

Razporejanje jekla po dupleks postopku EO peč — VOD naprava

UDK: 669.187.036 : 620. A.

ASM: D8 m, Q29 m, Q6

A. Šteblaj, A. Ažman

UVOD

Z izgradnjo VOD naprave v jeklarni se je železarna Jesenice uvrstila med železarne z moderno sekundarno metalurgijo. Naprava je bila zgrajena za izdelavo:

- nerjavnih jekel
- dinamo in nizkoogljivih jekel
- jekel z garantirano količino plinov v jeklu.

Danes od jekla ne zahtevamo več samo pravilno kemično sestavo, ampak tudi garantirano količino plinov v jeklu. Takih jekel pred izgradnjo VOD naprave železarna ni mogla proizvajati. Zato se ji je z izgradnjo VOD naprave odprla tudi proizvodnja jekel z garantirano količino plinov v jeklu. Poleg tega pa se je povečal izkoristek jekel pri kvaletah, kjer so plini povzročali težave.

IZDELAVA JEKLA

Kemična analiza in uporaba jekla:

Jeklo se valja v pločevino, debeline 6—25 mm, in se ustrezno toplotno obdela. Kemična analiza jekla je razvidna iz tabele 1.

Tabela 1: Predpisana kemična sestava jekla

Element (%)										
C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Al	Sn	Mo	
0.20	0.90	1.10	maks.	maks.	0.75	maks.	0.025	maks.	0.30	
0.26	1.10	1.30	0.020	0.020	0.90	0.20	0.050	0.030	0.40	

Izdelava jekla v EO peči in VOD napravi:

Jeklo je izdelano po klasičnem dvožilndrnem postopku. Pregled posameznih stopenj izdelave jekla v peči in vakuumski napravi je prikazan na tabeli 2 in sliki 1.

Šaržo odlijemo s temperaturo 1720°C v dobro ogreto ponev (900—1000°C) skupaj s pečno žlindro. Ponev dvignemo na stojišče za posnemanje žlindre in ob pomoči argona posnamemo žlindro. Po snemanju žlindre postavimo ponev v vakuumsko komoro, priključimo argon in naredimo novo žlindro iz CaO in CaF₂. Pome-

rino temperaturo, ki je pred vakuumiranjem 1635—1640°C. Komoro pokrijemo in začnemo z evakuiranjem. Cilj je, da čim hitreje dosežemo globoki vakuum, to je pod 10 mbar. Te vrednosti dosežemo po petih do šestih minutah. Najnižji tlak, ki ga dosežemo, je okrog 1 mbar. V času vakuumiranja imamo argon odprt, da talino intenzivno premešava. Količina argona je okrog 100 l/minuto. V času vakuumiranja nam temperatura pada za okrog 1,5 do 2,5°C/minuto, odvisno od predgretja ponve in dodatkov. Prav zato je važna startna temperatura in dobra pregretost ponve, saj je od teh dveh parametrov direktno odvisen čas vakuumiranja jekla. Za normalno razplinjevanje jekla naj bi zadostovalo dvajsetminutno vakuumiranje in od tega minimalno deset minut v globokem vakuumu. V času vakuumiranja izvedemo še zadnjo korekturo vsebnosti Si in Al.

Ker v času vakuumiranja nimamo možnosti kontrolirati temperaturo, po dvajsetih minutah vzpostavimo normalni tlak in odpremo pokrov vakuumske naprave. Sledi kontrola temperature in kontrola kemične sestave jekla. Izvedemo morebitno korekturo kemične sestave jekla, in s pomočjo argona nastavimo pravilno livno temperaturo, ki je 1540°C. Ko sestava jekla in temperatura taline ustrežata zaželenim vrednostim, pokrijemo talino z izolacijskim praškom in začnemo vlivati jeklo.

REZULTATI RAZPLINJANJA

Plin v talini jekla:

V tekočem jeklu imamo prisotne pline, kot so dušik, vodik, kisik in ogljikov monoksid. Ti plini se različno obnašajo in imajo različne posledice na kvaliteto izdelanega jekla. Kisik pride v talino iz atmosfere, s pihanjem kisika med oksidacijo, z rudo in škajo, če ju dodajamo. Dušik pride iz atmosfere. Vodik nastaja z razkranjanjem vlage iz atmosfere, ferozlitin in snovi, ki jih dodajamo v peč. Ogljikov monoksid nastaja z oksidacijo ogljika.

Vodik v talini jekla:

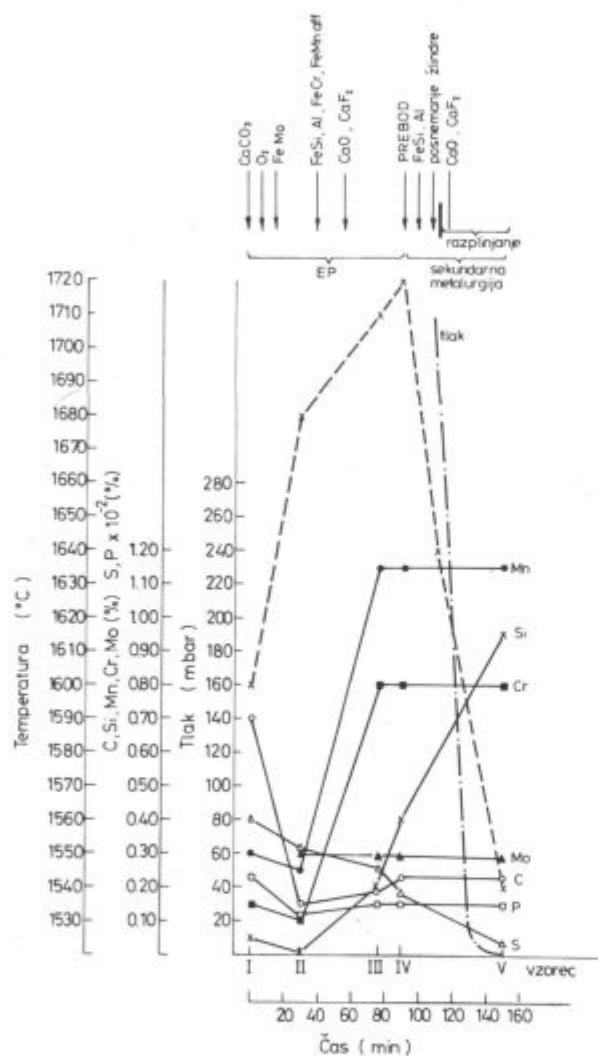
V raztaljenem stanju jeklo topi mnogo vodika. Topnost se močno zmanjša med strjevanjem, ohlajevanjem



70 1967/86

Tabela 2: Pregled posameznih faz izdelave jekla

Stopnja izdelave	Kemična sestava jekla (%)								Temperatura (°C)	D o d a t k i
	C	Si	Mn	S	P	Cr	Mo	Al		
1	0.70	0.05	0.30	0.040	0.023	0.15			1550	CaCO ₃ , ruda, O ₂ , FeMo
2	0.15	∅	0.25	0.032	0.012	0.12	0.30		1680	FeSi, Al, CaO, CaF ₂ , FeMn aff, FeCr aff
3	0.19	0.20	1.15	0.025	0.015	0.80	0.30	0.015	1720	C, FeSi
4	0.23	0.40	1.15	0.017	0.015	0.80	0.30	0.010	1635	FeSi, Al, CaO, CaF ₂
5	0.23	0.95	1.15	0.004	0.015	0.80	0.30	0.027	1540	



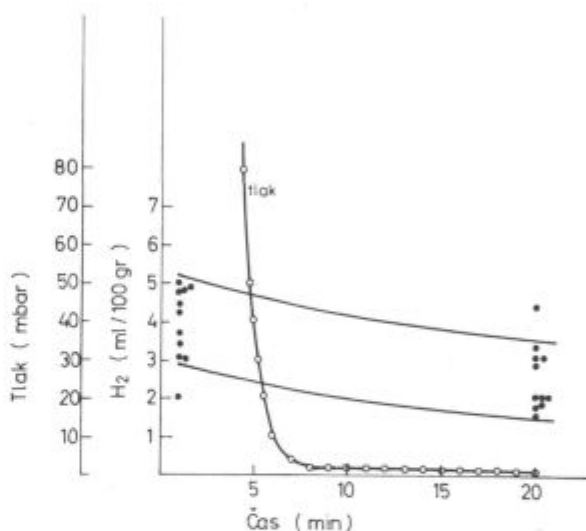
Slika 1
Pregled posameznih faz izdelave jekla po dupleks postopku EO-VOD

Fig. 1
Presentation of single steel manufacturing stages by the duplex EAF-VOD process

in prehodom iz gama v alfa strukturo. Zato vodik povzroča mnogo napak: mehurje, naraslo glavo bloka, raztrganine na valjancih in kosmiče. Prav zato je vodik nezaželen v jeklu in ga želimo čim bolj odstraniti iz taline jekla. To odstranjevanje vodika iz jekla nam je na VOD napravi omogočeno in rezultati, ki smo jih dosegli, so naslednji:

Ker v času vakuumiranja nimamo možnosti jemanja vzorcev jekla, smo vzeli vzorce pred vakuumiranjem in

po njem. Grafični prikaz rezultatov je na sliki 2. Povprečna vsebnost vodika pred vakuumiranjem je bila 3.94 ml/100 gr taline, po vakuumiranju pa 2.58 ml/100 gr taline. Povprečno smo odstranili 1.36 ml/100 gr taline ali 34.5 % vodika iz taline. Talina se je vakuumirala dvajset minut, s tem da je bila v globokem vakuumu več kot deset minut.



Slika 2
Rezultati odstranjevanja vodika
Fig. 2
Results of removing hydrogen

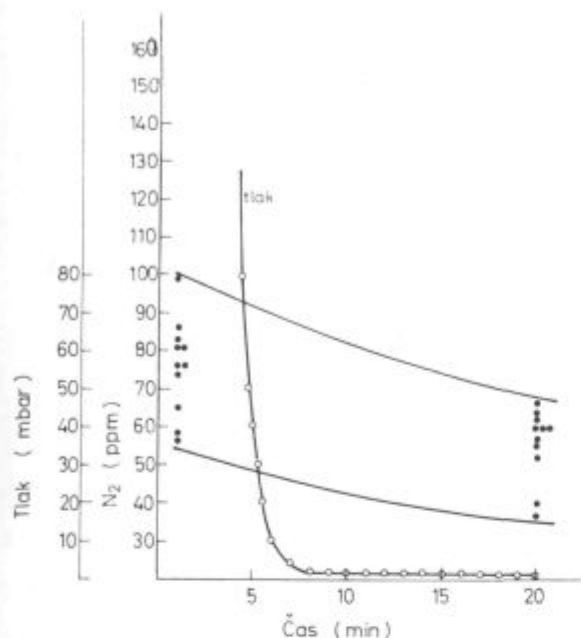
Dušik v talini jekla:

Podobno odvisnost topnosti od temperature kot pri vodiku najdemo tudi pri dušiku. Rezultati, ki smo jih dobili, so grafično prikazani na sliki 3. Povprečna vsebnost dušika pred vakuumiranjem je bila 69 ppm in po vakuumiranju 51 ppm. Torej se je povprečno odstranilo 18 ppm dušika ali 26 %. Vendar za našo kvaliteto jekla vsebnost dušika ni bistvena, ker ga v končni fazi še dolegiramo.

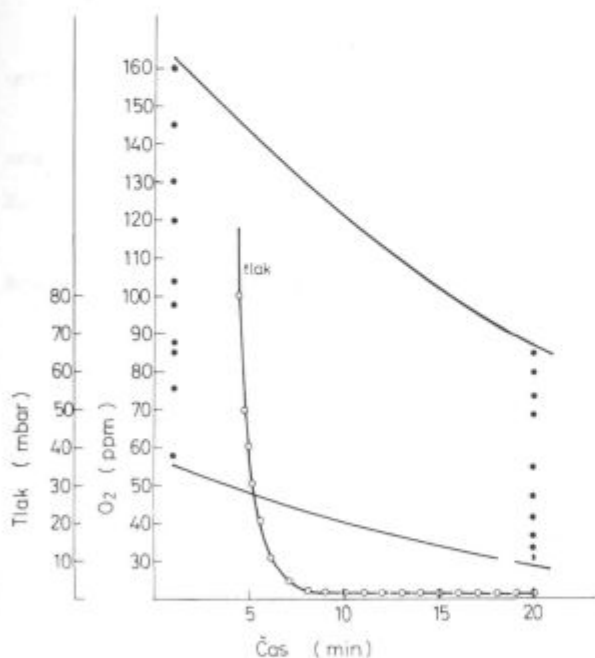
Kisik v talini jekla:

Rezultati odstranjevanja kisika so navedeni na sliki 4. Povprečna vsebnost kisika pred vakuumiranjem je bila 98 ppm in po vakuumiranju 55 ppm kisika. Torej smo odstranili 43 ppm ali 44 %.

Verjetno bi z daljšim časom vakuumiranja v globokem vakuumu dobili še boljše rezultate. Vendar si daljšega vakuumiranja nismo dovolili, ker ni bilo možno med vakuumiranjem kontrolirati temperature. Naprava se sedaj predeluje in ko bo obstajala možnost kontrole temperature med vakuumiranjem, se bo čas vaku-



Slika 3
Rezultati odstranjevanja dušika
Fig. 3
Results of removing hydrogen.



Slika 4
Rezultati odstranjevanja kisika
Fig. 4
Results of removing oxygen

umiranja lahko še podaljšal in bodo dobljeni rezultati še boljši.

REZULTATI PREDELAVE JEKLA

Pri predelavi jekla bi si boljše ogledali rezultate, ki smo jih dosegli pri jeklu, ki ni bilo vakuumirano, in pri jeklu, ki je bilo vakuumirano.

Izkoristek pri valjanju v slabe:

Jeklo v jeklarni vlijemo v brame, teže 9300 kg. V globinskih pečeh brame dogrejemo na temperaturo valjanja in v bluming valjarni izvaljamo v slabe. Na škarjah odrežemo »glavo« in »nogo« brame, tako da dobimo slab, debeline 60–120 mm, širine 1000 mm in dolžine do 5000 mm.

Podatki o izkoristkih pri valjanju bram v slabe so razvidni iz tabele 3.

Tabela 3: Izkoristki jekla na Blumingu

Leto	Vložek (kg)	Glava (%)	Noga (%)	Metal. napake (%)	Čišč. (%)	Valjav. napake (%)	Izpljen (%)
1984	1.724.000	13,2	7,5	8,2	0,4	—	70,7
1983	999.110	12,1	8,4	15,1	1,5	—	62,9

Opomba: 1984 — vakuumirano jeklo
1983 — nevakuuirano jeklo

Če si rezultate iz tabele 3 natančneje ogledamo, vidimo naslednje:

Izkoristek pri »glavi« se je poslabšal za 1,1 %, vendar je to posledica slabega lunkeritnega praška in ne tehnologije.

Izkoristek pri »nogi« se je izboljšal za 0,9 %. Bistveno odstopanje pa beležimo pri deležu metalurških napak. Ta delež se je znižal za 6,9 % in vzrok za to izboljšanje je vakuumska obdelava jekla. Predvsem se je zmanjšal delež površinskih napak. To nam potrjuje tudi podatek, da se je znižal delež čiščenja slabov kar za 1,1 %, tako da se je dvignil izkoristek jekla za 62,9 % v letu 1983 na 70,7 % v letu 1984 ali za 7,8 %. To pa je bistveno povečanje, ki je povezano z velikimi prihranki energije.

Na sliki 5 vidimo, kakšen je bil videz površine slabov pred uvedbo vakuumske obdelave jekla in po njej. Vidna je velika razlika, kar samo še potrjuje v tabeli 3 navedene podatke.

Mehanske lastnosti jekla:

Oceno kvalitete jekla nam med drugim dajo tudi mehanske lastnosti, zato si jih oglejmo. Primerjali bomo obdobje brez vakuumske obdelave in obdobje z uporabo vakuumske obdelave jekla.

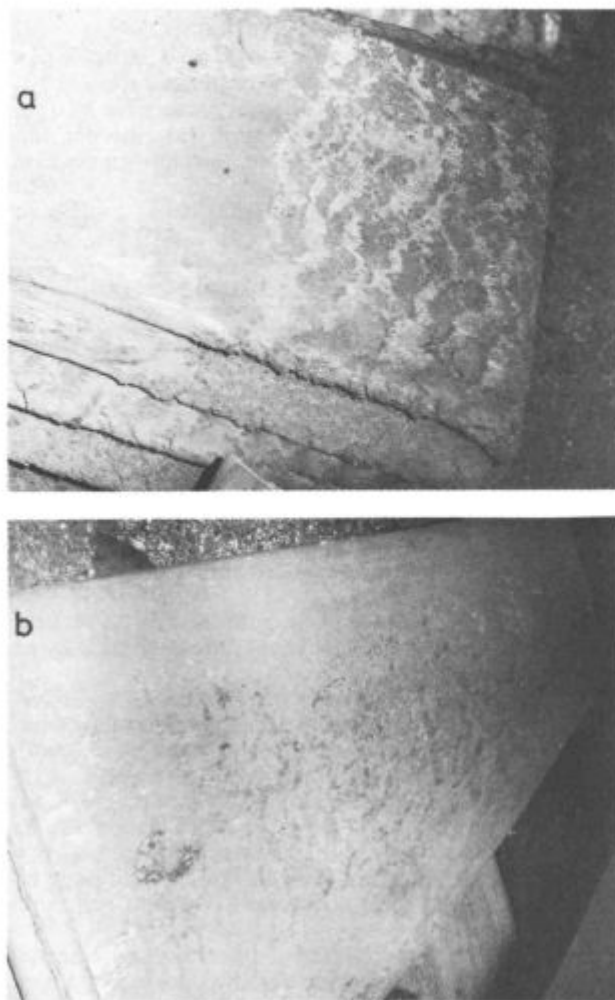
Rezultati o trdnosti jekla so razvidni s slike 6. Vidimo, da pri trdnosti ni bistvene razlike, čeprav ima vakuumirano jeklo malo višjo trdnost.

Podobno kot za trdnost lahko ugotovimo s slike 7 za trdoto jekla. V trdoti ni bistvene razlike, čeprav ima vakuumirano jeklo malo višjo trdoto.

Do podobnih ugotovitev pridemo tudi pri raztezku in kontrakciji. Pri enem kot pri drugem ni bistvenih odstopanj, čeprav so zopet vrednosti pri vakuumiranem jeklu višje. Rezultati so grafično prikazani na sliki 8 in 9.

Vendar pa moramo povedati, da so trdnost, trdota, raztezek in kontrakcija posledica toplotne obdelave in zato niti ne moremo in ne smemo pričakovati bistvenih odstopanj med vakuumiranim in nevakuuiranim jeklom.

Precejšnje odstopanje navzgor pa zabeležimo pri žilavosti jekla. Grafični prikaz je na sliki 10. Žilavost je pri vakuumiranem jeklu višja za 11,65 J/cm² ali za 16,6 %. To je pa lastnost, ki ni odvisna od toplotne obdelave in je izključno posledica vakuumske obdelave jekla.



Slika 5
Izgledi površine slabov pred in po uvedbi vakuumske obdelave jekla

- a. — površina slaba brez vakuumske obdelave
- b. — površina slaba z vakuumsko obdelavo

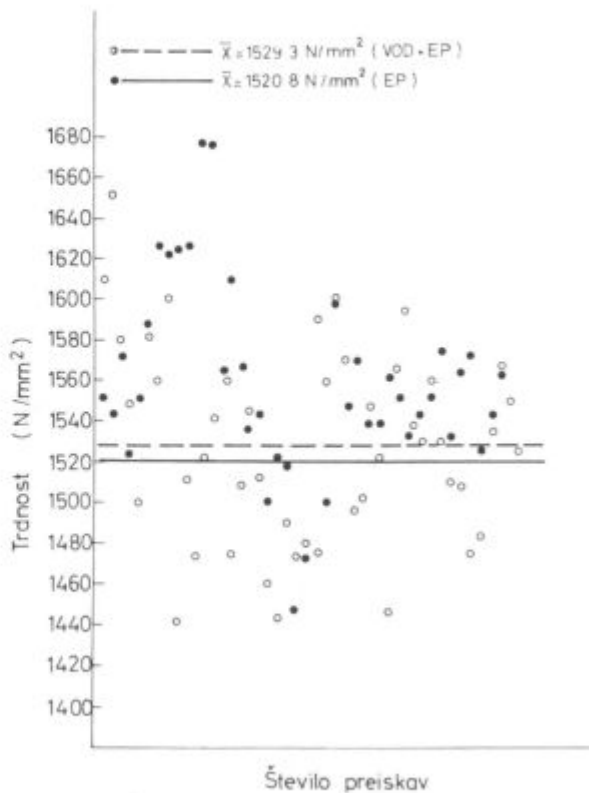
Fig. 5
Appearance of surface of slabs before and after the vacuum treatment of steel

- a. surface of slab without vacuum treatment
- b. surface of slab being vacuum-treated

ZAKLJUČEK

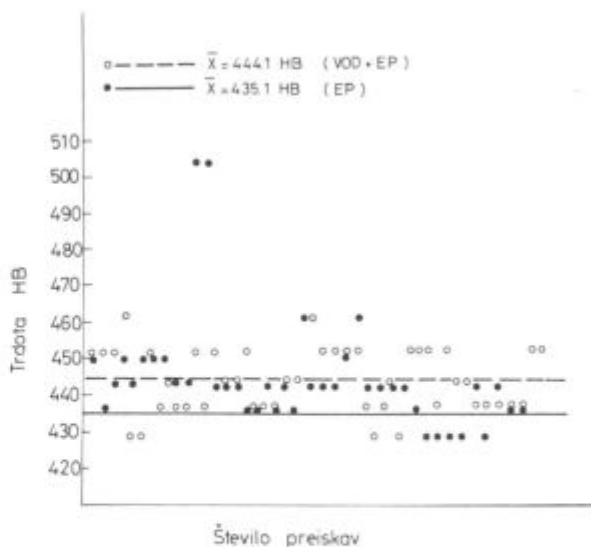
S pričetkom obratovanja vakuumske naprave se je železarni Jesenice odprla nova možnost, da v svoj program proizvodnje uvede tudi jeklo z garantirano količino plinov. Rezultati, ki smo jih dosegli, do sedaj niso slabi in kažejo, da bo tehnologija vakuumskega razplinjanja jekla kmalu osvojena in bodo rezultati še boljši. Kar se tiče doseženih rezultatov pri kvaliteti jekla, ki jo obravnavamo, pa naslednje:

Dupleks postopek EO-VOD napravo obvladamo. Pri razplinjanju povprečno odstranimo $\approx 35\%$ vodika, $\approx 26\%$ dušika in $\approx 45\%$ kisika. S podaljšanjem časa vakuumiranja, kar nam bo omogočeno z meritvami temperature med vakuumiranjem, bodo ti odstotki narasli. Pri jeklu smo povečali izkoristek v valjarnah kar za $7,8\%$, kar je zelo velik prihranek surovin in energije.



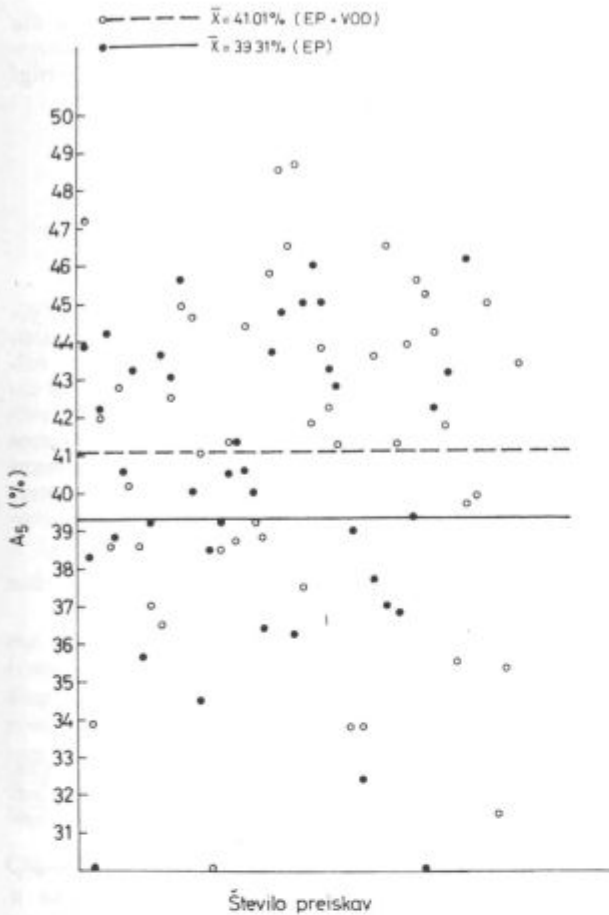
Slika 6
Rezultati primerjav trdnosti pri vakuumiranem in nevakuumiranem jeklu

Fig. 6
Results of compared strengths of vacuum-treated and not vacuum-treated steel



Slika 7
Rezultati primerjav trdote pri vakuumiranem in nevakuumiranem jeklu

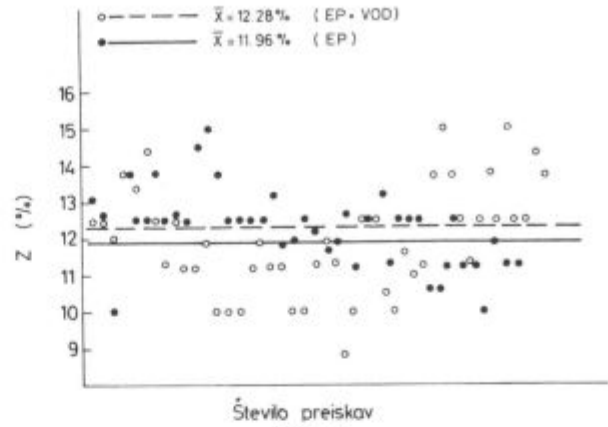
Fig. 7
Results of compared hardnesses of vacuum-treated and not vacuum-treated steel



Slika 8
 Rezultati primerjav raztezka pri vakuimiranem in nevakuimiranem jeklu

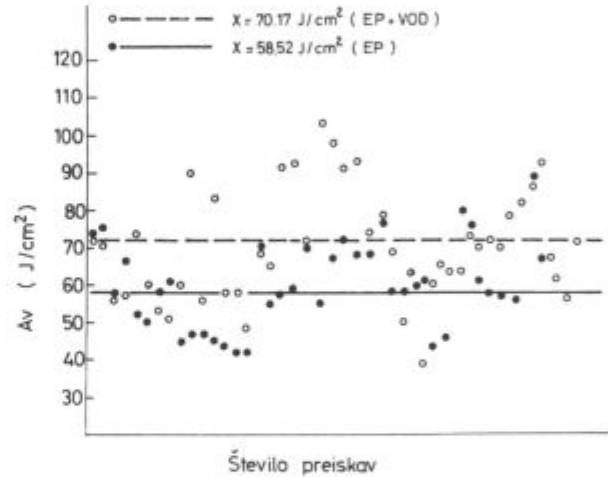
Fig. 8
 Results of compared elongations of vacuum-treated and not vacuum-treated steel

Nenazadnje so se mehanske lastnosti jekla izboljšale, predvsem žilavost jekla. Torej lahko rečemo, da je vakuumska naprava v jeklarni že dala prve dobre rezultate, in sicer v kvalitetnem in ekonomskem pogledu.



Slika 9
 Rezultati primerjav kontrakcije pri vakuimiranem in nevakuimiranem jeklu

Fig. 9
 Results of compared contractions of vacuum-treated and not vacuum-treated steel



Slika 10
 Rezultati primerjav žilavosti pri vakuimiranem in nevakuimiranem jeklu.

Fig. 10
 Results of compared toughnesses of vacuum-treated and not vacuum-treated steel

ZUSAMMENFASSUNG

Nach der Inbetriebnahme der VOD Anlage im Hüttenwerk Jesenice war die Möglichkeit gegeben, Stähle mit garantierter Gasmenge herzustellen. Die bisher erzielten Ergebnisse sind gut und zeigen, dass die Technologie in der Vakuumentgasung gut eingeführt worden ist und, dass die Ergebnisse auch besser sein konnten. Im allgemeinen kann für die behandelte Stahlqualität folgendes gesagt werden.

Das Duplex Verfahren und die VOD Anlage selbst werden von der Mannschaft gut beherrscht. Bei der Entgasung wird im Durchschnitt 35% Wasserstoff, 26% Stickstoff und 45% Sauerstoff abgebaut. Mit der Verlängerung der reinen Entgasung, was durch die Einführung der Temperaturmessung während der Entgasung möglich sein wird, sind noch bessere Ergebnisse zu erwarten. Das Ausbringen von Stahl im Walzwerk hat sich

um 7,8 % erhöht was ein grosses Einsparniss von Rohstoffen und Energie darstellt.

Zuletzt sind die mechanischen Eigenschaften von Stall, vorallem die Zähigkeit besser den zu vor. Es

kann gesagt werden, dass die VOD Anlage durch die guten Ergebnisse im qualitativen wie auch im ökonomischen Sinne die Anschaffung schon gerechtfertigt hat.

SUMMARY

Putting into operation the VOD set-up in the Jesenice Ironworks enabled to include also steels with the guaranteed content of gases into the manufacturing programme. The so far achieved results are not bad and they give hope that the technology of vacuum degassing of steel will be soon mastered, and thus the achievements will be better. As far as the achieved results of the treated steel qualities, the following can be stated:

The duplex electric arc furnace — VOD process is mastered. In degassing in average about 35 % hydrogen, 26 % nitrogen and 45 % oxygen is removed. Prolon-

ged times of gas exhausting which will be achievable after introducing temperature measurements during vacuum treatment will give better effects. Steel yield in rolling mills was increased for 7,8 % which represents savings in material and energy.

Finally, mechanical properties of steel, mainly toughness, were improved. It can be stated that the vacuum equipment in the steelworks gave the first encouraging results, from the viewpoint of quality and of economy.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С введением в работу устройства для дегазации стали в вакууме металлургическому заводу Железарна Есенице дана возможность ввести в программу производства сталь с гарантированным содержанием газов. До сих пор полученные результаты весьма удовлетворительны и показывают, что технология вакуумной дегазации будет вскоре вполне усвоена, так что результаты улучшаться. Что касается полученных результатов качества стали, то надо сказать следующее:

Дуплекс способ ДЭП-УОВ вполне усвоен. При дегазации стали удаляется в среднем около 35 % во-

дорода, 26 % азота и прибр. 45 % кислорода. С увеличением продолжительности дегазации, имея в виду измерения темп-ы во время самого процесса, доли удаления этих газов повышаются.

В прокатном же цехе увеличен выход, что представляет собой значительную экономию сырья и энергии. Также улучшены механические свойства стали, в особенности вязкость. На основании выше упомянутого можно сказать, что вакуумное устройство в сталеплавильном цехе уже дало первые благоприятные результаты что касается качества стали и экономии его изготовления.