

# Opis, zagon in tehnološki rezultati VAD naprave v jeklarni II železarne Ravne

UDK: 669.187  
ASM/SLA: D8 m, D9 s

S. Petovar, A. Rozman, A. Lesnik

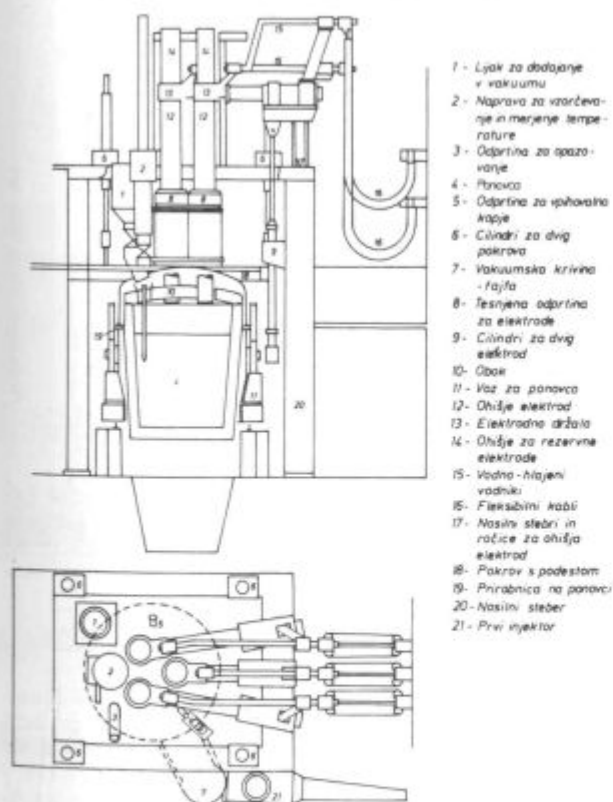
Aprila 1983 smo izdelali prve šarže na VAD napravi v jeklarni II. S tem se je pri nas začelo obdobje moderne jeklarske tehnologije, ki se je v svetu že dokaj uveljavila. S praktičnimi raziskavami ponovne metalurgije smo šele na začetku.

V članku so strnjeno navedeni opis in zagon VAD naprave ter rezultati, doseženi v obdobju poskusnega obratovanja VAD naprave.

## 1. OPIS IN ZAGON VAD NAPRAVE

### 1.1 Opis VAD naprave

VAD naprava je sestavljena iz ponovce, v kateri je možno obdelovati in degazirati jeklo s pomočjo specialnega pokrova. Grafitne elektrode so v posebnih vakuumsko tesnjenih teleskopskih ceveh, tako da lahko dogrevamo talino pri znižanem tlaku 600–750 mbarov. Mešanje taline je omogočeno z vpihovanjem argona ali dušika skozi šobo za prepihanje z inertnim plinom ob strani ponovce. Shemo naprave prikazuje slika 1.



- 1 - Ljok za oblažanje v vakuumu
- 2 - Naprava za vzorčevanje in merjenje temperature
- 3 - Odprtina za opazovanje
- 4 - Ponovca
- 5 - Odprtina za vpihovno šobo
- 6 - Cilindri za dvig pokrova
- 7 - Vakuumsko krivina - fajfa
- 8 - Tesnjena odprtina za elektrode
- 9 - Cilindri za dvig elektrod
- 10 - Obok
- 11 - Voz za ponovca
- 12 - Ohlajne elektrode
- 13 - Elektrode držalo
- 14 - Ohlajne za rezervne elektrode
- 15 - Vodno - hlajeni vodnik
- 16 - Fleksibilni kabli
- 17 - Nosilni slebri in ročice za ohlajne elektrode
- 18 - Pokrov s podestom
- 19 - Prirabnica na ponovca
- 20 - Nosilni steber
- 21 - Prvi injektor

Slika 1  
Shema VAD naprave

Fig. 1  
Scheme of the VAD set

Pokrov ponovce je pritrjen na podest, ki se dviga in spušča s pomočjo štirih hidravličnih cilindrov. Med obratovanjem se tesnilo na spodnjem delu pokrova stisne na prirobnico ponovce. Posebna naprava omogoča merjenje temperature in jemanje vzorcev za kemično analizo med vakuumiranjem. Na pokrovu je še odprtina za opazovanje gibanja taline med degazacijo in za vpihovanje prašnatih materialov (CaSi, C, FeS). V našem primeru 45-t-ponovce je moč transformatorja 8 MVA. Ponovca je obzidana z visokoaluminatno opeko, v žilindrini coni pa s krommagnezitno opeko. Pokrov ponovce je tudi obzidan z visokoaluminatno opeko in plast-betonom enake kvalitete.

### 1.2. Zagon VAD — naprave

Za zagon VAD — naprave smo v Železarni Ravne določili strokovni tim ki je imel poleg odgovornosti tudi vse potrebne pristojnosti za uspešno uvajanje naprave, tehnologije in šolanje strokovnjakov.

Zagon smo razdelili v tri glavne faze:

1. Šaržo naj bi dokončali v peči, mi pa bi preizkusili prelivanje, prepihanje z argonom, dogrevanje, merjenje temperature, jemanje vzorcev ter delni vakuum do 600 mbarov.

2. Drugi korak bi bile vse prej naštetje operacije, dodali pa smo legiranje in razžveplanje.

3. Pri tretji fazi naj bi se ponovile operacije prejšnjih dveh, s tem, da dodamo degazacijo in legiranje v vakuumu.

Odločili smo se tudi, da posameznih faz ne bomo preskakovali. Dokler vse operacije, določene s prvo fazo, ne uspejo, ne začnemo druge.

Za idealen zagon bi torej zadostovale tri šarže, narkar bi lahko prešli na izdelavo šarž, ki so bile določene s prevzemnimi pogoji.

S prvim preizkusom smo začeli 15. 4. 1983. Jeklo smo iz peči prelili v prelivno ponovco, iz prelivne pa v vakuumsko. Že med prelivanjem smo začeli s prepihanjem. Ko je bilo prelivanje končano, smo ponovco prepeljali pod vakuumski pokrov, vzpostavili delni vakuum in poizkusili z dogrevanjem. Zaradi napake v krmiljenju se je električni oblok vzpostavil samo z dvema elektrodama. Po hitri intervenciji naših vzdrževalcev smo napako odpravili in pričeli z normalnim dogrevanjem.

Po dogrevanju smo izmerili temperaturo in poizkusili vzeti vzorec. Po treh brezuspešnih poizkusih jemanja vzorca smo dvignili pokrov in odpeljali ponovco na litje.

Prvo fazo zagona je bilo treba torej zaradi neuspelega jemanja vzorcev ponoviti.

Tudi pri drugem poizkusu nam ni uspelo jemanje vzorcev. Kartuše za jemanje so bile namreč predolge in kljub nastavitvi avtomatike v skrajno lego nam ni uspe-

lo. Nato smo skrajšali kartuše in pri tretji šarži uspešno vzeli vzorec.

Sedaj smo lahko prešli na drugo fazo zagona.

Šaržo smo legirali in razžveplali brez večjih težav, vendar smo zaradi večje zanesljivosti izdelali še eno. Ko tudi tu nismo imeli težav smo prešli na tretjo fazo zagona, torej degazacijo in legiranje v vakuumu.

Pri tej fazi zagona so se pojavile prve resnejše težave. Tlak ni nikakor padel pod 2,0 mbar. Predstavniki Heurty-ja je trdil, da je kriva prenizka temperatura pare in zaradi tega prevelika količina kondenzata. Po nastavitvi vode za kondenzacijo pare in zatesnitvi argonske šobe pa je pri desetem poizkusu le padel pod 1,3 mbar in končali smo še zadnjo fazo zagona, tako da smo lahko prešli na izdelavo šarž, ki so bile določene s prevzemnimi pogoji. Za vroče testiranje naprave smo porabili petnajst dni.

## 2. TEHNOLOŠKI REZULTATI MED POSKUSNIM OBRATOVANJEM VAD — NAPRAVE

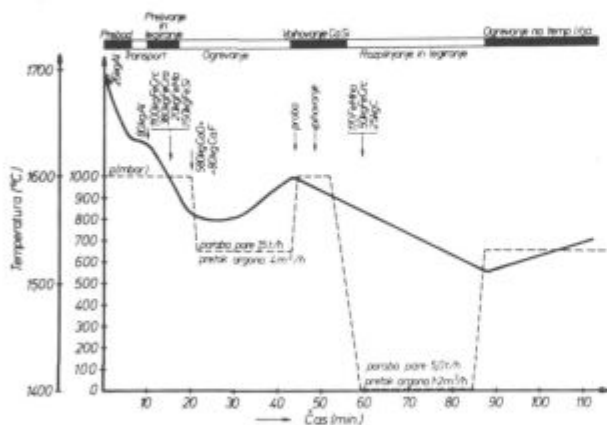
### 2.1. Tehnologija VAD

Tehnološki postopek ponovčne metalurgije v Železarni Ravne sestavljajo naslednje faze:

- raztalitev vložka
  - razfosforenje
  - oksidacija
  - legiranje
  - dogrevanje
  - razžveplanje
  - razplinjanje
- } v EOP
- } v VAD — napravi

Jeklo, raztaljeno in oksidirano v EOP, skupaj z žlindro izlijemo v prenosno ponovco. Iz prenosne ponovce prelijemo jeklo skozi zasusko zapiralo z velikim premerom izlivka v ponovco za obdelavo. Žlindra iz EOP ostane v prenosni ponovci. Med prelivanjem dodamo ferolegure in novo žlindro v delovno ponovco. Nato se ponovca zapelje pod pokrov. Obdelava poteka pri delnem vakuumu. Fazi dogrevanja in premešavanja z argonom lahko, če je potrebno, sledi degazacija pri 1,3 mbar.

Primer obdelave Cr-Mo konstrukcijskega jekla je prikazan na sliki 2.



Slika 2  
Primer obdelave z razplinjanjem in vpihovanjem CaSi  
Fig. 2  
A case of treatment by degassing and CaSi injection

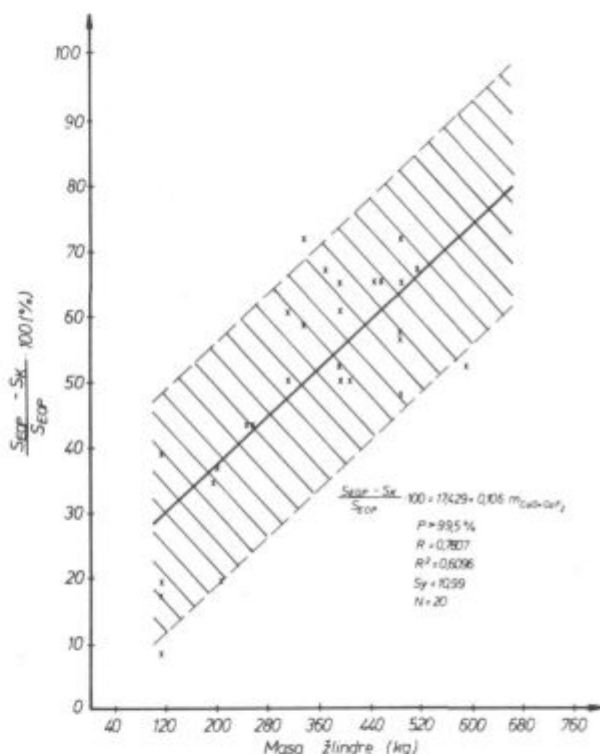
## 2.2. Metalurški rezultati

### 2.2.1. Razžveplanje in razplinjanje jekla

Možnost ogrevanja taline v ponovci omogoča poleg ostalega tudi učinkovito razžveplanje. Uporabljamo dva načina razžveplanja:

- razžveplanje z bazično žlindro (CaO + CaF<sub>2</sub>),
- razžveplanje z bazično žlindro (CaO + CaF<sub>2</sub>) in vpihovanjem CaSi.

Pri prvem načinu razžveplanja (slika 3) dosegamo v odvisnosti od količine dodane žlindre (4 — 15 kg/t) stopnje razžveplanja med 40 — 80 %. Drugi način razžveplanja (slika 4) uporabljamo pri jeklih, kjer se zahtevajo izredno nizke vsebnosti žvepla (S < 0,010 %). Stopnje razžveplanja, ki jih dosegamo pri tem načinu, se gibljejo med 75 in 95 %.

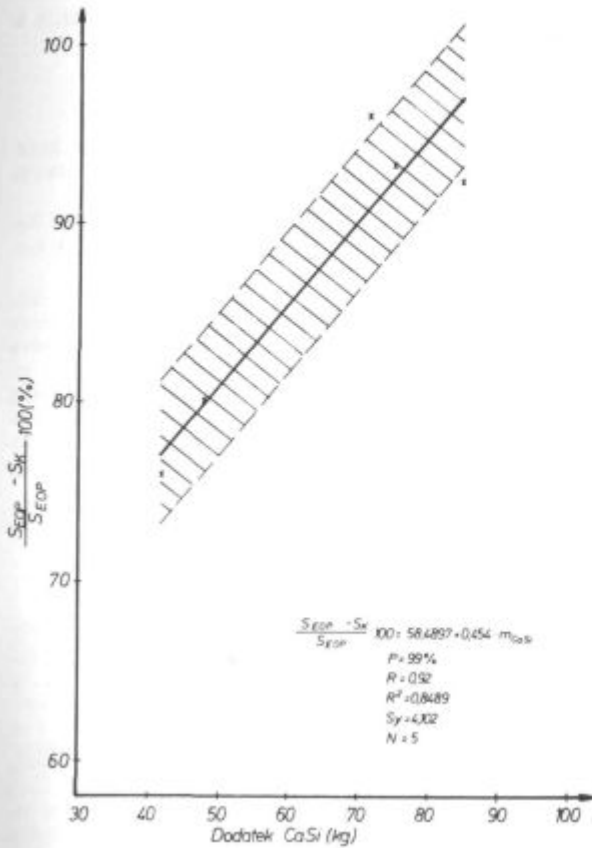


Slika 3  
Razžveplanje med razplinjanjem  
Fig. 3  
Desulphurisation during degassing

Vakuumska ponovčna peč omogoča degazacijo pri pritisku manj kot 1,3 mbar. Časi degazacije se gibljejo med 10 in 30 minutami, odvisno od kvalitete jekla in od končnih dimenzij kovaških izdelkov. Dosegamo vsebnosti vodika pod 2 ppm.

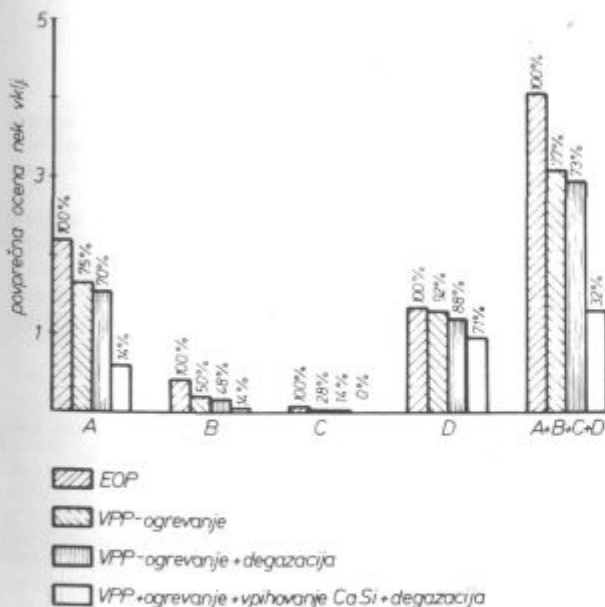
### 2.2.2. Čistoča jekla

Jeklo, obdelano v ponovci pod vakuumom, je čistejše od klasično izdelanega jekla. Glavni dejavnik pri tem je vsekakor mešanje taline z inertnim plinom (Ar ali N<sub>2</sub>). Naredili smo primerjavo čistosti talin, izdelanih v poskusnem obratovanju VAD naprave po različnih tehnologijah. Histogram na sliki 5 prikazuje rezultate za jeklo EC 80 (Č. 4320).



Slika 4  
Razžveplanje z vpihovanjem CaSi

Fig. 4  
Desulphurisation by the CaSi injection



Slika 5

Povprečna ocena nekovinskih vključkov po JK ASTM metoda A za Č. 4320

Fig. 5

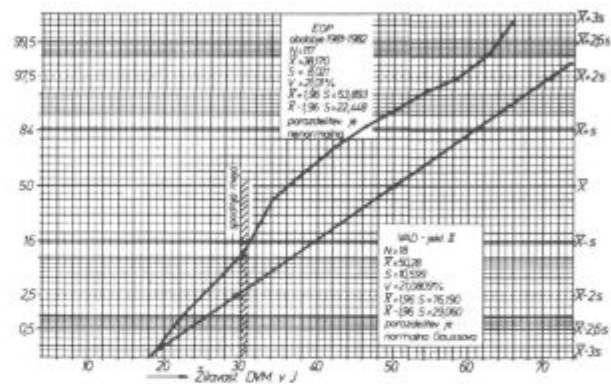
Average estimation of non-metallic inclusions in Č. 4320 steel by JK ASTM, Method A.

Najmanj vključkov smo dobili v jeklu, ki smo ga obdelali v VAD napravi z vpihovanjem CaSi za razžveplanje. Na splošno so vključki v vakuumiranem jeklu z večjo vsebnostjo S zelo kratki in tanki ter jih je manj kot pa v jeklu, izdelanem v EOP, ki ima manj S. Največje zmanjšanje je pri sulfidnih in aluminatnih vključkih, nekoliko slabše pa pri grobih oksidnih vključkih, tipa D. Teh vključkov je manj in so grobi. To je posledica reoksidacije jekla med litjem. Z ustrezno tehnologijo se da doseči izredno čisto jeklo, saj je v nekaterih primerih vsota vključkov A + B + C + D manjša od 2. To je rezultat zadostne dezoksidacije jekla, razžveplanja in razplinjanja ter intenzivnega mešanja taline.

2.2.3. Mehanske lastnosti jekla

Za vse kvalitete, ki jih že obdelujemo na VAD napravi, veljajo enake kvalitete zahteve za mehanske lastnosti, kot za klasično izdelano jeklo v EOP. Izjema je bilo le nekaj šarž, ki smo jih naredili za preverjanje sposobnosti naprave zaradi prevzemnih pogojev. Z novo tehnologijo smo spoznali, da se dajo mehanske lastnosti jekla izboljšati. Pomembno je, da je trosenje podatkov v večini primerov bistveno manjše od tistih podatkov za mehanske lastnosti jekla, izdelanega v EOP. Delež šarž z neustreznimi mehanskimi lastnostmi se je zmanjšal na minimum in v glavnem brez težav dosega mo predpisane mehanske lastnosti.

Pri jeklu Č. 7422, izdelanem v EOP, je do 20 % šarž s premajhno žilavostjo po slepem kaljenju. Porazdelitev podatkov za žilavost tega jekla za dvoletno obdobje na sliki 6 nam kaže, da okrog 15 % šarž ne ustreza predpisu. Minimalna žilavost je bila 22 J, maksimalna pa 64 J. Izračunana srednja vrednost znaša 38,17 J. Če te podatke primerjamo s podatki o žilavosti jekla Č. 7422, izdelanega na VAD napravi, vidimo, da je pri vseh 18 šaržah presežena predpisana minimalna žilavost 31 J, maksimalna pa 68 J ob izračunani srednji vrednosti 50,28 J. Trosenje teh podatkov na sliki 6 je sicer večje, vendar v smeri višje žilavosti, kar je za jeklo Č. 7422 ugodnejše.



Slika 6

Porazdelitev žilavosti za jeklo Č. 7422, izdelano v EOP in VAD

Fig. 6

Toughness distribution for Č. 7422 steel made in EOP and VAD

2.2.4. Hitrost ogrevanja in ohlajanja taline med obdelavo na VAD napravi

Hitrost ogrevanja je možno poljubno regulirati s pomočjo 17 napetostnih stopenj. Maksimalne dosežene

hitrosti ogrevanja so med 4 in 5°C/minuto. Za točno nastavitev temperature litja ( $\pm 5^\circ\text{C}$ ) je potrebno poznati še hitrost ohlajanja med razplinjanjem. Ta znaša v primeru, ko nismo dodajali dodatkov med razplinjanjem, ali pa smo jih dodali do 1 % teže taline, 1,5°C/minuto.

### 3. ZAKLJUČKI

1. Uspešno uvajanje ponovne tehnologije je rezultat timskega dela strokovnjakov z različnih področij, ki pa morajo biti dobro organizirani.

2. V decembru smo na VAD napravi obdelali 50 % vseh šarž jeklarne II. Potrebno je storiti vse, da se število obdelanih šarž čim prej dvigne na planiranih 80 %.

3. Z obdelavo jekel po kombiniranem postopku EOP in VAD dosegamo enakomernjšo kvaliteto naših jekel, kar nam daje možnost izboljšanja kvalitete in konkurence na zahodnem tržišču.

4. Kvalitetni asortiman je potrebno prilagoditi zmoglostim VAD naprave.

5. Z dobrim razplinjanjem jekel, ki so nagnjena k tvorbi kosmičev, smo uknili drago H<sub>2</sub>žarjenje.

### Literatura

1. A. Lesnik: Opis in zagon vakuumske ponovne peči, Referat na srečanju jeklarskih timov SŽ, Ravne na Koroškem, 21. septembra 1983.
2. A. Rozman: Osnove ponovne tehnologije v Železarni Ravne, Referat na srečanju jeklarskih timov SŽ, Ravne na Koroškem, 21. septembra 1983.
3. S. Petovar: Raziskovalno razvojno delo ob uvajanju in v nadaljnjem razvoju ponovne metalurgije, Referat na srečanju jeklarskih timov SŽ, Ravne na Koroškem, 21. septembra 1983.
4. A. Rozman in sodelavci: Tehnološke in proizvodne novosti v jeklarni Železarne Ravne — Uvajanje ponovne tehnologije po VAD postopku v jeklarni II., XXXII. jesensko posvetovanje strokovnjakov črne in barvne metalurgije ter livarstva Slovenije, Portorož, 6. in 7. oktobra 1983.
5. Interne raziskovalne naloge.

### ZUSAMMENFASSUNG

Ziel des vorliegenden Beitrages ist es nicht die erzielten Ergebnisse auf dem Gebiet der Stahlqualität der auf der VAD Anlage behandelten Stähle genauer darzugeben, sondern im kurzen durch die Modernisierung des Stahlwerkes des Hüttenwerkes Ravne erreichten Errungenschaften zu zeigen. Der Beitrag ist aus zwei Teilen zusammengesetzt. Im ersten Teil wird im kurzen die VAD Anlage und die Inbetriebnahme beschrieben. Im zweiten Teil werden die technologischen Ergebnisse, die während des Versuchsbetriebes erzielt worden sind angegeben.

Durch eine entsprechende Entschwefelungstechnologie ist ein Entschwefelungsgrad von 75 bis 95 % und ein sicherer

Schwefelgehalt unter 0,010 % erreicht worden. Der Wasserstoffgehalt fällt nach der Entgasung unter 2 ppm H<sub>2</sub> so, dass das Glühen zur Wasserstoffentfernung aufgehoben werden konnte. Die Reinheitsgradauswertung ergab für die Summe der Einschlüsse einen Wert nach JK und ASTM nach der Methode A kleiner als 2.

Wegen des besseren Reinheitsgrades und gleichmäßiger chemischer Zusammensetzung sind auch die erzielten mechanischen Eigenschaften der Stähle besser.

Wir geben uns die Mühe die Qualität unserer Stähle zu verbessern, um so den Forderungen unserer Kunden zu genügen.

### SUMMARY

The paper has not the intention to present the details on the obtained results in the field of quality of steels treated by the VAD set but it shows in a condensed form the achievements obtained by the modernization of the steel plant in Ravne Ironworks.

The presentation consists of two parts. The first one gives a short description of our VAD set and its start, while the technological results of the set during the trial operation are presented in the second part.

By corresponding desulphurisation technique the 75 to 95 % desulphurisation degree was obtained, and thus the sul-

phur content in steel was below 0.010 %. After a good degassing there was less than 2 ppm H<sub>2</sub> and thus H<sub>2</sub>-annealing was eliminated. A very pure steel was obtained (sum of inclusions by JK and ASTM A method was below 2).

Due to the more uniform chemical composition of steel and greater purity, better mechanical properties were achieved.

All efforts are made to improve the quality of our steel and thus to fulfil the demands of our purchasers.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Цель этой работы не состоит в том, чтобы привести точно полученные результаты что касается качества стали обработанной с VAD — устройством, а вкратце изложить овладения, полученные с модернизацией сталеплавильного цеха металлургического завода Железарна Равне.

Статья состоит из двух частей. В первой части дано короткое описание VAD — устройства в заводе Железарна Равне и пуск в ход этого устройства. В второй же части статьи приведены технологические результаты этого устройства, полученные во время пробной эксплуатации.

С соответствующей технологией обессеривания удалось уменьшить содержание серы на 75 до 95 % и, таким образом получить сталь с содержанием серы ниже 0,010 %. По-

сле соответственно хорошего отн. радикального удаления газов содержание H<sub>2</sub> в стали составляло ниже 2 ФИМ. Вследствии этого из-за низкого содержания водорода в стали H<sub>2</sub> — отжиг стали был отмечен. В результате в заводе Железарна Равне получена очень чистая сталь (сумма включений по JK и ASTM A методом была ниже значения 2).

Вследствии равномерного химического состава стали и его лучшей чистоты получены благоприятные механические свойства стали.

В дальнейшем стремление металлургического завода Железарна Равне состоит в улучшении качества сталей и таким образом вполне удовлетворить требованиям покупателей.