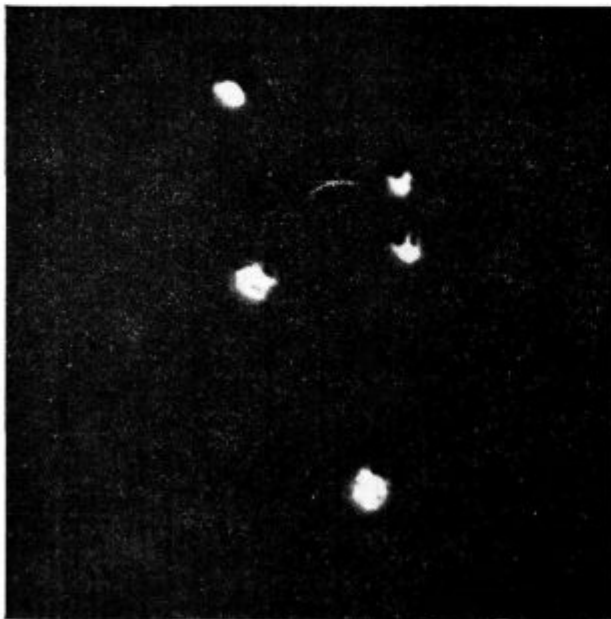


Slika 13

Izcejanje svinca, žvepla in ogljika v sredini bloka jekla Č 4320 Pb

Neenakomernost porazdelitve svinca se popolnoma sklada z vsemi oblikami lokalnih segregacij prisotnih elementov v jeklu. Trdimo lahko, da svinec, če se izloči iz raztopine v obliki drobnih izoliranih vključkov, nima tendence izcejanja v blokovne segregacije (sl. 14).

Svinec izceja le v primeru, če se nahaja v asociaciji z nemetalnimi vključki v jeklu (sl. 15), (sl. 16).



Slika 14

Izolirani krogljčasti vključki svinca v bloku svinčevega jekla Č 1120 Pb (elektronska slika — svinec bel, pov. 420 ×)

Na ta način si lahko razložimo tudi večji raztros vsebnosti svinca v svinčevem avtomatnem jeklu, kjer se delci svinca nahajajo pretežno v asociaciji z nemetalnimi vključki oksisulfidnega tipa, in pa zelo enakomerno porazdelitev vključkov svinca v blokih svinčevih konstrukcijskih jekel, ki so v pogledu vsebnosti nemetalnih vključkov relativno čista.

Poglejmo še, kako si lahko ugotovljeno porazdelitev svinca v makrostrukturi blokov svinčevih jekel razložimo z upoštevanjem konvekcijskih tokov, asociativnosti vključkov, svinca z ostalimi nemetalnimi vključki, ki so prisotni v jeklih ter Stoksovem zakonom. Kakor vsi nemetalni vključki v jeklu so tudi vključki svinca podvrženi delovanju Stoksovega zakona v jekleni talini.

Stoksov zakon glasi

$$u = \frac{2g \cdot r^2 (\rho_{Pb} - \rho_{je})}{\eta_{je}} \quad (1)$$

V literaturi (5) najdemo naslednje vrednosti za jekla in svinec pri temperaturi 1600° C.

$\rho_{Pb}$  — gostota svinca 9 g/cm<sup>3</sup> (interpolirana vrednost)

$\rho_{je}$  — gostota jekla 7 g/cm<sup>3</sup>

$\eta_{je}$  — viskoznost jekla 6,2 cp

$r$  — polmer krogljčastih vključkov svinca (mm)

Če te vrednosti vstavimo v izraz (1), dobimo naslednjo hitrost padanja izoliranih kapljic svinca v jekleni talini s temp. 1600° C:

$$u_1 = 72 r^2 \text{ (cm/sec)} \quad (2)$$

Velikost izoliranih vključkov svinca smo določili na osnovi velikega števila meritev izoliranih vključkov svinca, ki smo jih identificirali s pomočjo mikroradiografske tehnike.

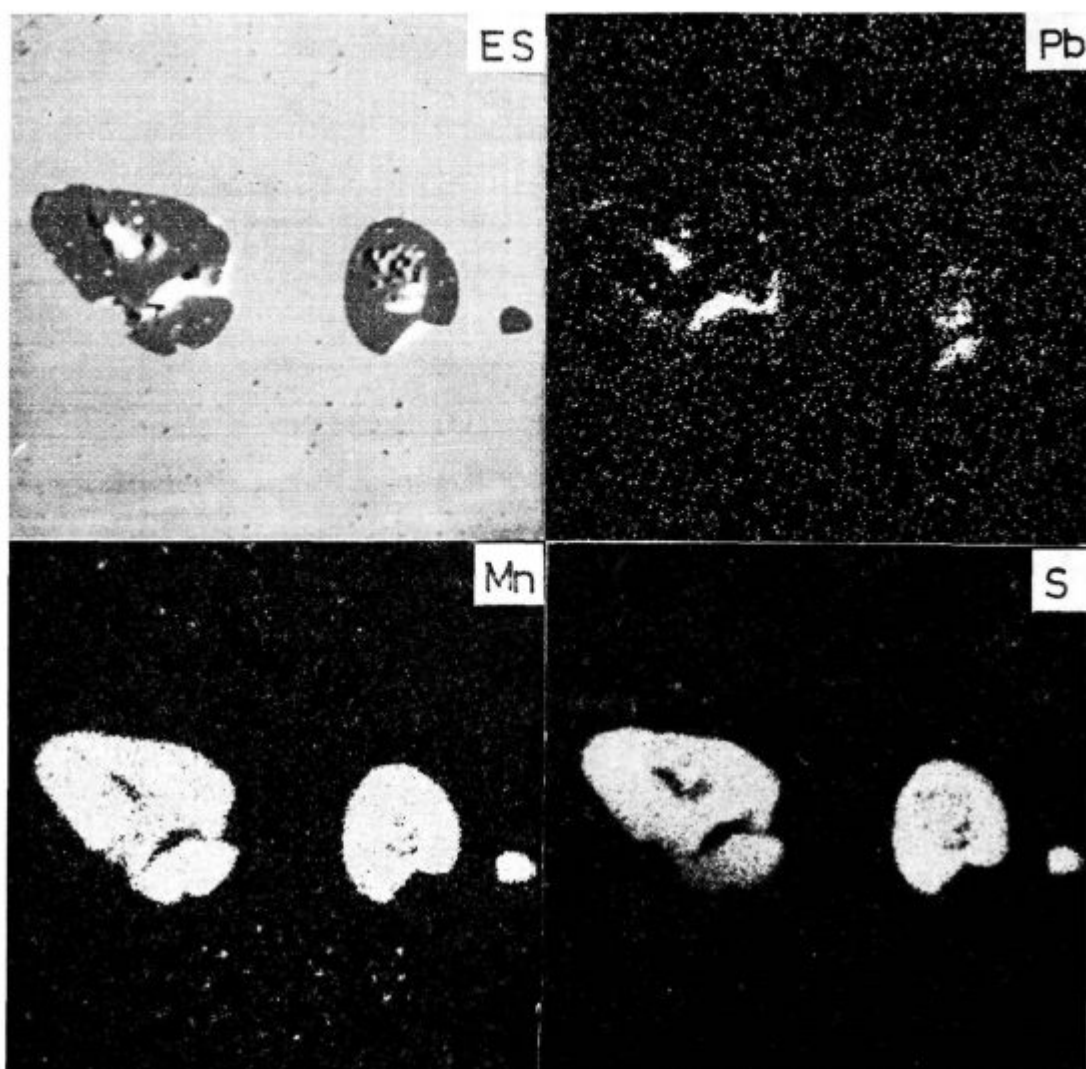
Povprečno velikost izoliranih vključkov svinca smo izmerili 5 μm (sl. 17). Hitrost padanja takih vključkov po enačbi (2) znaša 1,6 cm/uro oz. 0,3 mm/min.

Padanje izoliranih vključkov svinca podpirajo konvekcijski tokovi, ki so v območju usmerjenih transkristalov usmerjeni navzdol. Globino te cone lahko izračunamo, če upoštevamo, da sega cona usmerjenih dendritov približno do globine 100 mm (ena tretjina razdalje med površino in sredino bloka).

Če izračunamo čas strjevanja bloka po enačbi (6),

$$\begin{aligned} \text{Debelina strjene plasti (m)} &= \\ &= 25 \sqrt{\text{čas strjevanja (min)}} \end{aligned} \quad (3)$$

dobimo za strjevanje v območju, kjer je konvekcijski tok usmerjen navzdol, čas 16 min. V tem času bi izolirani vključki svinca padli za največ ca. 5 mm, kar pa se lahko zanemari. Sredina bloka je, če računamo po istem izrazu (3), strjena v ca. 20 min. V tem času bi vključki padli za ca. 6 cm.



Slika 15

Delci svinca v asociaciji s sulfidnimi nemetalnimi vključki v jeklu ATJ 100 Pb (elektronska slika in spk. X posnetki Pb, Mn, S — pov. 420 ×)

Konvekcijski tokovi pa delujejo v sredini bloka navzgor proti smeri padanja vključkov. Tendenco padanja izoliranih vključkov svinca zmanjšujejo tudi številnejši asociirani sulfidni nemetalni vključki.

V svinčevih avtomatnih jeklih je skoraj ves svinec v asociaciji s sulfidnimi nemetalnimi vključki. Če predpostavimo, da je utežno razmerje S : Pb v jeklu ohranjeno tudi v asociiranih nemetalnih vključkih, potem lahko za svinčevo jeklo z vsebnostjo 0,20 % Pb in 0,300 % S izračunamo gostoto asociiranih vključkov, ki znaša ca. 4,4 g/cm<sup>3</sup>. V vsakem slučaju dobimo torej po enačbi (1) tendenco dviganja, ki znaša

$$U_z = -100 r^2 \text{ (cm/sec)} \quad (4)$$

r je polmer krogičastih asociiranih vključkov MnS in Pb.

V asociaciji s sulfidnimi nemetalnimi vključki se torej svinec dviga, s čimer lahko pojasnimo na-

raščanje vsebnosti svinca v od noge proti glavi v vseh preiskanih blokkih jekla. Tudi rahlo tendenco naraščanja vsebnosti svinca v drugih opazovanih območjih blokov lahko pojasnimo z vplivom asociiranih vključkov žvepla in svinca.

Na osnovi izračunanih vrednosti lahko tudi predpostavljamo, da asociirani delci svinca podpirajo odmešavanje večjih aluminatnih vključkov (sl. 16) v sedimentacijsko cono blokov. Ker pa je sedimentacijska cona v pogledu izcejanja najbolj enakomerna, se to odraža tudi v najenakomernjši porazdelitvi svinca glede na ostala opazovana območja v blokkih svinčevih jekel.

Popolnoma drugačno sliko pa dobimo, če izračunamo hitrost padanja makrovključkov, ki so v območju poudarjenih izcej v nogi blokov svinčevih jekel. Za vključke premera 1 mm je hitrost padanja po enačbi (1) 18 cm/sek. Dejanska hitrost je verjetno zaradi asociiranih nemetalnih komponent manjša, vendar pa je treba upoštevati,

da padanje podpirajo turbolentni tokovi med vli-vanjem, tako da je odmešavanje makrovključkov svinca v območje poudarjenih izcej hitro in zato popolno. To dokazuje tudi sorazmerno ostra meja med območjem poudarjenih izcej in ostalo sedi-mentacijsko cono v nogi blokov.

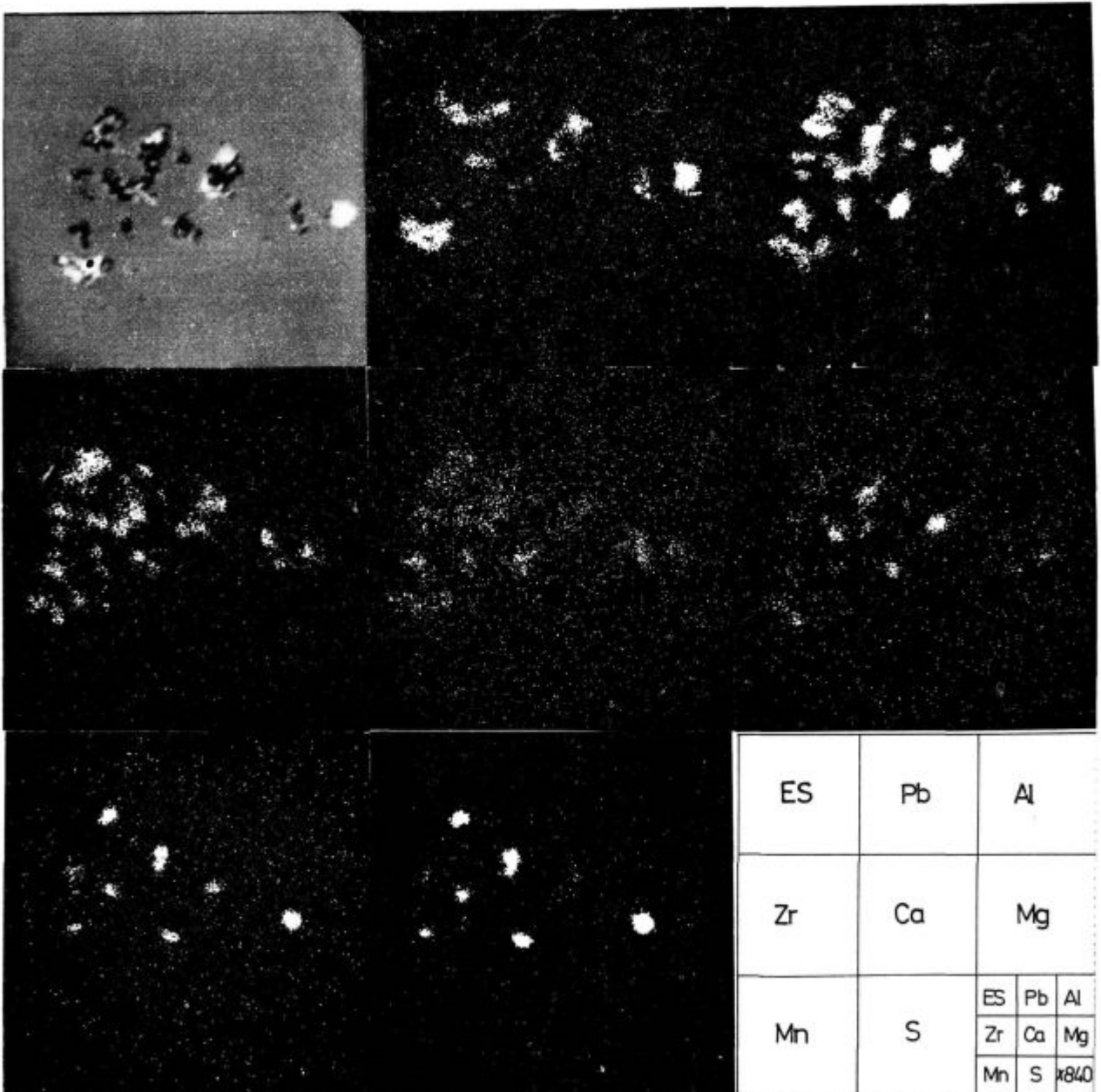
Pasivno vlogo svinca v jeklu potrjujejo tudi rezultati preiskave o vplivu prisotnosti svinca na kemično porazdelitev ostalih elementov v jeklu:

Vzorci za preiskavo smo vzeli iz blumov svinčevih in osnovnih jekel, in to na 7 %, 38 %, 65 % in 92 % višine bloka, na robu, na polovici in na sredini preseka blumov.

Vpliv prisotnosti svinca smo ocenili s pomočjo linearne regresije opazovanih parov, pri čemer smo imeli vsebnost elementa v svinčevem jeklu za odvisno spremenljivko ( $\bar{X}_1$ ), vsebnost elementa v osnovnem jeklu pa za neodvisno spremenljivko ( $\bar{X}_2$ ). Pri elementih, ki so prisotni v vseh preiskanih kvalitetah, smo združili vse pare.

Kot merilo za vpliv prisotnosti svinca smo vzeli vrednost regresijskega koeficienta, T vrednost, ki pripada regresijskemu koeficientu, koeficient korelacije ter standardno napako ocene.

Na osnovi dobljenih rezultatov statistične ana-lize lahko z 90 % statistično gotovostjo trdimo,



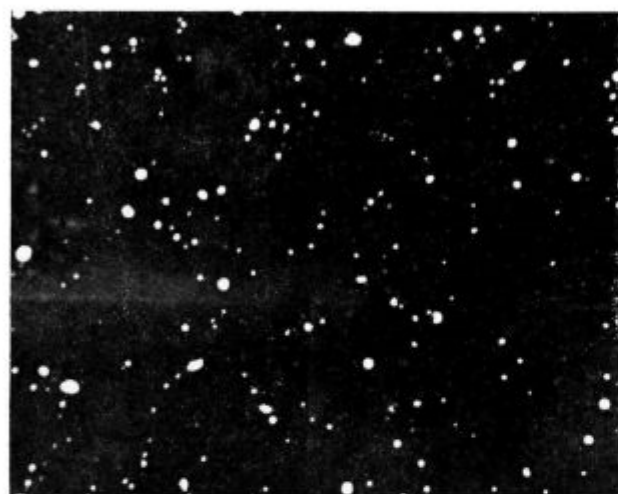
Slika 16

Delci svinca v asociaciji z oksidnimi nemetalnimi vključki v jeklu  $\bar{C}$  1530 Pb (elektronska slika in spk. X posnetki Pb, Al, S — pov. 840  $\times$ )



Tabela 5: Vpliv prisotnosti svinca na porazdelitev ostalih elementov v blokih svinčenih jekel

Element	n	X 1 %	X 2 %	regr. koef.	T vredn.	koef. m. kor.	st. nap. ocen.
S (avtom. je)	26	0.341	0.346	1.03	7.0	0.82	0.02
S (konstr. je)	36	0.014	0.015	0.92	13.5	0.92	0.02
Mn	48	0.791	0.797	1.01	73.2	0.99	0.03
C	48	0.219	0.230	0.98	33.3	0.98	0.03
P	47	0.037	0.036	0.99	48.1	0.99	0.00



Slika 17

Porazdelitev in velikost vključkov svinca v svinčevem jeklu C 1120 Pb (mikroradiografska tehnika — pov. 100 ×)

da prisotnost svinca nima vpliva na porazdelitev preiskanih elementov v blokih svinčevih jekel.

Za analizo dobljenih rezultatov o porazdelitvi svinca v blokih svinčevih jekel ter za oceno uspešnosti osvojenega postopka pri uvajanju svinca v jeklo je pomemben tudi doseženi izkoristek dodanega svinca. Iz povprečnih vrednosti svinca v zdravem delu bloka lahko izračunamo v preiskanih blokih izkoristek svinca (tabela 11).

Tabela 6: Izkoristek dodanega svinca

Jeklo	dodano Pb kg/t	$\bar{X}$ Pb %	izkoristek %
ATJ 100 Pb	4	0,19	47
C 1170 Pb	3	0,21	70
C 1590 Pb	3	0,18	60
C 4320 Pb	3	0,15	50

Doseženi izkoristek svinca je v zahtevanih mejah. Ker med posameznimi talinami konstrukcijskih jekel glede pogojev teoretične topnosti svinca ni bistvenih razlik, lahko ugotovljena odstopanja pojasnimo le z različnimi izgubami svinca zaradi

izcejanja na asociiranih vključkih v strogi glavi blokov. Najslabši izkoristek je v blokih, ki imajo najslabšo porazdelitev svinca (C 4320 Pb).

Pri avtomatskih jeklih je večji odpadek svinca tudi v območju poudarjenih izcej zaradi velikega števila eksogenih vključkov.

### ZAKLJUČKI:

Zaključki, ki izhajajo iz opisanih preiskav in ki so pomembni za boljše razumevanje mehanizma porazdelitve svinca v blokih svinčevih jekel, so naslednji:

— v blokih svinčevih jekel se enakomerno porazdeli le tisti svinec, ki se raztopi v tekočem jeklu ter med ohlajevanjem taline izloči iz raztopine. Tisti del svinca, ki se ne raztopi, se v obliki poudarjenih izcej svinca kopiči v nogi blokov.

— Poleg pogojev vliivanja jekla ter ustrezne zrnatosti delcev svinca je za čim popolnejšo topnost svinca in s tem za željeno enakomerno porazdelitev svinca (pri tem postopku) najpomembnejša pravilna količina vpihanega svinca ter enakomerno doziranje svinca med vliivanjem jekla.

— Svinec nima vpliva na porazdelitev ostalih elementov v jeklu. Dokazan pa je močan vpliv porazdelitve žvepla, pa tudi kisika, na porazdelitev svinca v blokih svinčevih jekel, kar je posledica asociativnosti delcev svinca s sulfidnimi in oksidnimi nemetalnimi vključki v jeklu.

V slučaju asociiranih vključkov prevladuje mehanizem razmešanja vključkov, kakršen je v posameznih območjih bloka značilen za sulfidne in oksidne nemetalne vključke.

— Izolirani krogljasti vključki svinca, katerih velikost je v preiskanih jeklih ca. 5  $\mu$ m, so v vseh območjih bloka enakomerno porazdeljeni. Glede porazdelitve teh vključkov ni bil dokazan nikakršen poseben mehanizem za razmešavanje, tudi ne vpliv Stoksovega zakona ter konvekcijskih tokov.

— Pomemben pogoj za enakomerno porazdelitev ter velikost vključkov svinca je torej tudi pravilna izdelava jekel, ki mora pri konstrukcij-

skih jeklih rezultirati v visoki čistoči jekel, po avtomatskih jeklih pa v pravilni obliki in porazdelitvi sulfidnih nemetalnih vključkov.

#### Literatura

1. Razingar A.: Magistrsko delo, Jesenice 1973
2. Schöffman: Zeitschrift für analytische chemie 199, 1964, str. 95
3. A. Podgornik: Mikroradiografsko določevanje in statistično vrednotenje oblike, velikosti in porazdelitve težkih vključkov v lahkih zlitinah za avtomatsko obdelavo. Poročilo FNT Ljubljana, 1972 (naloga SBK)
4. J. R. Blank: Steel Times, July 30, 1965, str. 148—152
5. J. F. Elliot: Thermochemistry for Steelmaking vol I. Addison — Wesley Publ. Co. Inc. London 1960
6. A. in J. Pokorny: De Ferri Metallographica, vol. III. Pariz 1967

### ZUSAMMENFASSUNG

Im Hüttenwerk Jesenice werden Bleilegierte Stähle steigend in Kokillen  $650 \times 650$  mm im Querschnitt gegossen. Blei wird dem Stahl in den Strahl zwischen dem Trichter und der Pfanne zugegeben. Die Bleiverteilung haben wir in den Blöcken der Automaten- und Konstruktionsstähle mit Hilfe der chemischen Analyse und der makroskopischen Blei- und Schwefelabdrücke studiert. Die mikroskopischen Untersuchungen am Elektronenmikroanalysator hatten nur einen ergänzenden Charakter.

Beim Studium der Bleiverteilung in bleilegierten Blöcken haben wir besonderen Wert der Betonung der turbulenten und konvektiven Strömungen während des Giessens und Erstarrens des Blockes, unter Beachtung des Stocksen Gesetzes gelegt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen zeigen wieder, dass sich im Stahl nur dieser Blei gleichmässig verteilt, welcher sich im flüssigen Stahl aufgelöst hat und während der Abkühlung aus der Lösung ausgeschieden ist.

### SUMMARY

Leaded steels are cast in Jesenice Ironworks through a funnel into the ingots of square cross section  $650 \times 650$  mm. Lead is alloyed to steel by introduction into the jet of steel between the ladle and the top of the funnel. The lead distribution in the ingots of free-cutting and structural steels was studied by chemical analysis and macroscopic replicas of lead and sulphur. Microscopic investi-

gations by electron microanalyzer were only a supplement. The distribution of lead in the leaded steel ingots was studied with emphasis to turbulent and convectional flow during pouring and solidification of the ingot, taking in account the Stokes law. The results of investigations repeatedly prove that uniformly distributed is in steel only the lead which was dissolved in molten steel and then precipitated from the solution during cooling.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В Металлургическом заводе Есенице свинцовые сорта стали разливают через воронку в квадратные слитки  $650 \times 650$  мм. Свинец гегрируют способом введения в струю стали в пространстве между ковшем и горловиной воронки. Поразделение свинца в слитках автоматной и конструкционной стали изучали при помощи химического анализа и микроскопическими отпечатками свинца и серы.

Микроскопические исследования на электронном микроанализаторе имели лишь дополнительное значение. Поразделение свинца в слитках свинцовых сталей изучали при учёте турбулентных и конвекционных потоках, также взят во внимание закон Стокеса-а. Результаты этих исследований снова доказали, что равномерное поразделение даёт только тот свинец, который после расплавления в жидкой стали выделался во время охлаждения расплавленного металла.

---

# HONEYWELL

**VODILNO PODJETJE V INTEGRIRANI  
AVTOMATIZACIJI**

**VAM NUDI CELO VRSTO INSTRUMENTOV  
ZA MERJENJE, REGULACIJO  
IN AVTOMATIZACIJO**

## **Instrumentacija za procesno industrijo**

Potenciometriški elektronski indikatorji, registratorji in regulatorji — Indikatorji, registratorji in regulatorji pretoka, temperature in pritiska — Miniaturni elektronski instrumenti — Miniaturni pnevmatski instrumenti — Regulacijski ventili s pnevmatskim in električnim pogonom — Termoelementi in pirometri — Enostavni instrumenti za merjenje in regulacijo temperature in pritiska — Procesna računalna

## **Mikrostikala**

Standardna in miniaturna mikrostikala — Sigurnostna in miniaturna mikrostikala — Brezkontaktna stikala — Instrumenti za vgraditev (mV, mA itd.)

Honeywell je organizacija mednarodnega nivoja, ki združuje operativne oddelke za instrumentacijo kontrole gorenja, klimatizacijo in zagrevanje, procesno instrumentacijo, električne enote, mikrostikala, znanstveno instrumentacijo ter sisteme obdelave podatkov. Poglejmo zakaj je Honeywell edini v svetu v stanju nuditi aparature, naprave in tehnično pomoč za ustvaritev kompletnih programov avtomatizacije na različnih področjih in v popolnosti rešiti probleme točno po zahtevah naročnikov. V vsakem Honeywellovem instrumentu je namreč preciznost in izkušnja industrije, ki proizvaja celo 20.000 različnih proizvodov.

---

## **Regulatorji za gretje, hlajenje in klimatizacijo**

Električni regulacijski sistem — Elektronski regulacijski sistem — Pnevmatiski regulacijski sistem

## **Instrumentacija za gorilce in kotle**

Oljni gorilci za gospodinjstvo — Industrijski oljni gorilci — Plinske peči za gospodinjstva — Industrijski plinski gorilci — Regulatorji za kotle

## **Instrumenti za laboratorijske raziskave**

Pojačala in pretvorniki signala — Visicorder ascilografi — Laboratorijski potenciometriški registratorji — XY registratorji — Laboratorijski standardi — Monitorji — Diferencijski voltmetri in drugi precizni instrumenti — Digitalni merilni instrumenti — Korelatorji — Elektronski bio-medicinski sistemi

---

# HONEYWELL

**AUTOMATION**

Sedež: Via Vittor Pisani 13 — 20124 Milano  
predstavnik za Jugoslavijo: Merkantile, Praška 2,  
Zagreb

# Evolucija sestave nekovinskih oksidnih vključkov med taljenjem jekla Č. 1730 v elektropeči

DK: 669.14.018.463; 669.187  
ASM/SLA: L 21 e; 9-69

F. Vodopivec in B. Ralić

Z analizo na elektronskem mikroanalizatorju smo spremljali evolucijo sestave nekovinskih vključkov oksidnega tipa med procesom izdelave ogljikovega jekla v elektropeči. Vzorci so bili vzeti ob različnih fazah tehnološkega postopka izdelave jekla. Analize kažejo, da so v večini primerov v staljenem jeklu vključki kompleksne sestave. Največ vsebujejo aluminija, pa tudi mnogo kalcija in precej magnezija. Silikatni in alumosilikatni vključki so v jeklu le v vzorcih, ki so bili vzeti iz jekla neposredno po oksidaciji s kisikom in po dodatku ferolegur, ki vsebujejo silicij. V vseh vzorcih so zelo pogosti oksidno sulfidni vključki, v katerih je v oksidnem delu vezan aluminij, kalcij in magnezij, v sulfidnem pa predvsem kalcij in redkeje mangan.

## 1. UVOD

Sestava nekovinskih vključkov je poleg sestave taline osnovni pokazatelj o reakcijah, ki potekajo v tekočem jeklu med postopkom njegove izdelave. Spremembe v sestavi taline je mogoče slediti z analizami po utrjenih kemijskih postopkih ali z avtomatičnimi analitskimi napravami, ni pa mogoče tako hitro analizirati nekovinskih vključkov. Poznane so sicer različne metode za analizo nekovinskih vključkov v jeklu, vendar so prav vključki, katere najdemo v jeklu med njegovo izdelavo, take sestave, da ne prenesejo brez škode poznanih postopkov izolacije po elektrolitski ali drugačni metodi, zato mikroanaliza izolata ne daje prave slike o sestavi vključkov, marveč je poprečno vsebnost komponent, ki so kemijsko dovolj obstojne, da se pri izolaciji ne razgradijo. Pravo sestavo vključkov je mogoče določiti le s pomočjo elektronskega mikroanalizatorja na metalografskih obruskov. Vendar je potrebno tudi te pripraviti s skrbjo, da pri brušenju ali poliranju ne bi prišlo do izluženja manj obstojnih sestavin.

Spremembe v celotni količini vključkov je mogoče vrednotiti na osnovi vsebnosti kisika in

žvepla, saj ni verjetno, da bi bila ta dva elementa lahko v ohlajenem jeklu raztopljena v pomembni količini.

V delu smo se omejili na raziskavo oksidnih vključkov. Vzorke smo vzeli v železarni Jesenice med izdelavo šarže jekla tipa vrste Č. 1730. Zaporedje jemanja vzorcev je navedeno v tabeli 1, v tabeli 2 so navedene povprečne kemijske sestave. Vsebnosti kisika, dušika, magnezija in kalcija so bile določene na metalurškem inštitutu, ostale podatke smo povzeli po šaržnem kartonu.

Tabela 1 — Vrstni red jemanja vzorcev

	ura
1. Po raztalitvi	0
2. Po oksidaciji s kisikom ter dodatkih rude, jedavca in apna	1
3. 20 minut po dodatkih feromangana, silikomangana, ferosilicija, aluminija in karburita	1 <sup>45</sup>
4. 15 minut po dodatkih apna, jedavca, karburita in kalcijasilicija	2 <sup>10</sup>
5. 15 minut po odvzemu vzorca 4	2 <sup>25</sup>
6. 20 minut po dodatkih feromangana in aluminija	2 <sup>50</sup>
7. Iz ponovce po odlitju prve plošče.	

## 2. MIKROSKOPSKE PREISKAVE VZORCEV IN ANALIZE NA ELEKTRONSKEM MIKROANALIZATORJU

**Vzorec 1.** Oksidni vključki so siva zrna, anizotropna pri opazovanju v dvakrat polarizirani svetlobi in optično homogena ali ne. Večinoma so vključki osamljeni (slika 1), redko so v manjših skupinah. Vključki so aluminijev oksid, vsebujejo pa tudi vedno nekaj kalcija in magnezija ter so često zraščeni z manganovim sulfidom.

Bolj so redke sive neprosojne kroglice. Nekatere so optično enofazne, druge pa so zraščene s prej opisanimi zrnji. Analiza na mikroanalizatorju je pokazala, da so kroglice dvojne sestave. Nekatere so manganov alumosilikat (slika 2), ki je brez kalcija, druge pa so kalcijev alumosili-

Franč Vodopivec je diplomirani inženir in doktor metalurških znanosti in samostojni raziskovalec na metalurškem inštitutu v Ljubljani

Boško Radić, višji tehnik na metalurškem inštitutu v Ljubljani

Tabela 2 — Sestava vzorcev

Vzorec	C	O	Si	Mn	Al <sub>t</sub>	Al <sub>net</sub>	N	Ca	Mg	S
1	0,71	0,0056	0,19	0,51	0,002	0,0023	0,0128	0,001	0,004	0,036
2	0,20	n. d.	0,02	0,15	0,002	0,001	0,0084	0,001	0,005	0,039
3	0,60	0,0042	0,27	n. d.	0,037	0,0036	0,0123	0,001	0,012	0,019
4	0,61	0,0044	0,31	0,57	0,031	0,0018	0,0123	0,003	0,002	0,015
5	0,62	0,0054	0,28	0,57	0,024	0,0019	0,0112	0,002	0,002	0,015
6	0,62	0,0042	0,28	n. d.	0,021	0,0018	0,0110	0,003	0,002	0,015
7	0,67	0,0043	0,33	0,65	0,022	0,0022	0,0138	0,003	0,003	0,007

 Al<sub>t</sub> — vsebnost topnega aluminija

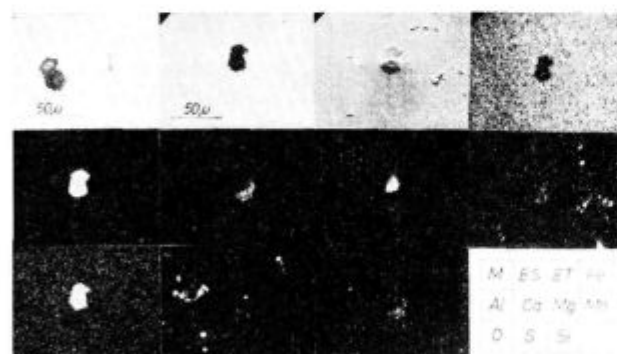
 Al<sub>net</sub> — vsebnost netopnega aluminija

Tab. 3 — Vrste nekovinskih vključkov

Vzorec	Al oksid	Ca-alum.	Mg-alum.	Ca alumosil.	Mn alumosil.	Opomba
1	+, Ca, Mg, Si	+	+	+, Mg, S	+, S	
2					+, S	
3	+, Ca, Mg	+, Mg, S	+, Ca			
4		+, Mg, S, Si	+, Ca, S		+	
5	+, Mg, Si	+, Mg, Si	+			
6	+, Mg, Si, S	+, Mg	+			
7	+, Ca, Mg, Si, S	+, Mg, S			+, Ca, Mg, S	

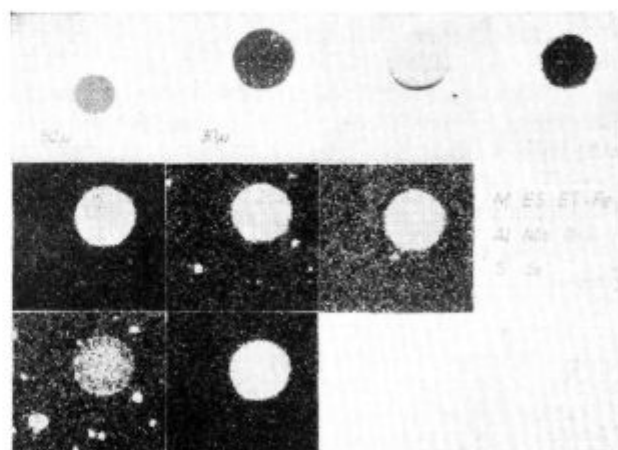
+ Vzorec vsebuje vključke te vrste

Simboli pri znaku + pomenijo, da vsebujejo vključki navedene elemente v manjši količini.



Slika 1, Vzorec 1

Zrnati oksidni vključek; — V tej in naslednjih slikah pomenijo M-mikrosposnetek; ES in ET — elektronski posnetek sestave in topografije; Fe, Al, Ca itd — specifični x posnetki za različne elemente

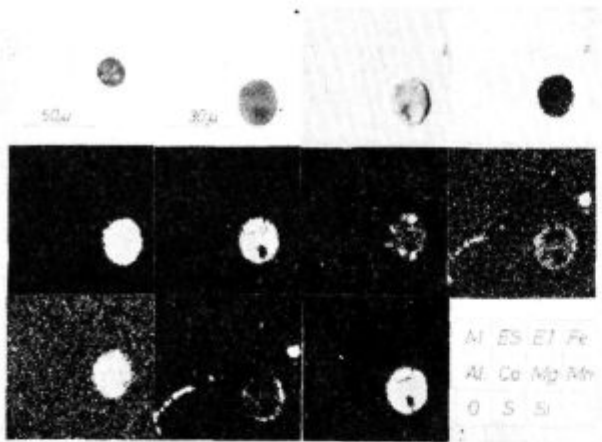


Slika 2, Vzorec 1

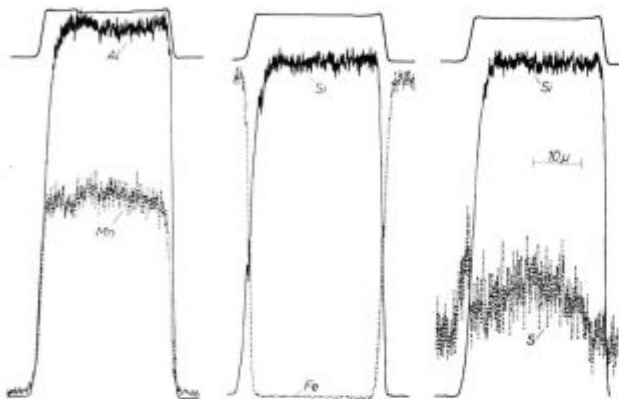
Krogličasti silikatni vključek

kat (slika 3). Te vsebujejo tudi nekaj mangana in žvepla, ki pa sta često zbrana ob površini. Na osnovi analize v mikroanalizatorju ni mogoče opredeliti, kako je ta element vezan v srednjem delu vključkov. Najverjetneje ni raztopljen, ampak je v obliki sulfidne faze fino dispergirana v oksidni matici.

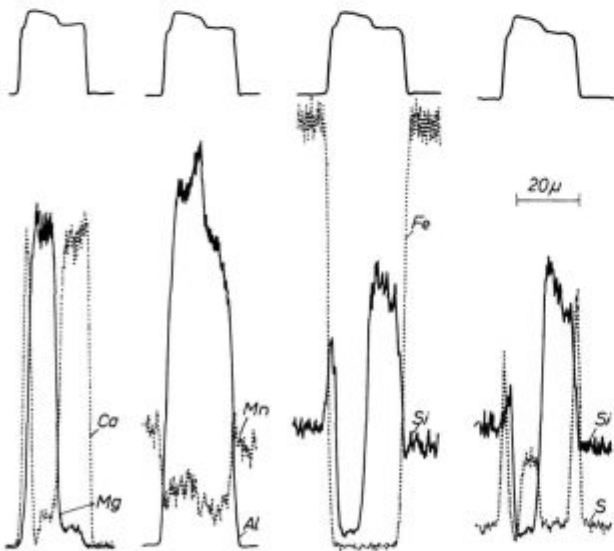
Na slikah 4 in 5 vidimo porazdelitev sestavnih elementov, razen kisika, po črti preko sredine obeh vrst vključkov. V alumosilikatu so sestavni elementi sorazmerno enakomerno porazdeljeni. V vključku, ki vsebuje tudi kalcij in magnezij, pa



Slika 3, Vzorec 1  
Krogličasti silikatni vključek



Slika 4

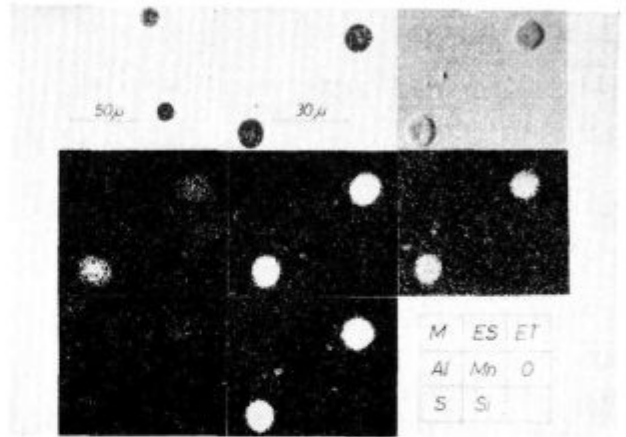


Slika 4 in 5

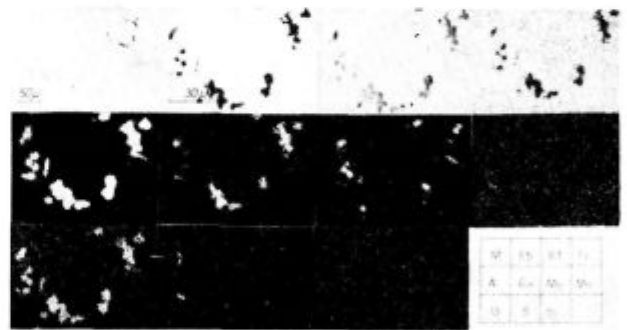
Porazdelitev sestavnih elementov razen kisika po črti preko sredine vključkov takega tipa kot so prikazani na Sl. 2 in 3

je razdelitev sestavnih elementov zelo neenakomerna, vendar je mogoče razločiti, da se vežejo skupaj magnezij, kalcij, silicij in aluminij, žveplo pa je vezano s kalcijem.

**Vzorec 2.** Oksidni vključki so večinoma krogličaste oblike. Kroglice so prozorne, prosojne ali neprosojne in pokažejo značilni križ v polarizirani svetlobi ali ga ne pokažejo. To ni značilno samo za silikatne vključke (1), ampak tudi za krogličaste vključke aluminijevega oksida, ki vsebujejo nekaj mangana ali železa. Zato se njihovo tališče toliko zniža, da so staljeni v staljenem jeklu. Vključki so manganov silikat, vsebujejo pa tudi več ali manj aluminijevega oksida (slika 6). Pogosto so v vključkih tudi značilna poligonalna siva zrna aluminijevega oksida. V vključkih nismo našli kalcija in magnezija.



Slika 6, Vzorec 2  
Okrogla silikatna vključka

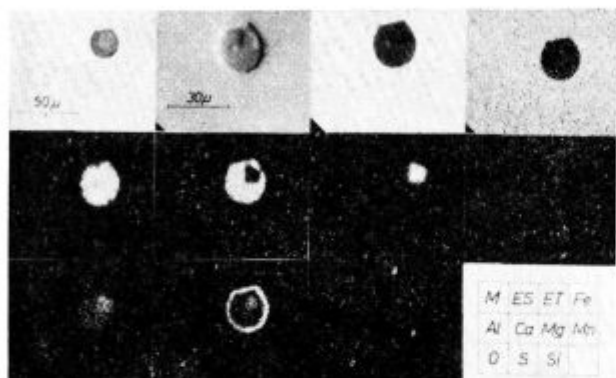


Slika 7, Vzorec 3  
Skupina zrnatih vključkov

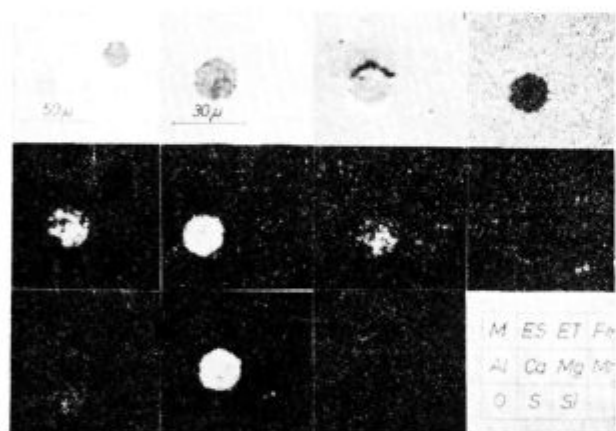


Slika 8, Vzorec 3  
Krogličasti kompleksen vključek

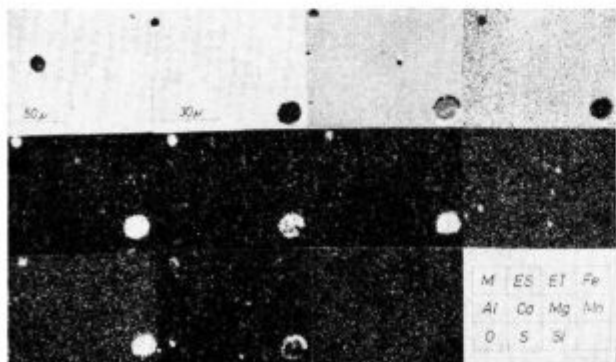
**Vzorec 3.** Vključki imajo različno obliko. Posamezne skupine optično homogenih sivih zrn so oksidi aluminija in kalcija ali aluminija in magnezija (slika 7). V polarizirani svetlobi so vključek anizotropni ali inertni. Enako sestavo imajo tudi osamljena zrna. Vključki nimajo silicija, mangan pa vsebujejo le, če so zraščeni s sulfidom. V jeklu so še številne sive bolj ali manj prosojne kroglice ali kapljice. Optično so enofazne ali dvofazne, v polarizirani svetlobi pa inertne, anizotropne ali pa pokažejo rumen odsev. Kroglice so kalcijev alu-



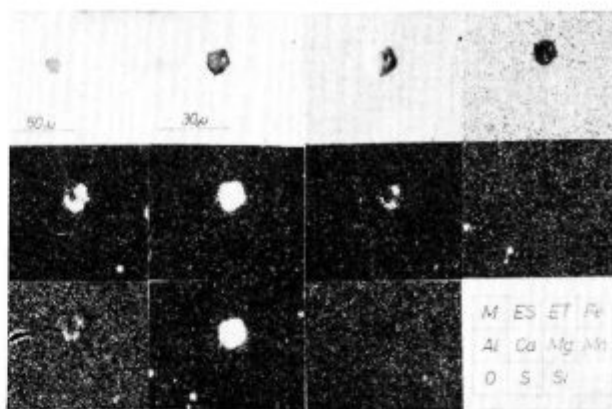
Slika 9, Vzorec 4  
Krogličasti kompleksni vključek



Slika 10, Vzorec 4  
Kompleksen oksidno-sulfidni vključek

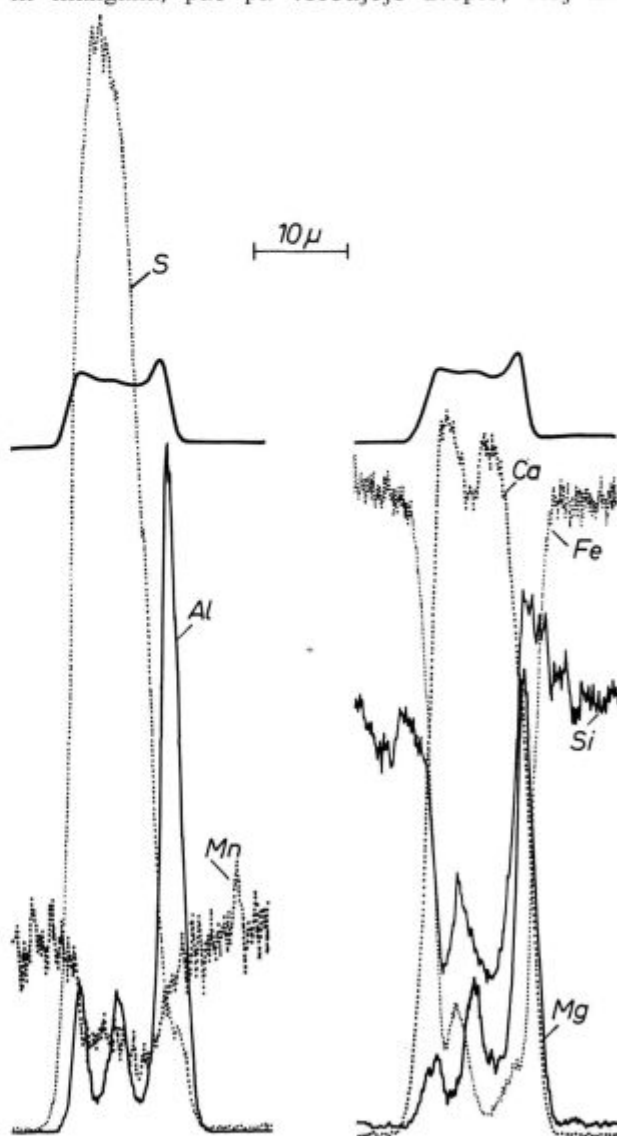


Slika 11, Vzorec 5  
Oksidni vključek



Slika 12, Vzorec 5  
Kompleksen oksidno-sulfidni vključek

minat z malo magnezija, zraščena siva zrna pa so magnezijev aluminat (slika 8). V njih ni silicija in mangana, pač pa vsebujejo žveplo, verjetno



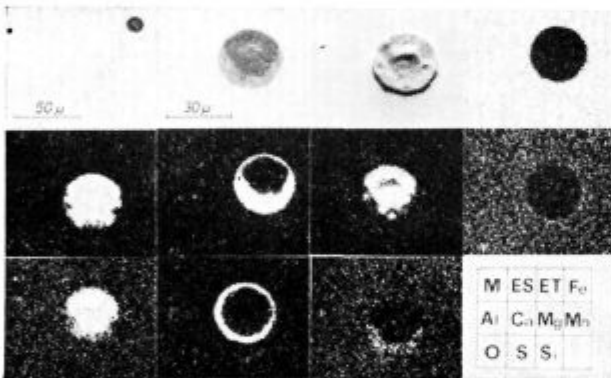
Slika 13  
Porazdelitev sestavnih elementov po črti preko sredine vključka take vrste kot ga prikazuje Sl. 12

v obliki fine sulfidne disperzije v aluminatni matici. Pogosto je žvepla več v vencu ob površini. Tudi na tem mestu v vključkih ni mangana. Obogatitev žvepla na površini kaže, da je aluminatna faza precej reaktivna.

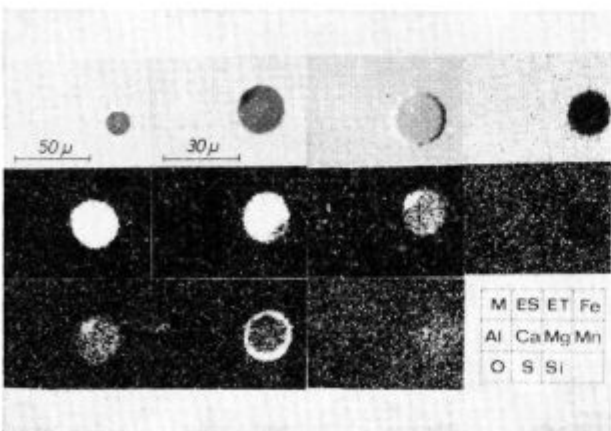
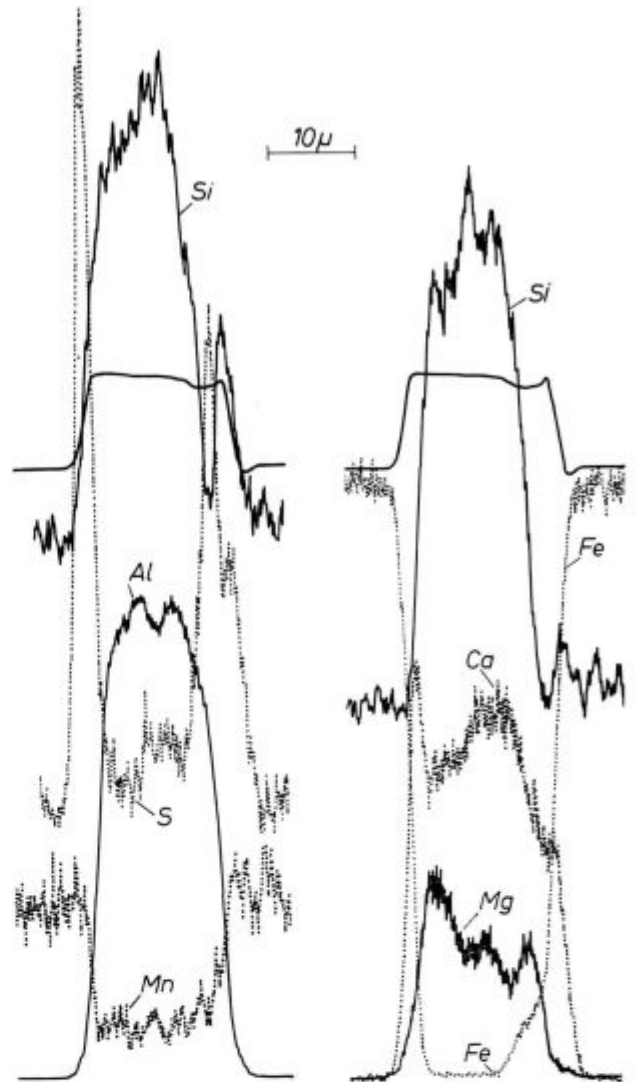
**Vzorec 4.** Ta vzorec vsebuje okrogle, bolj ali manj prosojne vključke temnosive barve, ki so bolj ali manj anizotropni v polarizirani svetlobi.

Ce so optično aktivni, pokažejo značilen rumen odsev kalcijevega aluminata. Često so zraščeni z zrnji magnezijevega aluminata ali aluminijevega oksida (slika 9). Take vključke najdemo tudi kot osamljena zrna. V vključkih ni silicija in mangana, tega najdemo le v zrnih, ki so zraščena z manganovim sulfidom. V optično enofaznih vključkih najdemo žveplo večinoma obogateno v vencu ob površini. Pogosto naletimo na okroglaste tvorbe (slika 10), ki so optično večfazne in so zrastki sulfidne in oksidne faze. Oksidna faza vsebuje aluminij, kalcij in magnezij, sulfidna pa verjetno le kalcij. Tudi v takih vključkih ni mangana in silicija.

**Vzorec 5.** Vsebuje številne drobne sive kroglice, ki pokažejo značilni križ pri opazovanju pod navzkrižnimi nikoli. V teh vključkih so aluminij, kalcij in magnezij. Vključki nimajo silicija in mangana, žveplo pa le v vencu ob površini (sli-



Slika 14

Slika 14 in 15, Vzorec 6  
Krogličasti vključki

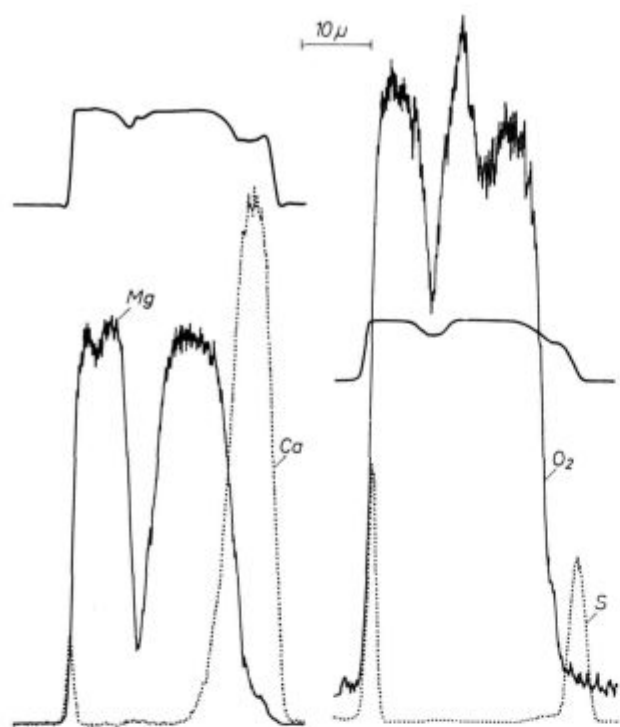
Slika 16

Porazdelitev sestavnih elementov po vodoravni črti čez središče vključka na sl. 15

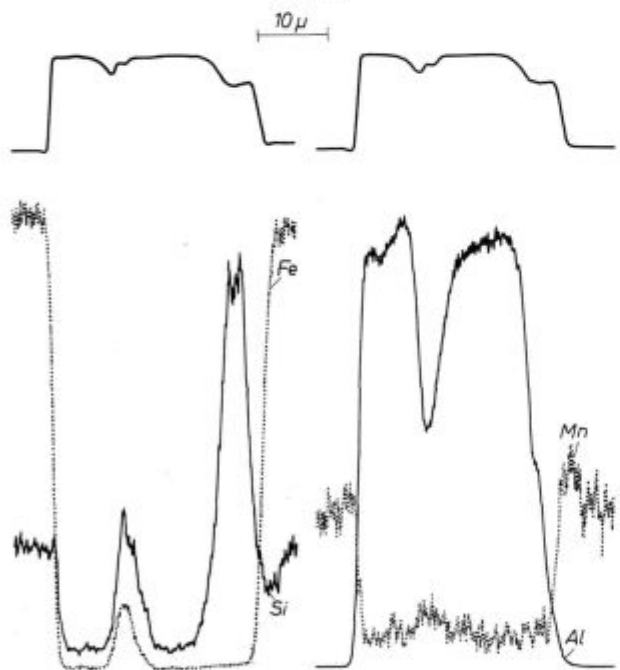
ka 11). Posamezni okroglasti vključki pokažejo v polarizirani svetlobi le rumen odsev. Najdejo se tudi dvofazni vključki, katerih večino sestavlja kalcijev sulfid in so značilni z zrnji aluminijevega oksida ali aluminata kalcija in magnezija (slika 12). Često sta obe fazi zraščeni v kroglastih tvorbah z nagubano površino. Na sliki 13 vidimo profil koncentracije pri prehodu čez vključek, katerega večina je iz kalcijevega sulfida. Razločno vidimo, da ima vključek manj silicija in mangana kot kovina ter da sta skupaj magnezij in aluminij.

**Vzorec 6.** Vključki imajo krogličasto obliko. Majhne kroglice imajo gladko površino, večje pa nagubano. Prve so prosojne in v polarizirani svetlobi pokažejo značilni križ, večje pa so inertne ali pokažejo le rumen odsev. V vseh vključkih najdemo iste elemente: aluminij, kalcij in magnezij ter sled silicija (slika 14 in 15). Poligonarna zrna so magnezijev aluminat. V vključkih ni mangana, žveplo pa je v notranjosti samo v sledovih, več ga





Slika 17



Slika 17 in 17a

Porazdelitev sestavnih elementov po pokončni črti preko sredine vključka na Sl. 14

je v vencu ob površini. Na sliki 16 vidimo razdelitev elementov na vodoravni črti preko vključka na sl. 15, sliki 17 in 17a pa kažeta razdelitev elementov po vertikali čez sredino vključka na sl. 14. Obe sliki lepo dopolnjujeta podatke o sestavi, katere je mogoče razbrati iz X posnetkov.

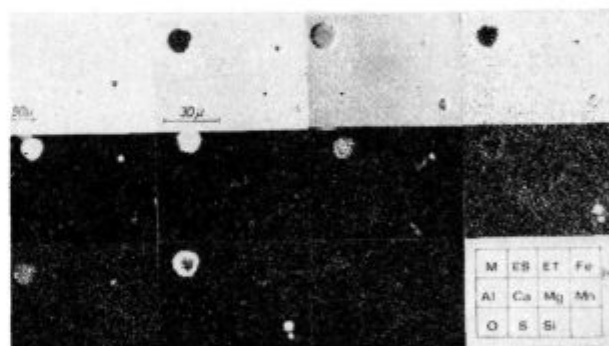
**Vzorec 7.** Drobne prosojne kroglice pokažejo v polarizirani svetlobi križ in so manganov alumin...

silikat. Večje kroglice križa ne pokažejo tako jasno, so enake narave, pogosto so zraščene z zrni aluminijevega oksida (slika 18) in vsebujejo sledove kalcija, magnezija in žvepla. Redkejši so krogličasti vključki kalcijevega aluminata, ki vsebujejo nekaj magnezija in silicija, so brez mangana, žveplo pa je obogateno v vencu poleg površine (slika 19). Redki so večji skupki vključkov aluminijevega oksida. V teh zrastkih so sledovi kalcija, silicija, magnezija in žvepla. (slika 20). Podobni vključki se držijo sten por in mikrolunkerjev (slika 21), vendar imajo v splošnem več mangana in silicija.



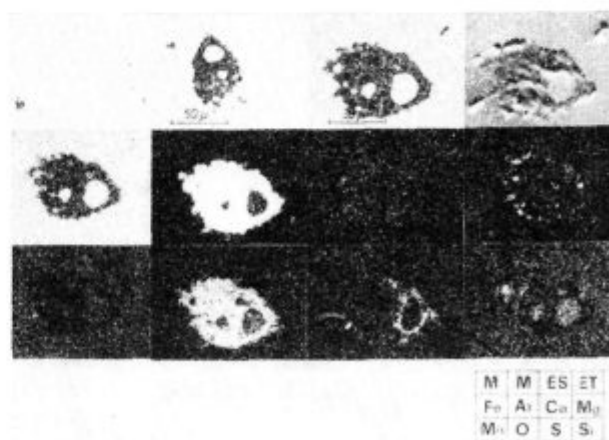
Slika 18, Vzorec 7

Kompleksni krogličasti vključek



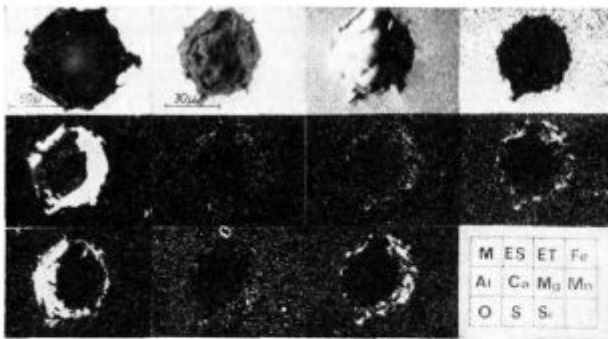
Slika 19, Vzorec 7

Kroglasti vključek



Slika 20, Vzorec 7

Zrastek vključkov aluminijevega oksida



Slika 21, Vzorec 7  
Vključki ob stenah pore

### 3. KRATKA ANALIZA REZULTATOV

V tabeli 3 smo zaradi preglednosti rezumirali rezultate analiz z elektronskim mikroanalizatorjem. Takoj po raztaljenju vsebuje jeklo vključke več vrst: aluminijev oksid, čist in vezan s kalcijem in magnezijem, ter kalcijev in manganov alumosilikat. Prisotnost tako različnih vključkov je dokaz za intenzivne reakcije v jeklu. Po oksidaciji najdemo v jeklu le vključke manganovega alumosilikata. To kaže, da so bili vključki drugih vrst odstranjeni v žlindro. Vključki manganovega silikata so nastali pri vpihovanju kisika in so se navzeli aluminija v stiku z vključki, bogatimi s tem elementom, ki so bili v jeklu že od prej ali pa so prišli iz izlužene ognjevarne obloge.

Preden je bil vzorec 3, so bile v jekleno talino dodane različne ferolegure. Zanimivo je, da kljub dodatku mangana in silicija v vključkih ni teh dveh elementov, marveč le aluminij, kalcij in magnezij. Lahko sklepamo, da so se vključki prvih dveh elementov hitro reducirali ali pa splavali v žlindro; kalcij izhaja iz apna in kot magnezij mogoče tudi iz obloge peči. Sledeči dodatek ferolegur povzroči spet nastanek vključkov manganovega alumosilikata, ostajajo vključki aluminatne narave, ne najdemo pa vključkov aluminijevega oksida. To je lahko slučajen rezultat, saj take vključke najdemo v prejšnjem in v naslednjem vzorcu, mogoče pa je tudi, da so se vključki aluminijevega oksida porabili za nastanek vključkov manganovega alumosilikata. V naslednjih dveh vzorcih se sestava vključkov ne spremeni bistveno, v zadnjem vzorcu pa ne najdemo več vključkov magnezijevega aluminata. Mogoče vključki te vrste hitreje splavajo v talino od vključkov kalcijevega aluminata. Na osnovi oblike in velikosti sklepamo, da so vključki manganovega alumosilikata v zadnjem vzorcu okludirana žlindra, ker v jeklo ni bilo dodanega ničesar, kar bi lahko povzročilo njihov nastanek. Odstranitev iz taline vključkov kalcijevega aluminata in vključkov aluminijevega oksida, katere najdemo v vseh preiskanih vzorcih, je počasna ali pa taki vključki neprestano nastajajo.

Podatki v tabeli 2 povedo, da se globalna vsebnost kisika z izjemo faze oksidacije, v vzorcih bistveno ne razlikuje, kar pomeni, da se bistveno tudi ne spreminja skupna količina nekovinskih vključkov oksidne narave v jekleni talini. Od vzorca tri naprej ostaja konstantno majhna tudi vsebnost magnezija v jeklu. Ta vsebnost je približno iste velikosti kot vsebnost netopnega aluminija. To bi kazalo, da je v oksidnih vključkih enako aluminija kot magnezija. Menimo, da ta analitski rezultat ni zanesljiv. Podobno kot za magnezij velja tudi za vsebnost kalcija v nekovinskih vključkih, vendar ocena ni tako zanesljiva, ker se kalcij veže v oksid, oziroma aluminat in v sulfid, analitično pa ni mogoče ločiti kalcija, vezanega v eni ali drugi obliki.

### SKLEP

Z analizo v elektronskem mikroanalizatorju smo opredelili vrste vključkov, oziroma glavne sestavne elemente vključkov oksidnega tipa v vzorcih jekla, ki so bili vzeti iz taline v različnih sekvencah tehnologije jekla Č.1730 v elektropeči v železarni Jesenice.

Rezultati kažejo, da vsebuje jeklo ves čas podobne vključke, in sicer vključke aluminijevega oksida s primesmi kalcija in magnezija in aluminata teh dveh elementov. Vključki aluminijevega oksida in magnezijevega aluminata imajo vedno zrnato obliko, kar kaže, da niso bili staljeni v tekočem jeklu, kalcijevi aluminati pa so predvsem krogličaste oblike, znak, da so bili v jeklu staljeni. Ti vključki vsebujejo pogosto nekaj magnezija, zelo redko silicij, zelo pogosto pa žveplo. Tega elementa je običajno zelo malo v notranjosti vključkov, močno pa je obogaten v prstanu ob površini. Naletimo pa tudi na zrastle, kjer je v oksidnem delu aluminij, kalcij in magnezij, v sulfidnem pa le kalcij. Manganov sulfid je zraščan z oksidnimi vključki le, če so ti iz aluminijevega oksida. Vključke kalcijevega alumosilikata, ki so bili v jeklu staljeni, smo našli le v vzorcu, ki je bil iz taline vzet po raztalitvi. Vključke manganovega silikata ali silikoaluminata smo našli le v vzorcih, ki so bili iz taline vzeti po oksidaciji in po dodatku ferolegur, ki vsebujejo silicij in mangan. Verjetno se taki vključki hitreje kot drugi izločijo v žlindro. Zanimivo je, da lahko vsebuje alumosilikatni vključek tudi žveplo, verjetno v obliki fine disperzije sulfidne komponente v oksidni osnovi.

### Literatura

F. Vodopivec, *Železarski zbornik* 6, 1972, št. 4, str. 215 do 229

Zahvaljujemo se UJZ v Beogradu, ki je materialno omogočilo izvedbo tega dela in dipl. ing. Ravniku iz Železarne Jesenice, ki nam je priskrbel vzorec.

F. Vodopivec in B. Ralić

## ZUSAMMENFASSUNG

Durch die Mikrosondenuntersuchung haben wir die Einschlussarten bzw. die Hauptbestandteile der oxydischen Einschlüsse an Stahlproben, welche zu verschiedenen Zeiten der Erschmelzung eines Kohlenstoff-Vergütungsstahles C 1730 im Lichtbogenofen des Hüttenwerkes Jesenice entnommen worden sind, bestimmt.

Die Ergebnisse zeigen, dass der Stahl während der Schmelzzeit ähnliche Einschlüsse enthält und zwar Einschlüsse des Aluminiumoxydes mit Beimengen von Kalzium und Magnesium und Aluminaten dieser zwei Elemente. Einschlüsse von Aluminiumoxyd und Magnesiumaluminat haben immer körnige Form, woraus geschlossen werden kann, dass diese im flüssigen Stahl nicht geschmolzen waren. Kalzium-aluminat sind hauptsächlich kugelförmiger Form, ein Zeichen, dass sie im Stahl geschmolzen waren. Diese Einschlüsse enthalten oft etwas Magnesium, sehr selten Silizium und sehr oft Schwefel. Diesen Element gibt es wenig im inneren der Einschlüsse während deren

Oberfläche mit Schwefel sehr angereichert ist. Man trifft aber auch auf Verwachsungen, wo im oxydischen Teil, Aluminium, Kalzium und Magnesium zu finden sind, im sulfidischen aber nur Kalzium. Mangansulfid ist mit oxydischen Einschlüssen verwachsen, wenn diese aus Aluminiumoxyd bestehen. Einschlüsse von Kalziumalumosilikat, welche im Stahl geschmolzen waren, haben wir nur in der Probe gefunden, welche aus dem Ofen nach dem Einschmelzen entnommen worden ist. Einschlüsse von Mangansilikat oder Silikoaluminat haben wir nur in den Proben gefunden, welche aus der Schmelze nach der Oxydationszeit und nach dem Legieren mit Silizium und Mangan genommen worden sind. Wahrscheinlich scheiden diese Einschlüsse schneller wie andere in die Schlacke aus. Es ist interessant, dass ein alumosilikater Einschluss auch Schwefel enthalten kann, wahrscheinlich in einer fein dispergierten sulfidischen Komponente in oxydischer Grundmasse.

## SUMMARY

Types of inclusions and the main constituents of the oxide type inclusions in steel samples taken from the melts in various sequences during manufacturing C. 1730 steel in the electric arc furnace in Jesenice Ironworks were determined by analysis with the electron micro-analyzer.

The results show that the steel contains similar inclusions all the time, i. e. inclusions of aluminium oxide with additions of calcium and magnesium, and the aluminates of these two elements. The inclusions of aluminium oxide and magnesium aluminate have always sharp edges indicating that they were never dissolved in molten steel while calcium aluminates are mainly rounded which means that they were dissolved in steel. The latter inclusions often contain some magnesium, very seldom silicon, but quite often sulphur. This element is usually very rare

inside the inclusions but very enriched in the shell around it. Also aggregates were found containing aluminium, calcium, and magnesium in the oxide part of the inclusion, and only calcium in the sulphide part. Manganese sulphide was aggregated with the oxide inclusion only if it was aluminium oxide. Inclusions of calcium aluminate which were dissolved in steel were found only in the sample which was taken from the melt after the charge melted in the furnace. The inclusions of manganese silicate or silicoaluminate were found only in the samples which were taken from the melts after oxidation and addition of the ferro-alloys containing silicon and manganese. Probably these inclusions precipitate into slag faster than the others ones. It is interesting that an alumosilicate inclusion can contain also sulphur probably in a form of a dispersed sulphide component in an oxide matrix.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При производстве цементуемой стали марки С-1730 в электродуговой печи Металлургического завода Есенице исследовали при помощи анализа в электронном микроанализаторе составные элементвключений оксидного типа. Исследованию подвергали образцы взятые последовательным отбором в течении процесса плавления. Результаты показали, что в течении производства сталь содержит всё время включения похожих типов, т. е. включения окиси алюминия с примесью кальция и магния и алюминаты этих двух элементов. Включения окиси алюминия и алюминаты магния имеют всегда зернистую форму; это указывает, что эти включения не были расплавлены в стали. Наоборот, алюминаты кальция имеют главным образом шарообразную форму, что указывает, что эти включения были расплавлены в расплавленном металле. Эти включения часто содержат немного магния, очень редко кремний а часто даже серу. Обыкновенно серы внутри включения очень мало, но на внешнем кольце по-

верхности включения концентрация серы гораздо больше. Обнаружены также сцепления в которых в оксидной части находятся алюминий, кальций и магний, а в сульфидной части только кальций. Сульфид марганца сцеплен с оксидными включениями только тогда, если их состав представляет оксид алюминия. Включения алюмосиликата кальция, которые были расплавлены в стали, обнаружены лишь в образце которого взят после расплавления металлического всада в печи. Включения силиката марганца или алюмосиликатов марганца обнаружены только в образцах взятых из расплавленного металла после окисления и после введения ферросплавов которые содержат кремний и магний; возможно, что эти включения в шлак быстрее чем включения других типов т. е. другого состава. Надо отметить, что включения алюмосиликатов могут содержать также серу, возможно в форме тонкой дисперзности сульфидной компоненты в оксидной основной массе.

# Primerjalno preizkušanje trdote pri povišanih temperaturah\*

DK: 620.178.154  
ASM/SLA: Q 29 p

Janez Kovač

Ugotavljanje trdote pri povišanih temperaturah je za orodna jekla, namenjena izdelavi orodij za vroče delo, zelo pomembno. Poznane so metode in drage aparature za meritve trdot v vročem stanju. Pri raziskovalnem delu na področju orodnih jekel za delo v vročem pa se često srečujemo s potrebo primerjalnega preizkušanja različnih vrst jekel in različnih postopkov toplotne obdelave z meritvami trdote v vročem stanju. Nismo imeli namena razviti metodo eksaktnega merjenja trdot in ugotavljanja absolutnih vrednosti, ampak razviti možnosti primerjalnega ugotavljanja trdot na tako preprost način, da bi bil uporaben tako v laboratoriju kot v vsakem proizvodnem obratu.

Članek opisuje tako preprosto napravo in podaja nekaj primerjalnih meritev za oceno uporabnosti.

Trdota pri povišanih temperaturah je ena najvažnejših lastnosti jekel, iz katerih izdelujemo orodja za delo v vročem stanju. Za oceno uporabnosti orodij na višjih temperaturah, kakor tudi zaradi študije vplivov toplotne obdelave na trdote v vročem so potrebne tudi razširitve ustreznih meritev trdot pri povišanih temperaturah. Metode preizkušanja trdote pri povišanih temperaturah so se v zadnjih letih močno razvile in nudijo možnost merjenja trdote pri različnih temperaturah za razne vrste jekel in zlitin.

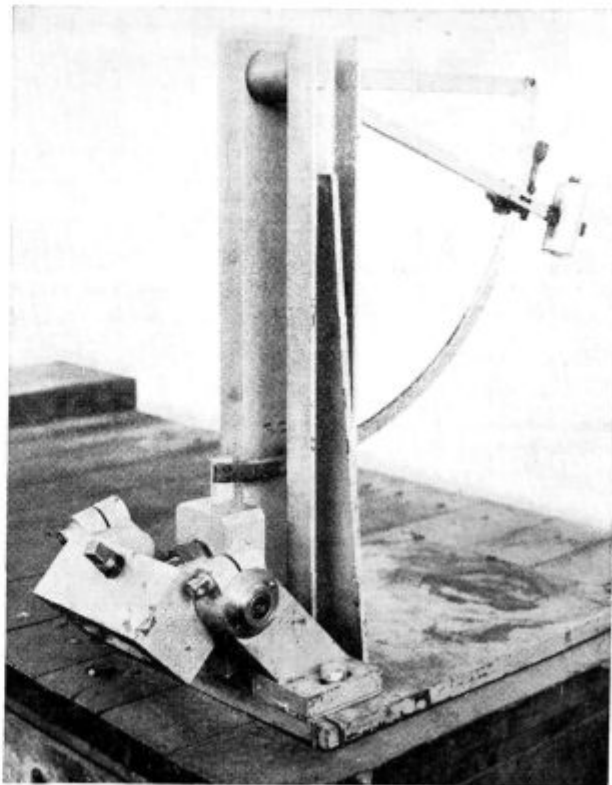
V literaturi je malo podatkov o merjenju trdote pri povišanih temperaturah. Skupina francoskih strokovnjakov (2) je merila mikrotrdoto v vročem na napravi, ki je bila prvenstveno namenjena za preizkušanje v vakuumu toplotno izoliranih prob. Merjenje so izvajali tako, da so na površino preizkušanca vtiskali prizmatično konico, podobno kot pri metodi po Vickersu, in merili premer odtiska. Poskuse so izvajali na nekaterih vrstah Cr-Ni jekel.

Sovjetski strokovnjaki so tudi merili trdoto pri povišanih temperaturah do 600° C (3). Pri merjenju so se posluževali Rockwellove naprave, na kateri je bila montirana Amslerjeva pečica. Meritve so izvajali na nekaterih brzoreznih jeklih.

V literaturi opisane metode so sicer natančne, vezane pa na posebne, večkrat tudi precej drage

aparature. V mnogih primerih pa preizkušanje ni izvedljivo, posebno ne pri pogojih, kakršni so značilni za preizkušanje v obratu.

V našem primeru smo si zadali nalogo, da z merjenjem trdote pri povišanih temperaturah določimo vpliv temperature na trdoto ledeburitnih orodnih jekel Železarne Ravne do temperature 600° C. Za naše potrebe smo želeli razviti hitro primerjalno metodo, uporabno v laboratoriju in v obratu. Meritve za preizkušanje odpornosti proti udarnemu vtiskovanju smo izvajali na posebni napravi, kjer smo dinamično z udarcem vtiskali konico stožca na površino preizkušanca. Paralelno smo merili tudi trdoto na Rockwellovi napravi. S primerjavo izmerjenega premera odtiska in trdote v HRC smo dobili pregled, kako se spreminja trdota pri povišanih temperaturah. Iz teorije plastične deformacije nam je znano, da s segrevanjem jekla pada trdota in iz tega sklepamo, da z rastočo temperaturo pada odpornost proti udarnemu vtiskovanju.

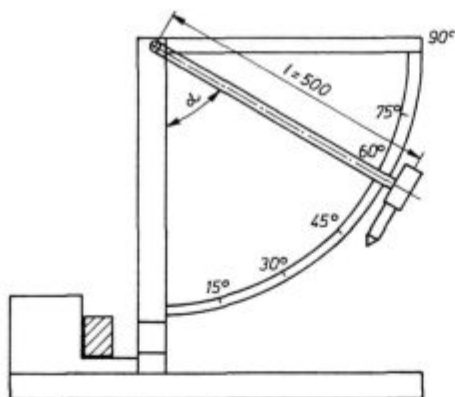


Slika 1:

Naprava za primerjalno preizkušanje odpornosti proti udarnemu vtiskovanju.

Janez Kovač, dipl. ing. je raziskovalec na področju toplotne obdelave v metalurških predelovalnih obratih.

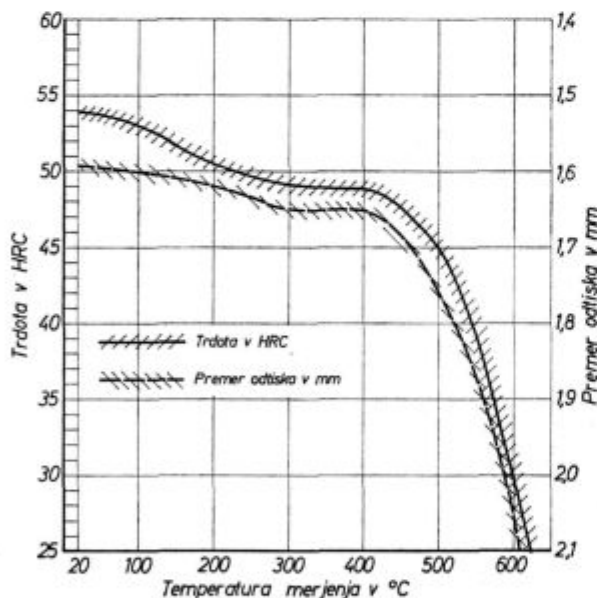
\* Primerjalno preizkušanje trdote pri povišanih temperaturah je bilo razvito v okviru širše teme diplomskega dela pod mentorstvom dipl. ing. Jožeta Rodiča.



Slika 2:  
Skica naprave za primerjalno preizkušanje odpornosti proti udarnemu vtiskovanju.

Č. 4150 (OCR-12)      Žarjenje: 840°C      Kemijska sestava  
Šarža: 48613      Kaljenje: 980°C (olje)      2,17% C 0,31% Si 0,33% Mn  
Dimenzije: 20x25x45      Popuščanje: 550°C      1,20% Cr 0,04% Mo 0,4% Ni  
0,2% Cu

Ozn. probe	A <sub>1</sub>		A <sub>2</sub>		A <sub>3</sub>		A <sub>4</sub>	
	HRC	Odtisek v mm	HRC	Odtisek v mm	HRC	Odtisek v mm	HRC	Odtisek v mm
100	53,0	1,60	53,0	1,68	53,0	1,60	53,0	1,60
200	52,0	1,60	50,0	1,65	50,0	1,60	50,5	1,60
300	49,0	1,70	48,5	1,55	50,0	1,65	49,5	1,70
400	50,0	1,47	49,0	1,67	49,0	1,60	48,0	1,75
500	44,0	1,76	45,0	1,70	46,0	1,80	44,0	1,68
600	30,0	2,05	30,0	2,05	30,0	2,00	30,0	2,10



Slika 3:  
Rezultati meritev za jeklo Č.4150-OCR 12.

Vrsta jekla	Č.4150 (OCR 12)	Č.4650 (OCR - 12 sp)	Č.4750 (OCR - 12 ex)	Č.4850 (OCR - 12 VM)	Č.4754 (CRV)
Trdota po kaljenju	65—65,5	64—65	63,5—64	62,5—63,5	62—62,5
Trdota po popuščanju na 550° C	53—55	55—56,5	59—60	57,5—58,5	58—59

Premer odtiska se povečuje, trdota v HRC pa pada s poviševanjem temperature.

Napravo za merjenje trdote pri povišanih temperaturah, s katero smo izvajali preizkušanje, prikazujeta sliki 1 in 2.

Sestoji iz stojala, vzvoda, na katerem je utež z vloženim penetratorjem, podstavka za postavljanje preizkušancev, merilne skale za merjenje višine, postavljanja uteži in mehanizma za sproženje. Na vzvodu dolžine 500 mm je pritrjena utež, ki drsi po vodilu v obliki krožnice. Penetrator (konica) je izdelan iz karbidne trdine v obliki stožca, zbruščen pod kotom 120°. Utež lahko pada iz začetnega položaja pod kotom od 0—90°. Naprava dela na principu padalnega kladiva, ki pada z neke določene višine in z določeno obodno hitrostjo udari na površino v podstavku postavljenega preizkušanca in pri tem naredi odtisek.

Sproženje naprave je ročno. Na točnost pri merjenju z napravo vplivajo naslednji faktorji:

- teža uteži,
- kot padanja uteži,
- čas prenosa preizkušanca od peči do naprave,
- temperatura preizkušanca v trenutku merjenja.

Med meritvami smo skušali vse vplivne faktorje obdržati čim bolj konstantne. Teža uteži je znašala 1,22 kg, začetni kot padanja je bil 60°.

Uvodne preiskave smo izvajali z meritvami pri naslednjih orodnih jeklih: Č.4150 (OCR-12), Č.4650 (OCR-12 special), Č.4750 (OCR-12 extra), Č.4850 (OCR-12 VM) in Č.4754 (CRV).

Preizkušanci so bili izdelani iz kovane palice kvadratnega preseka s stranico 25 mm. Preizkušanci so imeli dimenzije 20 mm × 25 mm × 45 mm. nasprotni ploskvi sta bili fino brušeni. Iz vsake vrste jekla so bile izdelane štiri paralelke za vsako temperaturo merjenja.

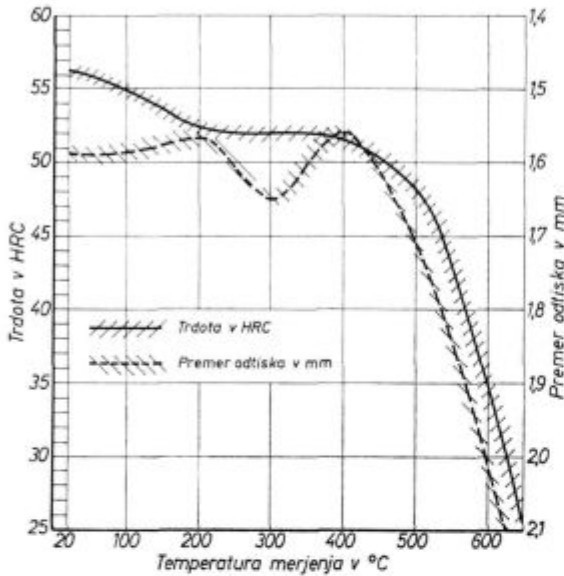
Vsi preizkušanci so bili pred merjenjem enako mehko žarjeni na 840°C, kaljeni v solni kopeli z normalne temperature kaljenja za posamezno vrsto jekla ter popuščeni na 550°C v komorni peči. Trdote po kaljenju in po popuščanju, merjene v hladnem stanju, so za posamezne vrste jekel podane v naslednji tabeli:

Č. 4650 (OCR12 sp.) Žarjenje: 840°C Kemijska sestava:  
 Šarža: 48869 Kaljenje: 980°C (olja) 2,3% C 0,17% Si 0,34% Mn  
 Dimenzije: 20x25x45 Popuščanje: 550°C 11,8% Cr 0,1% Mo 0,14% V  
 0,07% W 0,16% Ni 0,14% Cu

Ozn. prabe	B <sub>1</sub>		B <sub>2</sub>		B <sub>3</sub>		B <sub>4</sub>	
	HRC	Odtisek v mm	HRC	Odtisek v mm	HRC	Odtisek v mm	HRC	Odtisek v mm
100	54,0	1,60	56,0	1,50	55,0	1,57	56,0	1,58
200	52,0	1,52	50,5	1,52	52,0	1,60	53,0	1,60
300	52,0	1,70	52,0	1,66	52,5	1,68	51,5	1,60
400	52,0	1,46	51,5	1,43	50,5	1,55	52,0	1,56
500	49,0	1,75	48,0	1,72	49,5	1,70	49,5	1,70
600	36,0	2,00	36,0	2,00	34,0	2,05	35,0	1,98

Č. 4750 (OCR-12ex.) Žarjenje: 840°C Kemijska sestava:  
 Šarža: 48882 Kaljenje: 1020°C (olja) 1,61% C 0,17% Si 0,27% Mn  
 Dimenzije: 20x25x45 Popuščanje: 550°C 12,0% Cr 0,69% Mo 0,18% V  
 0,96% W 0,18% Ni 0,17% Cu

Ozn. prabe	C <sub>1</sub>		C <sub>2</sub>		C <sub>3</sub>		C <sub>4</sub>	
	HRC	Odtisek v mm	HRC	Odtisek v mm	HRC	Odtisek v mm	HRC	Odtisek v mm
100	58,5	1,48	58,0	1,53	58,0	1,50	59,0	1,45
200	57,0	1,42	56,5	1,50	57,0	1,44	57,0	1,50
300	57,0	1,54	56,0	1,48	56,0	1,60	55,5	1,60
400	54,0	1,58	54,0	1,56	54,5	1,55	54,5	1,55
500	54,0	1,60	54,0	1,65	52,0	1,67	53,0	1,62
600	41,5	1,88	36,0	1,80	35,0	2,05	35,0	2,08



Slika 4:

Rezultati meritev za jeklo Č.4650—OCR 12 special

Pri vseh preizkušancih smo merili:

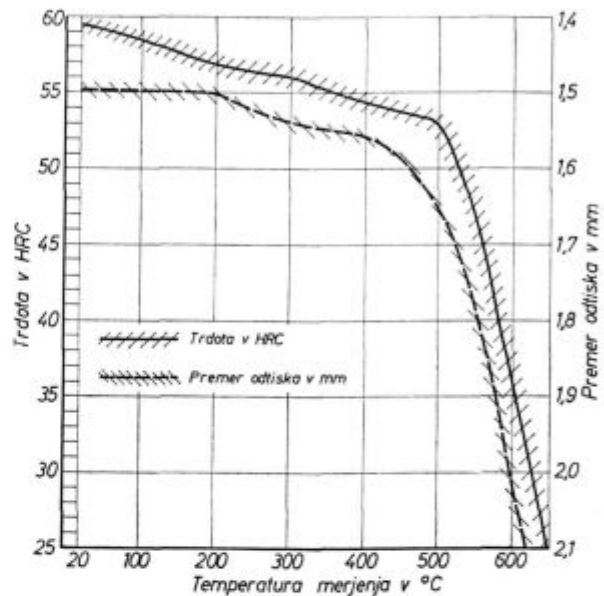
- premer odtiska, nastalega pri udarnem vtiskovanju konice na opisani napravi
- trdoto v HRC

Temperature merjenja so bile: 100, 200, 300, 400, 500 in 600°C. Preizkušance smo na temperaturo merjenja segrevali 1 uro v elektrokomorni pečici. Tako segrete preizkušance smo hitro prenesli na podstavek v napravo in naredili vtisek na površini preizkušanca. Premer vtiska smo izmerili po ohladitvi preizkušancev. Potem smo na istih preizkušancih izvedli tudi meritev na Rockwellovi napravi.

Iz dobljenih rezultatov smo narisali krivulje odvisnosti trdote od temperature, iz katerih je mogoče določiti

- odvisnost trdote od temperature merjenja v območju 200 — 600°C,
- trdoto na določenih temperaturah.

Z merjenjem premerov vtiskov lahko primerjamo trdoto pri določenih temperaturah za posamezna jekla v laboratoriju in v obratu ter tako ocenjujemo odpornost jekla proti vtiskovanju na različnih temperaturah.



Slika 5:

Rezultati meritev za jeklo Č.4750—OCR 12 extra

### Rezultati meritev

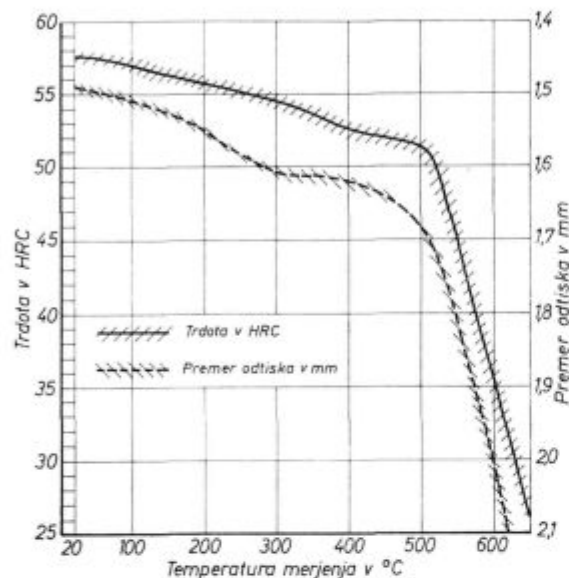
Rezultati meritev na napravi za udarno trdoto v vročem kažejo razmeroma velika trosenja zaradi tega, ker smo preizkušance prenašali iz peči do naprave ročno in ta čas prenašanja do naprave ni bil konstanten. Vendar so rezultati v določenem sprejemljivem intervalu.

Rezultati meritev na slikah 3 do 7 nam jasno pokažejo, kako pada trdota v odvisnosti od povišanja temperature merjenja. Trdota teh jekel močneje pada nad 400°C, do te temperature pa je padanje počasnejše. Najboljše rezultate kažejo jekla Č.4750 (OCR-12 ex.), Č.4850 (OCR-12 VM) in Č.4753 (CRV), ki do temperature 500°C obdržijo trdoto nad 52—53 HRC, medtem ko smo pri vrstah jekla Č.4150 (OCR-12) in Č.4650 (OCR-12 sp.) dosegli le 45—48 HRC. Pri teh dveh vrstah jekla je pri temperaturi popuščanja 550°C trdota že močno padla, zato lahko sklepamo, da sta ti dve vrsti jekla primerni za delo v vročem stanju samo do 400°C.

Rezultati meritev na opisani napravi kažejo, da je metoda uporabna za primerjalno preizkušanje

Č. 4850 (OCR-12 VM) Žarjenje: 840 °C Kemijska sestava:  
 Šarža: 48865 Kaljenje: 1020°C(olja) 1,53% C 0,27% Si 0,37% Mn  
 Dimenzije: 20x25x45 Popuščenje: 550 °C 11,3% Cr 0,84% Mo 0,97% V  
 0,18% Ni 0,18% Cu 0,027% S

Ozn. probe	D <sub>1</sub>		D <sub>2</sub>		D <sub>3</sub>		D <sub>4</sub>	
	HRC	Odtisek v mm	HRC	Odtisek v mm	HRC	Odtisek v mm	HRC	Odtisek v mm
100	58,0	1,48	56,0	1,52	58,0	1,56	58,0	1,52
200	56,0	1,55	55,5	1,47	54,5	1,48	56,0	1,50
300	54,0	1,60	55,0	1,62	55,5	1,60	55,0	1,64
400	53,0	1,52	52,0	1,64	53,0	1,43	53,0	1,58
500	53,5	1,70	52,0	1,70	51,0	1,65	51,5	1,68
600	37,0	1,92	36,0	1,86	36,0	2,05	33,0	2,00

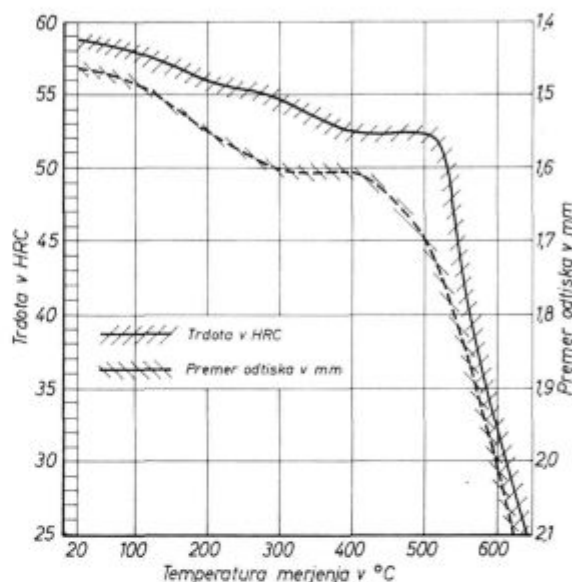


Slika 6:  
Rezultati meritev za jeklo Č.4850 OCR 12 VM

nje z zadostno natančnostjo za potrebe fazne kontrole in potrebe raziskovalnih ocen praktične uporabnosti jekel v določenih temperaturnih območjih. Aparat bo po določenih manjših izboljšavah zelo koristno služil industrijskim raziskovalnim potrebam v laboratorijih in obratih.

Č. 4754 (CRV) Žarjenje: 840 °C Kemijska sestava:  
 Šarža: neznana Kaljenje: 1020°C(olja) 0,92% C 0,54% Si 0,53% Mn  
 Dimenzije: 20x25x45 Popuščenje: 550 °C 10,1% Cr 1,01% Mo 0,29% V  
 0,24% Ni 0,19% Cu

Ozn. probe	E <sub>1</sub>		E <sub>2</sub>		E <sub>3</sub>		E <sub>4</sub>	
	HRC	Odtisek v mm	HRC	Odtisek v mm	HRC	Odtisek v mm	HRC	Odtisek v mm
100	58,5	1,35	58,0	1,52	58,0	1,42	57,0	1,48
200	56,0	1,56	53,0	1,54	56,0	1,42	56,5	1,54
300	54,0	1,60	54,5	1,65	56,0	1,60	55,5	1,54
400	52,0	1,55	52,5	1,58	51,0	1,60	54,0	1,60
500	54,0	1,70	52,0	1,70	53,0	1,65	53,0	1,70
600	35	2,00	39,0	2,00	32,0	2,10	38,0	2,15



Slika 7:  
Rezultati meritev za jeklo Č.4754-CRV.

#### Literatura:

1. Kovač J.: Diplomski rad, Sisak, 1972
2. Rabbe P., M. Pascal, P. Mailhos: Emploi de la dureté a chaud pour caractériser la tenue a chaud des aciers spéciaux.
3. Akuliničev EV., G. V. Sutivin, V. G. Lobickij, A. N. Akuliničeva: »Gorjačaja tvrdost« naplavnoga instrumenta, MITOM, 1971/2.

### ZUSAMMENFASSUNG

Die Härtebestimmung bei höheren Temperaturen ist bei den Warmarbeitsstählen sehr wichtig. Die Messverfahren sowie teure Messgeräte für Härtemessungen bei höheren Temperaturen sind bekannt. Bei der Vorschungsarbeit auf dem Gebiet der Warmarbeitsstähle ist es oftmals nötig, Vergleichsuntersuchungen an verschiedenen Stahlsorten mit verschiedener Wärmebehandlung, Härtemessungen bei höheren Temperaturen durchzuführen. Unsere Aufgabe war es nicht Methoden für exakte Härte-

messungen und Bestimmungen der absoluten Härtewerte durchzuführen, sondern ein einfaches Verfahren für vergleichende Härtemessungen zu entwickeln, welches im Laboratorium wie auch im Betrieb angewendet werden könnte.

Im Artikel ist ein solches einfaches Messgerät beschrieben. Auch einige Vergleichsmessungen für die Bewertung der Anwendbarkeit sind angegeben.

### SUMMARY

Hardness tests at higher temperatures are very important for tool steels used for hot working tools. Methods and expensive apparatuses for hardness measurements at high temperatures are known. Investigations with tool

steels for hot working often demand comparative tests of various steel qualities and various heat treatments with hardness measurements at high temperatures. Our intention was not to develop a method of exact hardness mea-

surement or obtaining absolute values but to develop a possibility of comparative hardness determination in a simple way acceptable in a laboratory or in a plant.

The paper describes such a simple set-up and gives some comparable measurements to confirm its applicability.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Определение твёрдости при повышенных температурах инструментальных сортов стали предназначенных для изготовления инструментов для горячей работы имеет весьма большое значение. Методы и дорогие приборы для определения твёрдости в горячем состоянии известны. При лабораторном исследовании в области инструментальных сталей для горячей работы часто встречаемся с необходимостью сравнительного испытания разных сортов стали и разных способов термической обработки, с изме-

рениями твёрдости и определения абсолютных величин, а развить возможность простого способа сравнительного определения твёрдости, способа которого можно употребить не только в лабораторном исследовании, но также в либо каком производственном предприятии. Дано описание такого несложного прибора и, чтобы дать оценку метода, приведены несколько примеров сравнительных измерений твёрдости.





# VATROSTALNA

PREDUZEĆE ZA PROJEKTOVANJE, IZGRADNJU I REMONTE INDUSTRIJSKIH PEĆI, PROJEKTOVANJE I IZGRADNJU INDUSTRIJSKIH DIMNJAKA, HLADNJAKA I VODOTORNJEVA I PROIZVODNJU VATROSTALNIH I EGZOTERMNIH MATERIJALA — ZENICA, Moše Pijade 42, BiH, Jugoslavija

»VATROSTALNA« ZENICA

OOUR: ZAJEDNICKE DJELATNOSTI PREDUZEĆA

a) Generalna direkcija preduzeća »VATROSTALNA« ZENICA, Moše Pijade br. 42.

Poštanski fah: 117

Telefoni: 21-727, 21-666, 21-734, 21-640

Pozivni broj: 072

Telex: 43-137

Telegram: »VATROSTALNA« ZENICA

Tekući račun: 12300-601-224, SDK ZENICA

b) Komercijalno-tehnički biro Beograd, Dj. Djakovića 88.

Telefon: 768-388

Pozivni broj: 011

Telex: 11-389

c) Sektor za razvoj i investicije i Sektor rudarstva, Zenica, Moše Pijade 42

Telefon: 21-727, 21-666

Pozivni broj: 072

Telex: 43-137

*Rudnici magnezita:*

»KONJUH« — Kladanj, BiH

Telefon: 20 — pozivni broj: preko 900

»SNJEGOTINA« — Čelinac, BiH

Telefon: Preko generalne direkcije 21-727, 21-666

»BLATNICA« i »OSVE« — Teslić, BiH

Telefon: 74-000 — pozivni broj: 074

PREDUZEĆE U INOSTRANSTVU

»VATROSTALNA-WEST« — 465 Gelsenkirchen,

Wildenbruchstrasse 27, Deutschland

Telefon: 65-200 i 65-258 — poz. broj: 02-322

Telex: 03 824-803

»VATROSTALNA« ZENICA

OOUR: OPERATIVNO-TEHNICKI SEKTOR Br. 1

ZENICA, Moše Pijade 42.

*Gradilišta i skladišta:*

ZENICA:

Telefon: 21-727, 21-666 lokal 007 ili  
21-368, 21-244 lokal 878

Poz. br.: 072

Telex: 43-137

ILIJAS:

Telefon: 70-026 — pozivni broj: 071

Telex: 41-127

VARES:

Telefon: 75-002 — pozivni broj: 071

Telex: 41-147

NIKSIC:

Telefon: 23-22 — pozivni broj: 083

Telex: 61-120

TITOGRAĐ:

Telefon: 23-775 — pozivni broj: 081

Telex: 61-114

»VATROSTALNA« ZENICA

OOUR: OPERATIVNO-TEHNICKI SEKTOR Br. 2

JESENICE, Savska cesta 6.

JESENICE:

Telefon: 81-743 i 81-798

Poz. br.: 064

Telex: 34-577

*Gradilišta i skladišta:*

RAVNE:

Telefon: 86-238 — poz. broj: 062

Telex: 33-114

STORE:

Telefon: 77-010 — poz. broj: 063

Telex: 33-518

CELJE:

Telefon: 33-14 — poz. broj: 063

»VATROSTALNA« ZENICA

OOUR: OPERATIVNO-TEHNICKI SEKTOR Br. 3

SMEDEREVO-RADINAC, Pošt. fah 72.

Telefon: 881-707 — poz. broj: 902

Telex: 12-397

*Gradilišta i skladišta:*

SKOPJE:

Telefon: 62-516 — poz. broj: 091

Telex: 51-136

TITOV VELES:

Telefon: 21-566 — poz. broj: 093

Telex: 53-439

»VATROSTALNA« ZENICA

OOUR: OPERATIVNO-TEHNICKI SEKTOR Br. 4

SISAK — SISAK PREDGRADJE, Poštanski fah 3.

Telefon: 22-747 — poz. broj: 044

Telex: 23-617

»VATROSTALNA« ZENICA

OOUR: INZENJERING I, PROJEKTOVANJE, IZGRADNJA

I MODERNIZACIJA INDUSTRIJSKIH PEĆI — ZENICA

M. Pijade 42 i Beograd Dj. Djakovića 88

ZENICA:

Telefon: 21-727 i 21-666 poz. br. 072

Telex: 43-137

BEOGRAD:

Telefon: 762-544 — poz. broj: 011

Telex: 11-489

»VATROSTALNA« ZENICA

OOUR: INZENJERING II, PROJEKTOVANJE I IZGRADNJA

INDUSTRIJSKIH DIMNJAKA, VODOTORNJEVA I

HLADNJAKA BEOGRAD — Djure Djakovića 88.

BEOGRAD

Telefon: 762-544 — poz. broj: 011

Telex: 11-489

»VATROSTALNA« ZENICA

OOUR: SEKTOR ZA PROIZVODNJU VATROSTALNOG I

EGZOTERMNOG MATERIJALA — BUSOVAČA — BiH

— Tvornica vatrostalnog materijala — Busovača

— Tvornica egzotermnog materijala — (izolacionih ploča,

lunkerita i posipa) Busovača,

— Rudnici gline i kvarca — Klokoti

BUSOVAČA:

Telefon: 72-154 i 72-156 — poz. br. 072

Telex: 43-137

# Odlomki iz raziskovalnega dela slovenskih železarn

- Ogrevanje kolobarjev**

Brudar Božidar, mag. inž. fizike, 64270 Jesenice, Bokalova 11

Matematični model ogrevanja in ohlajanja kolobarjev s sevanjem z notranje in zunanje strani. Izdelan računski primer s pomočjo računalnika. Možnost pospešenega žarjenja in ohlajanja pločevine v vakuumu.

Raziskovalni oddelek Železarna Jesenice, 1973, s. 20, tipkopi, slov. jezik, cit. lit. 1
- Elektroda PK 13/6. — Novi dodatni material za varjenje feritno-martenzitnih jekel**

Mesec Ivan, dipl. inž. kemije, 64274 Žirovnica, Breg 19

Rezultati preiskav čistih varov varilnih elektrod PK 13 z vsebnostjo 13 % Cr in PK 13/6 z vsebnostjo 13 % Cr in 4–6 % Ni. — Opisane so možnosti uporabe za varjenje in navarjanje jekel, ki se uporabljajo v vodno-energetske namene.

Železarski zbornik 7, 1973, 1, s. 43–51, slov. jezik, cit. lit. 4
- Izdelava in preiskava varilne žice VAC-65 za varjenje v zaščiti CO<sub>2</sub>**

Mesec Ivan, dipl. inž. kemije, 64274 Žirovnica, Breg 19

Preiskave mehanskih in kemijskih lastnosti varilnih žic pri uporabi CO<sub>2</sub> kot zaščitne atmosfere, namenjenih za varjenje tanjših dimenzij pločevin in razna popravila.

Železarna Jesenice, raziskovalni oddelek, 1973, tipkopi, s 6, slov. jezik
- Analiza odvisnosti mehanskih lastnosti Niovala 47 od kemične analize**

Brudar Božidar, mag. inž. fizike, 64270 Jesenice, Bokalova 11

Regresijska odvisnost trdnosti in žilavosti Niovala 47 od kemične analize (vplivni faktorji).

Raziskovalni oddelek Železarne Jesenice, 1973, s. 7, tipkopi, slov. jezik
- Odkrivanje površinskih napak na paličastem jeklu s pomočjo vrtničnih tokov**

Brudar Božidar, mag. fizike, inž., 64270 Jesenice, Bokalova 11

Porazdelitev magnetnega polja in vrtničnih tokov v pali. Nakazani so problemi pri delu z defectotomatom 2189 Instituta dr. Förster

Raziskovalni oddelek Železarna Jesenice, 1973, s 58, tipkopi, slov. jezik, cit. lit. 13
- Poskus obratovanja plavža št. 1 in št. 2 z bazičnim sintrom in kosovno prano rudo iz Ljubije**

Pavliček Aleksander, dipl. inž. metalurgije, 64270 Jesenice, Titova 3

Obratne tehnične razmere, tehnološki parametri, med poskusom. Poskus pri redni proizvodnji grodlja. Znižana poraba koksa in mazuta pri zvišani proizvodnji grodlja Redni program 1974.

Raziskovalni oddelek Železarna Jesenice, 1973, tipkopi, s 8, slov. jezik
- Poskus uporabe brazilske rude Itabira na plavžu št. 2 v juniju in juliju 1973**

Pavliček Aleksander, dipl. inž. metalurgije, 64270 Jesenice, Titova 3

Obratne tehnične razmere, laboratorijski izidi preiskave Itabire, tehnološki parametri pred in med poskusom s kosovno rudo Itabira v vsipu in z mletu rudo Itabira v vsipnem sintru. Pri redni proizvodnji grodlja. Prihranek koksa za 14 % in 9 %.

Raziskovalni oddelek Železarna Jesenice, 1973, tipkopi, s 12, slov. jezik
- Izdelava in preiskava varilne žice VAC-60 CuNi za varjenje v zaščiti CO<sub>2</sub>**

Mesec Ivan, dipl. inž. kemije, 64274 Žirovnica, Breg 19

Rezultati preiskav mehanskih in kemijskih lastnosti varilnih žic, prirejenih za uporabo CO<sub>2</sub> kot zaščitne atmosfere — namenjene za varjenje jekel obstojnih proti atmosferski koroziji.

Raziskovalni oddelek Železarna Jesenice, 1973, tipkopi, s. 14, slov. jezik
- Poročilo o predelavi in mehanskih lastnostih jekla kvalitete Č 0361 s povišanim % Mn**

Lagoja Aleš, inž. metalurgije, 64270 Jesenice, Titova 22

Vpliv temperature navijanja TVT na strukturo in mehanske lastnosti. Metalografske preiskave, preiskave mehanskih lastnosti. Najugodnejša struktura in sposobnost upogibanja ima TVT, če je temperatura navijanja med 580 in 620° C.

Raziskovalni oddelek Železarne Jesenice, 1973, s 9, tipkopi, slov. jezik
- Vpliv spremljajočih elementov na sposobnost predelave in lastnosti patentirane žice**

Jezeršek Aleksander, dipl. inž. metalurgije, 64270 Jesenice, Aljaževa 14 a

Lab. in industr. preiskave, fizikalne in metalografske preiskave. Možnost uporabe v industr. obsegu pri predelavi žice.

Metalur. inšt. Ljubljana 1973, tipkopi, s 38 + 27, slov. jezik, c. 1.22
- Vpliv povečane vsebnosti ogljika in kositra na notranje trenje in žilavost**

Brudar Božidar, mag. inž. fizike, 64270 Jesenice, Bokalova 11

Poskus je bil faktorsko planiran. Izmerjene histerezne zanke (notranje trenje) in žilavost pri vzorcih v odvisnosti od vsebnosti kositra in ogljika. Z analizo variance in metodo ortogonalnih polinomov so bili ugotovljeni vplivi na notranje trenje in žilavost. Izpeljava formule, po kateri se iz histerezne zanke izračuna notranje trenje.

Raziskovalni oddelek Železarna Jesenice, 1973, s 25, tipkopi, slov. jezik

12. Statistična analiza vsebnosti oligoelementov v letih 1972 in 1973

Brudar Božidar, mag. inž. fizike, 64270 Jesenice, Bokalova 11

Srednje vrednosti in standardni odkloni v vsebnostih elementov Cu, Cr, Sn, Ni pri kvalitetah, kjer teh elementov namensko ne dodajamo. Analiza posebej za elektro in martinarsko jeklo. Primerjava z rezultati prejšnjih let.

Raziskovalni oddelk Zelezarna Jesenice, 1973, s 20, tipkopis, slov. jezik

13. Toplotne razmere pri varjenju

Brudar Božidar, mag. inž. fizike, 64270 Jesenice, Bokalova 11

Razširjanje toplote pri trenutnem točkovnem, linijskem in ravninskem izvoru toplote. Model počasnega in hitrega navarjanja na polneskončno telo, model sočelnega varjenja pločevin z enim varkom. — Računalniški program (FORTRAN IV), praktični primer počasnega varjenja pločevin, navodila za uporabo programa.

Raziskovalni oddelk Zelezarna Jesenice, 1974, s 23, tipkopis, slov. jezik, cit. lit. 1

## Strokovna srečanja

Letošnje Jesensko srečanje in XVII. strokovno posvetovanje strokovnjakov iz podjetij črne in barvne metalurgije Slovenije bo kot vsako leto v Portorožu in to

3. in 4. OKTOBRA 1974.

Metalurški inštitut vabi strokovnjake, da na posvetovanju sodelujejo s predavanji iz aktualne problematike slovenskih metalurških podjetij.

Uvodoma bomo na posvetovanju pregledali rezultate raziskovalnega dela našega področja v preteklem letu ter v skladu z verificiranim raziskovalnim programom sprejeli načrt dela za leto 1975.

Prisrčno vabimo kolege, da se posvetovanja udeležijo v čim večjem številu.

## Društvene vesti

### Ali je možno ustanoviti enotno revijo metalurške, rudarske in geološke stroke Slovenije?

Andrej PAULIN, podpredsednik ZRGMIT-SRS.

Na področju SRS izhaja vedno več revij, ki zajemajo metalurško, rudarsko in geološko stroko, kot so: Rudarsko-metalurški zbornik (RMZ), ki ga izdaja Fakulteta za naravoslovje in tehnologijo, Zelezarski zbornik (ZZ), ki ga izdajajo slovenske železarne ter Metalurški inštitut, Livarski vestnik, ki ga izdaja Društvo livarjev, ter Geologija, ki jo izdaja Geološki zavod, Geološko društvo in Inštitut za geologijo. Nedvomno je Slovenija premajhna za takšno drobitev.

Od prej naštetih revij je Livarski vestnik namenjen nižjemu nivoju, Geologija pa je specializirana.

Glede na to, da obstoja enotno strokovno društvo rudarskih, geoloških in metalurških inženirjev in tehnikov, ki mimogrede povedano nima svojega glasila ter ni udeleženo pri nobeni od prej omenjenih revij, se postavljata pri združevanju revij dve bistveni vprašanji:

1. Ali naj izhaja enotna revija RGM stroke v SRS

2. Ali naj izhajata dve reviji, ena metalurška in druga rudarsko-geološka.

Ker sta Livarski vestnik in Geologija preozko specializirani reviji, bi bila v prvi fazi primerna le združitev RMZ in ZZ. ZRGMIT SRS je dala pobudo za razgovore predstavnikov uredniških odborov obeh revij o tem vprašanju. Uredniški odbor RMZ ter Oddelek za montanistiko ne želita cepiti RMZ, medtem ko Odsek za metalurgijo podpira ustanovitev enotne metalurške revije, če pri tem ne bi trpela šola, saj je RMZ dejansko glasilo šole, in da ne bi to pomenilo cepitve Oddelka za montanistiko. Na drugi strani pa uredniški odbor ZZ podpira le ustanovitev

enotne metalurške revije. Obe reviji izdajata letno po okoli 200 strani člankov velikega formata revije, delež metalurških člankov v RMZ pa je 55 do 60, včasih celo več odstotkov. Pri eventualnem združenju bi bilo treba obdržati kvaliteto prispevkov kot je v RMZ, ki je postala zaradi svojih angleških izdaj svetovno priznana revija. Tudi financiranje obeh revij se bistveno razlikuje. Medtem, ko stroške izdajanja RMZ krije deloma naročnina (55%), deloma pa prodaja knjig, ki jih RMZ dobi v recenzijo, krijejo stroške izdajanja ZZ in MI, ki odkupijo za svoje člane kolektiva določeno število izvodov. Letni stroški (leto 1972) posamezne revije se gibljejo okoli 160.000 din. Združena revija bi istočasno postala tudi glasilo Zveze rudarskih, geoloških in metalurških inženirjev in tehnikov Slovenije.

V zvezi s prej omenjenimi dejstvi je ZRGMIT SRS postavila metalurškim, rudarskim in geološkim podjetjem in ustanovam naslednji vprašanji:

1. Ali ste za enotno revijo RGM stroke ali za dve reviji, metalurško in rudarsko-geološko?

2. Ali ste pripravljeni podpreti revijo ali reviji finančno ter s prispevki znanstvenega, strokovnega ali informativnega značaja?

da bi se pokazala mišljenja slovenske bazične industrije o tem strokovnem tisku, predno bi se pogovori o združevanju revij RGM stroke v Sloveniji nadaljevali.

S tem pa prosim vse bralce, da svoje osebne pripombe ali mišljenja večjih skupine pošljejo Zvezi rudarskih, geoloških in metalurških inženirjev in tehnikov (Ljubljana, Erjavčeva 15).



**SPLOŠNO GRADBENO PODJETJE**

**sava**

**J E S E N I C E  
N A G O R E N J S K E M**

UPRAVA: JESENICE, C. MARSALA TITA 16 —

Telefon: h. c. 81-741

Izvajamo in adaptiramo vse vrste gradenj: visoke, nizke in industrijske



Združeno podjetje za  
distribucijo električne  
energije Slovenije  
**ELEKTRO KRANJ**

DISTRIBUTIVNA ENOTA

**ŽIROVNICA**

P. ŽIROVNICA

TELEFON 89-413

**DES — TOZD Elektro Žirovnica**

oskrbuje potrošnike z električno energijo in gradi ter vzdržuje elektroenergetske  
naprave na svojem področju

TRGOVSKO PODJETJE NA VELIKO IN MALO



**universal**

C. MARSALA TITA 1

TELEFON:

h. c. 81-941, dir. 81-995, sklad. 81-876, 81-484, 81-963

telex: 34-544

Skladišče Sp. Plavž

Industrijski tir



telefon h. c. 22-035  
22-036  
22-037  
22-064  
22-072

poštni predal 59  
64001 — Kranj  
tek. račun Kranj  
515-1-39

- izvaja vsa gradbena dela industrijskih objektov, objektov družbenega standarda in gradi stanovanja za trg
- izdelava vseh vrst betonskih izdelkov
- izvaja ključavničarska, kleparska in mizarska dela
- projektira vse vrste visokih, nizkih in stanovanjskih objektov

Odgovorni urednik: Jože Arh, dipl. inž. — Člani Jože Rodič, dipl. inž., Viktor Logar, dipl. inž., 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 — Železarna Jesenice, 64270 Jesenice, tel. št. 81-231 int. 385 — Tisk: ČP »Gorenjski tisk«, Kranj