

# ŽELEZARSKI ZBORNIK

## VSEBINA

	Stran
Smajić Nijaz — Metalurški inštitut Ljubljana POMEN IN VLOGA SILICIJA PRI IZDELAVI NERJAVNEGA JEKLA 2. del: Termično ravnotežje Si-C v VOD napravi in Si-Cr v EO peči	1
Švajger M. — Železarna Ravne J. Lamut — Metalurški inštitut Ljubljana IZKUŠNJE ŽELEZARNE RAVNE NA PODROČ- JU TEHNOLOGIJE, KONTROLE KAKOVOSTI IN RAZISKAV V EPŽ PROIZVODNJI.	7
Nove knjige	13

LETO 19 ŠT. 1 — 1985

ŽEZB BQ 19 (1) 1-16 (1985)



# ŽELEZARSKI ZBORNIK

IZDAJAJO ŽELEZARNE JESENICE, RAVNE, ŠTORE IN METALURŠKI INŠTITUT

LETO 19

LJUBLJANA

MAREC 1985

Vsebina:	Inhalt	Contents	Содержание
Stran:	Seite	Page	страница
<p>N. Smajić Pomen in vloga silicija pri izdelavi nerjavnega jekla 2. del: Termodinamično ravnotežje Si-C v VOD napravi in Si-Cr v EO peči UDK: 669.15-194.56:669.187.2 ASM/SLA: SS, R 1 h, W 18S</p>	<p>N. Smajić Bedeutung und Rolle von Silizium bei der Erzeugung von nichtrostenden Stählen 2. Teil: Thermodynamisches Gleichgewicht Si-C in der VOD Anlage und Si-Cr im Lichtbogenofen UDK: 669.15-194.56:669.187.2 ASM/SLA: SS, R 1 h, W 18S</p>	<p>N. Smajić Importance and Role of Silicon in Manufacturing Stainless steel. Part II: Thermodynamic Equilibrium Si-C in VOD, and Si-Cr in Arc Furnace UDK: 669.15-194.56:669.187.2 ASM/SLA: SS, R 1 h, W 18S</p>	<p>N. Smajić Значение и роль кремния при изготовлении нержавеющей стали. II. часть: Термодинамическое равновесие Si-C в устройстве для окисления в вакууме, а также Si-Cr в дуговой электропечи. UDK: 669.15-194.56:669.187.2 ASM/SLA: SS, R 1 h, W 18S</p>
<p>M. Švajger, J. Lamut Izkušnje Železarne Ravne na področju tehnologije, kontrole kakovosti in raziskav v EPŽ proizvodnji UDK: 669.187.3:669-154.9 ASM/SLA: D8p, D8n</p>	<p>M. Švajger, J. Lamut Erfahrungen des Hüttenwerkes Ravne auf dem Gebiet der Technologie, der Gütekontrolle und der Forschungen in der ESU Produktion UDK: 669.187.3:669-154.9 ASM/SLA: D8p, D8n</p>	<p>M. Švajger, J. Lamut Experiences of Ravne Ironworks in the Field of Technology, Quality Control and Investigations of the ESR Process UDK: 669.187.3:669-154.9 ASM/SLA: D8p, D8n</p>	<p>M. Švajger, J. Lamut Опыты металлургического завода Железарна Равне в области технологии, контроля качества и исследований при производстве ЭСП-а. UDK: 669.187.3:669-154.9 ASM/SLA: D8p, D8n</p>



## Pomen in vloga silicija pri izdelavi nerjavnega jekla

UDK: 669.15-194.56:669.187.2

ASM/SLA: SS, R1h, W18s

N. Smajić

### II. del: Termodinamično ravnotežje Si — C v VOD ter Si — Cr v EOP

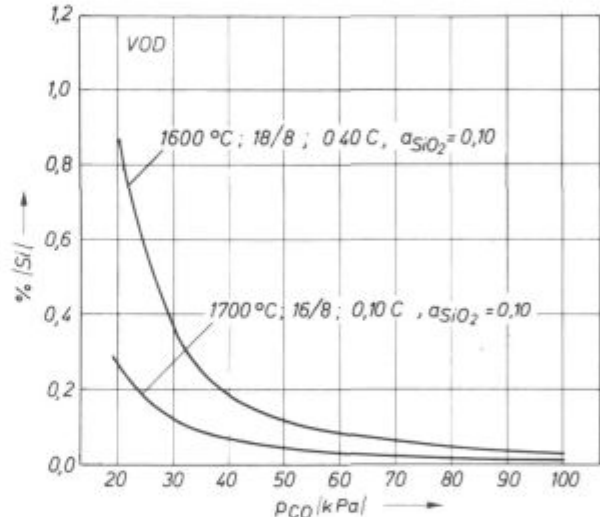
V prvem delu smo obravnavali termodinamično ravnotežno stanje med silicijem in ogljikom v talini, ki že vsebuje ves potreben krom. Poznavanje tega ravnotežnega stanja v EOP je bistvenega pomena za učinkovito vakuumsko oksidacijo v VOD napravi. V pričujočem drugem delu je izvedena analiza termodinamičnih ravnotežnih stanj Si-C v VOD in Si-Cr v EOP v odvisnosti od temperature, stopnje vakuumu oziroma parcialnega tlaka CO, sestave taline in sestave žilindre oziroma aktivnosti  $SiO_2$  in  $Cr_2O_3$  v žilindri.

#### 1. TERMODINAMIČNO RAVNOTEŽJE SILICIJ — OGLJIK V VOD

V dupleks postopku EOP — VOD izdelave nerjavnega jekla sledi primarni oksidaciji v EOP sekundarna, vakuumsko oksidacija v VOD ponovci. Talina, namenjena VOD obdelavi, vsebuje ob koncu primarne oksidacije ves potreben krom. Pri izdelavi jekel, vrste 18/8 to pomeni, da talina, pripravljena za VOD, vsebuje 18 % Cr in seveda ustrezno vsebnost ogljika, ki mora zaščititi tako veliko množino kroma pred oksidacijo. Primarna oksidacija se torej mora končati, še preden se začne intenzivna oksidacija kroma, t. j. najpozneje ob dosegu trojnega ravnotežja silicij — ogljik — krom. Idealno usklajenost delovanja EOP in VOD imamo takrat, ko lahko primarno oksidacijo (v EOP) dokončamo še v območju ravnotežja Si/C, vendar neposredno pred trojnim ravnotežjem Si/C/Cr, kar nam zagotavlja minimalno možno vsebnost Si v talini in Cr v žilindri. V tem primeru se lahko izognemo dolgotrajni redukciji žilindre v EOP, kar pomembno prispeva k produktivnosti EOP, obenem pa zaradi majhne vsebnosti Si v talini dobimo v VOD minimalno količino žilindre, kar zopet pozitivno vpliva na produktivnost VOD naprave. Ta način dela zagotavlja optimizacijo produktivnosti in proizvodnih stroškov.

##### 1.1 Vpliv vakuumu

Sekundarno oksidacijo v dupleks postopku EOP — VOD opravljamo v VOD napravi ob istočasnem vakuumiranju. S stalnim vakuumiranjem stimuliramo potek



Slika 1

Odkvisnost ravnotežne vsebnosti Si od parcialnega tlaka CO oz. vakuumu za talini z 0,40 % C, 18 % Cr in 8 % Ni pri 1600 °C oz. 0,10 % C, 16 % Cr in 8 % Ni pri 1700 °C

Fig. 1

Equilibrium Si content depending on CO partial pressure or vacuum for the melt with 0.40 % C, 18 % Cr, and 8 % Ni at 1600 °C, or 0.10 % C, 16 % Cr, and 8 % Ni at 1700 °C respectively.

reakcije žilavenja:  $(C) + (O) = CO$ , kar pomeni, da se ravnotežje med silicijem in ogljikom premakne proti nižjim vsebnostim ogljika.

Na sliki 1 vidimo, kako hitro raste vsebnost silicija, ki je v ravnotežju z 0,40 % C oz. 0,10 % C v talinah, namenjenih izdelavi nerjavnega jekla, vrste 18/8 pri 1600 °C oz. 1700 °C z rastočo intenziteto vakuumiranja. Pred začetkom vakuumске oksidacije, t. j., ko imamo še atmosferski tlak ( $p_{CO} = 100$  kPa), je ravnotežna vsebnost Si v talini daleč pod maksimalno dovoljeno (0,20 % Si) vrednostjo.

Če torej talina vsebuje pri 1600 °C 0,40 % C, 18 % Cr in 8 % Ni, je ravnotežna vsebnost Si približno 0,03 %.



70 1965 / 86

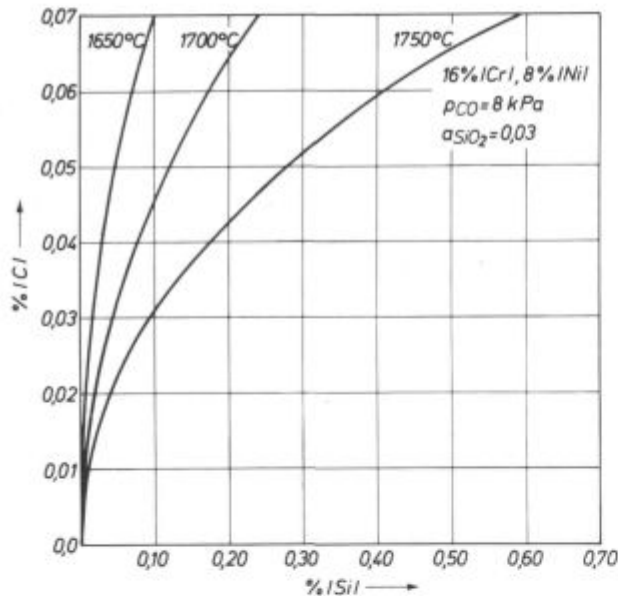


Če bi začeli pihati kisik pred vakuumiranjem, bi ves prebitni Si, kar ga je več kot 0,03 %, selektivno oksidiral in bi pri 0,03 % Si dosegli ravnotežje z 0,40 % C, ko bi se začela oksidacija ogljika.

Seveda tako ne delamo. Potrebno je najprej začeti z vakuumiranjem, da premaknemo ravnotežje Si/C proti višji vrednosti silicija, in tako preprečimo selektivno oksidacijo Si in tvorbo večje količine SiO<sub>2</sub> oz. žlindre. Že pri skromnem vakuumu od 40 kPa (0,4 atm. oz. 300 torra), kot kaže krivulja, ravnotežna vsebnost Si znaša 0,20 % Si. Tako taline, ki pri omenjenih pogojih vsebujejo do 0,20 % Si pri 1600 °C, lahko že začnemo oksidirati brez nevarnosti za oksidacijo Si. Med vakuumsko oksidacijo raste temperatura taline in pada vsebnost ogljika. Ravnotežje Si/C spremenimo z vakuumiranjem tako, da imamo namesto istočasne oksidacije Si in C le selektivno oksidacijo ogljika. Zaradi znižanja vsebnosti ogljika kljub intenzivnemu vakuumiranju kmalu dosežemo ravnotežje Si/C, ko se začne oksidacija silicija. Končno se vzpostavi še trojno ravnotežje med silicijem, ogljikom in kromom.

### 1.2 Vpliv temperature ob koncu vakuumske oksidacije

Vpliv temperature na ravnotežje med ogljikom in silicijem ob koncu vakuumske oksidacije kaže **slika 2**.



Slika 2

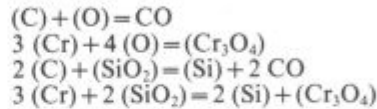
Vpliv temperature na ravnotežje Si/C ob koncu vakuumske oksidacije za temperature 1650, 1700 in 1750 °C

Fig. 2

Influence of temperature on the Si/C equilibrium at the end of vacuum refining for the temperatures 1650, 1700, and 1750 °C.

Vakuumsko oksidacijo v VOD končamo običajno pri 1700 °C in ca. 0,07 % C. Kot vidimo s slike 2, izoterma ravnotežja Si/C pri 1700 °C kaže, da bi pri 0,07 % C morali imeti 0,24 % Si. Ker ga toliko nismo imeli v začetku vakuumske oksidacije (maks. 0,20 % Si), ga torej ne moremo imeti toliko, kolikor to ustreza ravnotežju Si/C. To pomeni, da minimalno vsebnost Si v talini dosežemo ravno v trenutku, ko se dvojno ravnotežje Si/C

spreneni v trojno ravnotežje Si/C/Cr. Od tega trenutka se namreč ustvarijo pogoji za redukcijo Si iz žlindre, in sicer sta enakovredna reducenta ogljik in krom. Poteka torej naslednje reakcije:

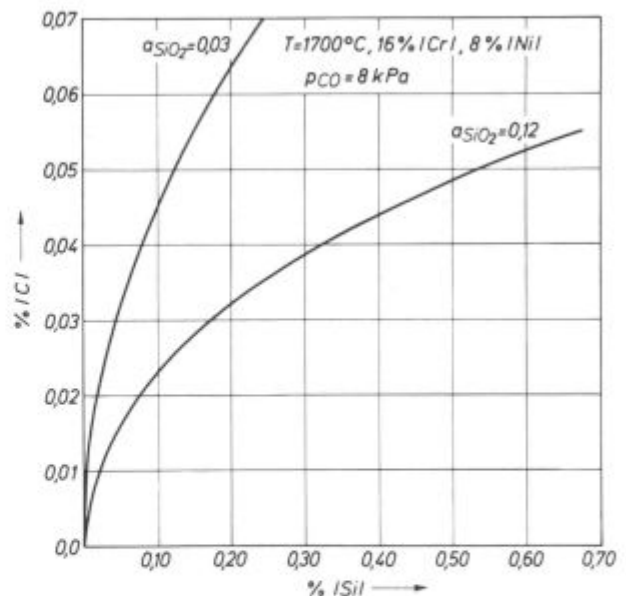


Ob istočasni oksidaciji ogljika in kroma poteka redukcija silicija iz žlindre. Pogoj za redukcijo Si je seveda dovolj visoka temperatura taline, kar vidimo tudi s slike 2.

Po koncu vakuumske oksidacije talino še vakuumiramo ob povečanem vpihovanju argona. Pri tem se talina ohlaja. Žilavenje poteka z lastnim kisikom. Nižji ogljik pomeni tudi nižjo vsebnost Si, t. j., redukcijo silicija sedaj zopet nadomesti njegova oksidacija, ki tudi poteka z lastnim kisikom. Obseg te oksidacije je večji pri nižji temperaturi. Talina pri npr. 0,02 % C vsebuje ob ravnotežju Si/C manj kot 0,05 % Si, kot to kaže slika 2. To seveda velja le za primer, da je aktivnost SiO<sub>2</sub> enaka 0,03, t. j. zelo nizka. Ob večji aktivnosti SiO<sub>2</sub> v žlindri (običajno je takrat 0,10–0,12) talina ob koncu oksidacije vsebuje ca. 0,08 % Si. Na končno vrednost Si v tej fazi poleg temperature najbolj vpliva aktivnost SiO<sub>2</sub>.

### 1.3 Vpliv aktivnosti SiO<sub>2</sub>

Vpliv aktivnosti SiO<sub>2</sub> na ravnotežje Si/C med vakuumiranjem brez pihanja kisika, t. j. ob koncu VOD obdelave kaže **slika 3**. To zadnjo fazo oksidacije ogljika, ki poteka s kisikom, ki je raztopljen v talini, označujejo kot VCD proces (Vacuum Carbon Deoxidation). Dejansko gre torej za dezoksidacijo z ogljikom, kar omogoča intenzivno vakuumiranje. Ta faza je zelo pomembna za čistočo izdelanega jekla, saj s tem lahko bistveno



Slika 3

Vpliv aktivnosti SiO<sub>2</sub> na ravnotežje med Si in C med vakuumsko dezoksidacijo z ogljikom (VCD)

Fig. 3

Influence of the SiO<sub>2</sub> activity on the Si/C equilibrium during the vacuum deoxidation by carbon (VCD).

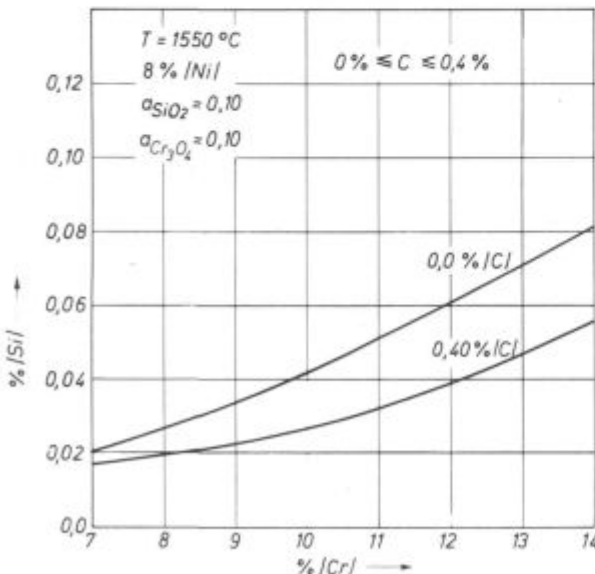
zmanjšamo vsebnost kisika v talini in vsebnost oksidnih vključkov. Vakuumska dezoksidacija namreč ne zapuša nobenih oksidnih vključkov, za razliko od precipitacijske dezoksidacije z dodajanjem dezoksidantov, kot so Al in Si. V novejšem času je za celo vrsto visokokvalitetnih jekel za najbolj zahtevne namene (letalska, raketska in jedrska tehnika) precipitacijska dezoksidacija celo izrecno prepovedana in naročniki zahtevajo le jeklo, ki je vakuumsko dezoksidirano z lastnim ogljikom, t. im. VCD jeklo.

**2. TERMODINAMIČNO RAVNOTEŽJE SILICIJ — KROM V EOP**

Termodinamično ravnotežje med silicijem in kromom v talini se v EOP vzpostavlja le v primeru nepravilno sestavljenega vložka. Pri pravilni sestavi vložka pihanje kisika lahko začnemo takoj po raztalitvi. V tem primeru najprej oksidira silicij, ki zaradi svoje nadkritične vsebnosti ščiti ogljik in krom pred oksidacijo. Ko je dosežena kritična koncentracija silicija, t. j. tista, ki je v ravnotežju z ogljikom v talini, selektivno oksidacijo silicija nadomesti istočasna oksidacija silicija in ogljika. V nadaljevanju oksidacije končno dosežemo trojno ravnotežje, silicij — ogljik — krom, ko se začne oksidacija kroma.

Pravilno sestavljen vložek kaže npr. naslednja analiza vzorca taline po raztalitvi (t. im. prvi preizkušanelec): 0,45 % C, 11,3 % Cr in 0,30 % Si.

V primeru nepravilno sestavljenega vložka, t. j., ko je vsebnost ogljika podkritična, tako da ne ščiti kroma pred oksidacijo, pa se ravnotežje Si/Cr vzpostavi prej kot ravnotežje Si/C. Tak primer bi imeli npr. pri 0,25 % C v zgornji talini. To pomeni, da po raztalitvi ne smemo začeti s pihanjem kisika, temveč bi z dodatnim ogrevanjem morali ustvariti najprej ravnotežje C/Cr in šele nato začeti z oksidacijo. Če tega ne storimo, najprej seveda oksidira Si, nato dosežemo ravnotežje Si/Cr in začne oksidirati krom, šele potem začne žilavenje, t. j. oksidacija ogljika, ko dosežemo trojno ravnotežje Si/Cr/C.



Slika 4

Vpliv ogljika na ravnotežje Si/Cr v EOP

Fig. 4

Influence of carbon on the Si/Cr equilibrium in the arc furnace

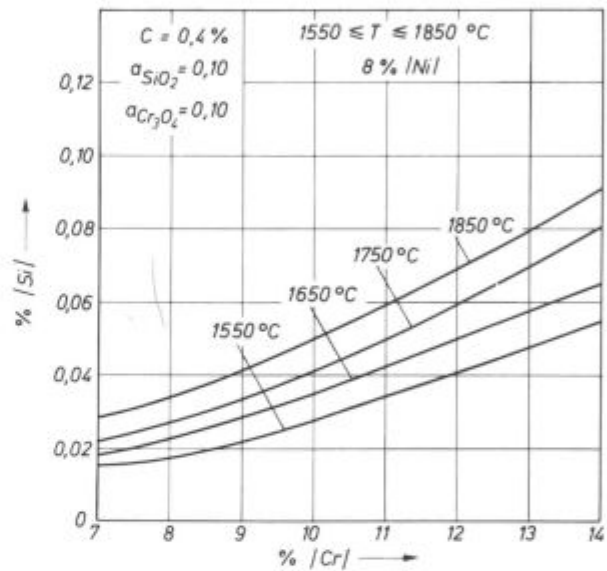
**2.1 Vpliv ogljika**

Slika 4 kaže ravnotežje med silicijem in kromom ob raztalitvi vložka v EOP, t. j. pri temperaturi 1550 °C za dve vsebnosti ogljika v talini. Vidimo, da je ravnotežna vsebnost silicija manjša pri večji vsebnosti ogljika.

Kot vidimo, krivulji za 0 % C in 0,4 % C nista vzporedni, t. j. vpliv ogljika raste z rastočo vsebnostjo kroma.

**2.2 Vpliv temperature pri 0,4 % C**

Temperatura vpliva na ravnotežje med silicijem in kromom na enak način kot na ravnotežje med silicijem in ogljikom. V obeh primerih namreč narašča ravnotežna vsebnost silicija s porastom temperature taline. Vpliv temperature na ravnotežje Si/Cr v talini, ki vsebuje 0,40 % C, nam kaže slika 5.



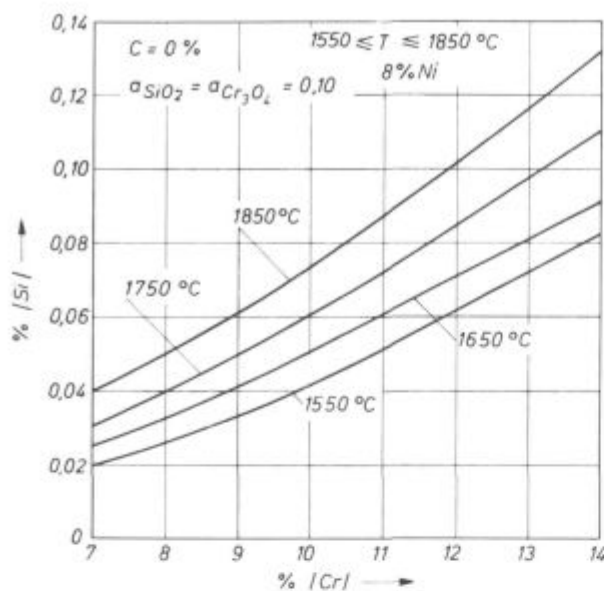
Slika 5

Vpliv temperature na ravnotežje Si/Cr v EOP pri 0,40 % C

Fig. 5

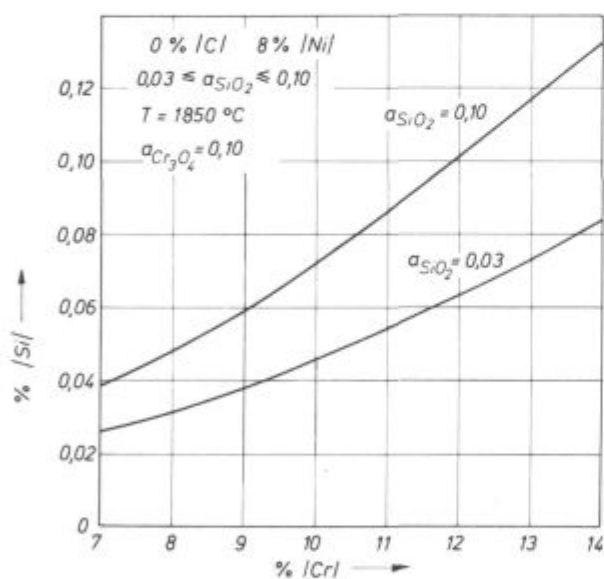
Influence of temperature on the Si/Cr equilibrium in the arc furnace at 0,40 % C.

Diagram na sliki 5 nam med drugim pomaga, da določimo, kako se bo spreminjala vsebnost silicija med oksidacijo v EOP. Vzemimo primer taline, ki ima neposredno po raztalitvi, t. j. pri 1550 °C 0,40 % C in 12 % Cr. Kot vidimo s slike, bi morala ta talina imeti 0,04 % Si. Seveda je po raztalitvi vsebnost Si običajno dosti večja, kar pomeni, da bo potekala najprej oksidacija silicija. Namesto do 0,04 % Si, bo selektivna oksidacija Si potekala zaradi rastoče temperature le do 0,05 % Si s predpostavko, da je medtem temperatura taline dosegla 1650 °C. Takrat se začne oksidacija kroma, zaradi česar temperatura še bolj narašča. Če vzamemo, da ima talina pri 1850 °C še 9 % Cr. Vsebnost silicija bi bila 0,04 %, če bi talina vsebovala začetnih 0,40 % C, kar seveda ni mogoče in je vsebnost ogljika v tem trenutku približno 0,10 % oz. nekaj pod 0,10 %. Ker nižji ogljik pomeni v tem primeru višji silicij, bo vsebnost Si, ki je v ravnotežju z 9 % Cr pri 1850 °C višja, kot kaže slika 5, ki velja le za taline z 0,40 % C. Zato si moramo pomagati s sliko 6, ki se nanaša na taline, ki praktično nimajo ogljika.



Slika 6  
Vpliv temperature na ravnotežje Si/Cr v EOP pri 0,0 % C

Fig. 6  
Influence of temperature on the Si/Cr equilibrium in the arc furnace at 0.0 % C.



Slika 7  
Vpliv aktivnosti SiO<sub>2</sub> na ravnotežje Si/Cr v zadnji fazi oksidacije v EOP pri 1850°C

Fig. 7  
Influence of the SiO<sub>2</sub> activity on the Si/Cr equilibrium in the last stage of refining in the arc furnace at 1850°C.

### 2.3 Vpliv temperature pri 0,0 % C

V zadnji fazi oksidacije v EOP v vsakem primeru pada vsebnost kroma in ogljika. Pri tem narašča temperatura taline. Porast temperature in padec vsebnosti ogljika premikata ravnotežje Si/Cr proti višji vsebnosti silicija. S slike 6 tako vidimo, da mora prej obravnavani primer taline z 9 % Cr pri 1850°C pri talinah brez oglji-

ka vsebovati 0,06 % Si. Na sliki 5 pa smo videli, da mora ista talina v istih pogojih, toda pri 0,40 % C imeti 0,04 % Si. Ker bo vsebnost ogljika zagotovo med 0,10 in 0,0 %, je jasno, da mora biti vsebnost Si med 0,05 in 0,06 %. Med ohlajanjem taline Si znova oksidira, ker v tem smislu vpliva temperatura na ravnotežje Si/Cr. To pomeni, da ob vsakem dodajanju različnih dodatkov (ferokrom, lastni odpadki, apno, Ni oz. FeNi) ter ob prenehanju pihanja nastane padec temperature taline, kar potisne ravnotežje med silicijem in kromom na nižjo vsebnost silicija.

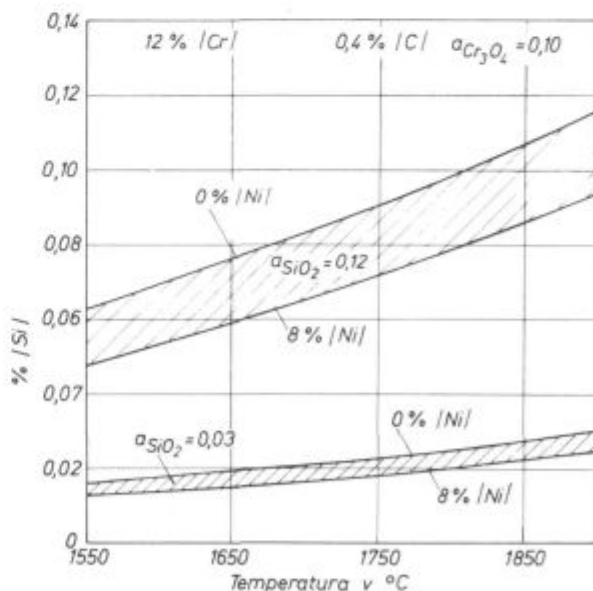
### 2.4 Vpliv aktivnosti SiO<sub>2</sub>

Kvalitativni vpliv aktivnosti SiO<sub>2</sub> v žlindri na ravnotežje med silicijem in kromom v talini je dobro znan. Iz termodinamičnih osnov namreč vemo, da je vsebnost silicija v talini premo sorazmerna aktivnosti SiO<sub>2</sub> v žlindri. To pomeni, da je vsebnost Si v talini večja pri večji aktivnosti SiO<sub>2</sub>. Seveda nam ta kvalitativna ugotovitev ne zadošča. Vprašanje je torej, koliko je večja ravnotežna vsebnost Si, če je aktivnost SiO<sub>2</sub> namesto 0,05 n. pr. 0,10. In seveda, koliko je sploh pri a<sub>SiO<sub>2</sub></sub> = 0,05.

Odgovor na to in podobna vprašanja dobimo na sliki 7, ki kaže vpliv aktivnosti SiO<sub>2</sub> v žlindri na vsebnost Si, ki je v ravnotežju s kromom v talini brez ogljika, z 8 % Ni ter pri temperaturi 1850°C, t. j. v pogojih, ki ustrezajo zadnji fazi oksidacije v EOP pri klasičnem postopku izdelave nerjavnega jekla.

### 2.5 Vpliv temperature, niklja in aktivnosti SiO<sub>2</sub>

Čeprav je analiza vpliva posameznih dejavnikov na ravnotežje Si/Cr brez dvoma zelo koristna in jasna, vendar temu načinu predstavitve termodinamičnih ravnotežnih stanj lahko očitamo, da je bolj prirejen za učne namene in manj kot pomoč in napotek k praktičnemu delu. V praksi imamo namreč vedno kombiniran



Slika 8  
Vpliv temperature, niklja in aktivnosti SiO<sub>2</sub> na ravnotežje Si/Cr v talinah z 12 % Cr in 0,40 % C

Fig. 8  
Influence of temperature, nickel, and SiO<sub>2</sub> activity on the Si/Cr equilibrium in the melts with 12 % Cr and 0.40 % C.



vpliv večjega števila vplivnih dejavnikov. Tako v našem primeru analize ravnotežja med silicijem in kromom oksidacijo silicija spremlja porast temperature in aktivnosti  $\text{SiO}_2$ . Pozneje, kot se začne še oksidacija ogljika in kroma, zaradi tega temperatura taline še hitreje narašča, se močno spreminja sestava taline, itn., kar vse vpliva na omenjeno ravnotežje. Sinteza vseh teh vplivov je v večini primerov nemogoča v grafični t. j. v dvodimenzionalni obliki. Le izjemno je v nekaterih specifičnih primerih možno grafično predstaviti kombiniran vpliv večjega števila vplivnih dejavnikov, kot n. pr. na sliki 8, ki nam omogoča vpogled v kombiniran vpliv temperature, niklja in  $a_{\text{SiO}_2}$ .

Tako na sliki 8 vidimo, da nikelj v talini potisne ravnotežje med silicijem in 12 % Cr proti nižji vsebnosti silicija. Dodatno lahko ugotovimo, da je vpliv temperatu-

re manjši pri nižji aktivnosti  $\text{SiO}_2$ . Prav tako vidimo, da enako velja za vpliv Ni, ki je toliko večji, kolikor je večja aktivnost  $\text{SiO}_2$ .

Vse te dodatne informacije sploh ne bi mogli dobiti iz diagrama, ki bi kazal odvisnost ravnotežja Si/Cr od enega vplivnega dejavnika. Za jeklarja praktila so torej veliko boljši diagrami, ki namesto izoliranega vpliva enega dejavnika kažejo sintezo oz. kombiniran vpliv večjega števila vplivnih dejavnikov, kot je primer na sliki 8. Žal, to ni vedno mogoče. Tukaj nam pride na pomoč računalnik. Izdelani računalniški programi nam namreč omogočajo, da v vsakem konkretnem primeru dobimo skoraj trenutno odgovor na vsako smiselno vprašanje. Diagram na sliki 8 je le vzorec, ki naj nazorno pokaže le majhen del rezultatov računalniške obdelave termodinamične analize ravnotežja Si/C in Si/Cr.

## ZUSAMMENFASSUNG

Im zweiten Teil wird das thermodynamische Gleichgewicht zwischen Silizium und Kohlenstoff in einer Eisenhaltigen Schmelze behandelt, die für die Herstellung von nichtrostenden Stählen nach dem Duplex Verfahren LBO — VOD bestimmt ist und zwar während der VOD Behandlung, und das thermodynamische Gleichgewicht zwischen Silizium und Chrom im Lichtbogenofen. Die Rechenerauswertung des Thermodynamischen Gleichgewichtes zwischen Silizium und Kohlenstoff bzw. zwischen Silizium und Chrom in der Schmelze

ermöglicht die Bestimmung und die Analyse des Einflusses der Temperatur des CO Partialdruckes der Zusammensetzung der Schmelze und der Schlacke bzw. der  $\text{SiO}_2$  Aktivität in der Schlacke auf den Gleichgewichtsgehalt von Si, welcher in der Frischperiode der Erzeugung von nichtrostendem Stahl aufgestellt wird. Diagramme sind ausgearbeitet worden welche die Einflüsse der einzelnen Einflussparameter auf den Gleichgewichtszustand Si/C in der VOD Anlage und Si/Cr im Lichtbogenofen darstellen.

## SUMMARY

The second part of the paper treats the thermodynamic equilibrium between silicon and carbon in the iron melt destined for the manufacturing stainless steel in the duplex arc furnace — VOD process during the VOD treatment, and the thermodynamic equilibrium between silicon and chromium in the EAF treatment. The computer calculation of the thermodynamic equilibrium between silicon and carbon, and silicon and chromium respectively in the melt enables the determina-

tion and the analysis of the influence of temperature, CO partial pressure, melt composition, and the composition of slag or the  $\text{SiO}_2$  activity in the slag on the equilibrium silicon content which is obtained during the refining stage in manufacturing stainless steel. Diagrams were constructed which represent the influences of single influential parameters on the Si/C equilibrium state in VOD, and Si/Cr state in EAF.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вторая часть этого исследования рассматривает термодинамическое равновесие между кремнием и углеродом в расплаве железа, предназначенного для изготовления нержавеющей стали дуплексным способом: дуговая электропечь — устройство для окисления в вакууме. Во время обработки в вакуумном устройстве определяли термодинамическое равновесие между кремнием и хромом в дуговой электропечи. Выполненные, при помощи вычислительной машины, термодинамические равновесия между кремнием и углеродом, отн. между кремнием и хромом в расплаве

дают возможность определить и проанализировать влияние температуры, парциального давления  $\text{CO}$ , состава расплава и шлака, отн. от активности  $\text{SiO}_2$  в шлаке, на равновесие содержание Si, которое устанавливается в течении окислительной фазы изготовления нержавеющей стали. Приведены диаграммы, которые показывают влияния отдельных существенных параметров на положение равновесия Si/C в устройстве для окисления в вакууме и Si/Cr в дуговой электропечи.



# Izkušnje Železarne Ravne na področju tehnologije, kontrole kakovosti in raziskav v EPŽ proizvodnji

DK: 669.187.3 : 669-154.9  
ASM/SLA: D 8p, D 8n

Švajger Milan, Jakob Lamut

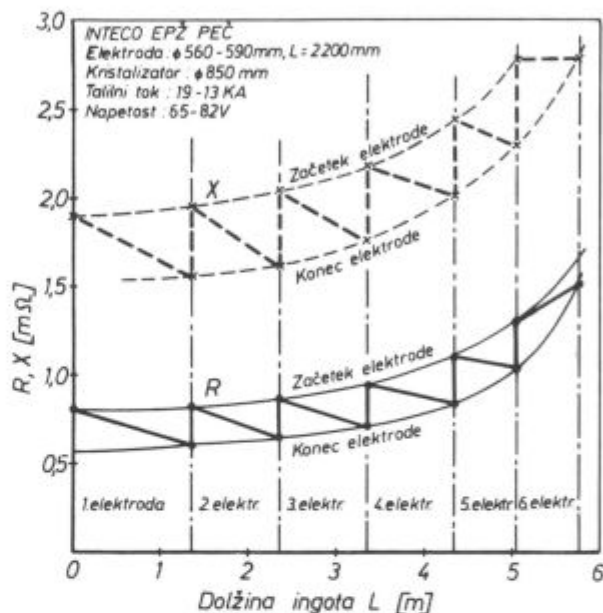
## Uvod

V desetih letih proizvodnje EPŽ jekla v Železarni Ravne smo si nabrali bogate izkušnje v tehnologiji priprave elektrod, pretaljevanja in predelave EPŽ ingotov, kot tudi na področju kontrole procesa in izdelkov. Specializacija v proizvodnjo hladnih valjev je narekovala potrebo po večjih EPŽ ingotih, in s tem novo EPŽ napravo. Tehnologija pretaljevanja na novi peči, kjer pretaljujemo ingote do dolžine 6 m, je s stališča kvalitete in kontrole bistveno zahtevnejša in bo del te problematike v nadaljevanju tudi opisan.

## 1. Vodenje električnih parametrov med pretaljevanjem dolgih ingotov

Pretaljevanje dolgih EPŽ ingotov do dolžine 6 m obvezno zahteva med pretaljevanjem menjavo elektrod, ker je končna teža ingota tudi do 10-krat večja od teže elektrode. Vpliv menjave elektrode med procesom je na peči firme INTECO odlično rešen z avtomatikom, in če je menjava pravilno izvedena, na kvaliteto ingota nima vpliva. Pod terminom »pravilna menjava elektrode« razumemo čim krajši čas menjave in vodenje električnih parametrov pred menjavo po njej, tako da anuliramo vpliv prekinitve dovoda električne moči v žilindrino kopel na pogoje strjevanja. To dosežemo tako, da z regulacijo dovoda moči pred menjavo nekoliko zvišamo temperaturo žilindrine kopeli, po menjavi pa zvišamo dovod moči za toliko, da kompenziramo večje ohmske in induktivne izgube, ki nastopijo z novo, daljšo elektrodo. Nadoknaditi moramo tudi toplotne izgube, ki so nastale v času prekinitve dovoda električne moči in potopitve nove hladne elektrode v žilindrino kopel. Toplotne izgube med menjavo zmanjšamo s čim krajšim časom prekinitve dovoda moči. Termošok, ki ga povzroči v žilindrini kopeli nova elektroda, zmanjšamo s predgretjem elektrode na določeno temperaturo, ki je odvisna od nagnjenosti jekla k škajenju in znaša od 600–800 °C. Ohmska in induktivna upornost se spreminjata z dolžino ingota in elektrode ter sta značilni karakteristiki posamezne peči. Med pretaljevanjem dolgih ingotov z menjavo elektrod se ohmska in induktivna upornost spreminjata nepovezano in dobimo značilen žagasti diagram (slika 1), kjer zob predstavlja spremembo upornosti znotraj pretaljevanja ene elektrode, ukrivljenost žage pa predstavlja povečanje upornosti zaradi naraščanja dolžine ingota. Takšno dinamično spreminjanje upornosti, in s tem izgub zahteva stalno spreminjanje električne moči transformatorja, če želimo imeti konstantno dovedeno moč v žilindrino kopel, in s tem enakomerno kristalizacijo po celi dolžini ingota.

To nalogo smo prepustili procesnemu računalniku PDP 11/23, ki na osnovi tehnoloških enačb in znanih sprememb upornosti sprti izračunava potrebno moč,



Slika 1

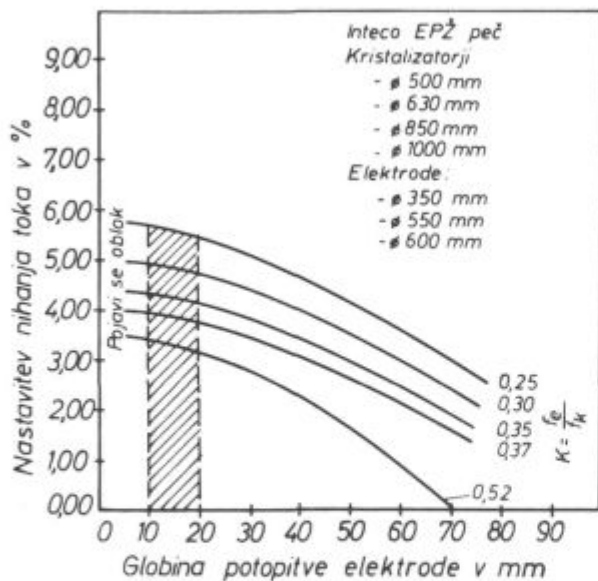
Ohmska in induktivna upornost EPŽ peči firme INTECO v odvisnosti od dolžine ingota

Fig. 1

Ohmic resistance and inductive resistance of the INTECO ESR furnace depending on the ingot length

napetost in tok. Za izračun omenjenih parametrov pa je pogoj, da sta sestava žilindre in temperatura med celotnim procesom pretaljevanja konstantni, sicer moramo upoštevati spremembo specifične ohmske upornosti žilindre. Kot bomo pozneje videli, se sestava žilindre med pretaljevanjem močno spreminja, s tem pa tudi specifična upornost. Naraščanje upornosti žilindrine kopeli povzroči ob enakem talilnem toku vedno globlje potopljeno elektrodo, kar neugodno vpliva na kvaliteto in površino ingota. Idealna potopitev elektrode v žilindrino kopel je 10–20 mm. Globlje ko bo elektroda potopljena, manjša bodo nihanja taličnega toka in obratno. Pri premajhni potopitvi so nihanja velika in periodično se pojavlja električni blok. Regulacija potopitve elektrode dopušča samo tista nihanja taličnega toka, ki smo jih izbrali za določeno kombinacijo kristalizatorja in elektrode (slika 2).

Sprememba sestave žilindre oziroma upornosti žilindrine kopeli med procesom povzroči »zabijanje« elektrode oziroma manjše nihanje taličnega toka. V tem primeru regulacija potopitve aktivira motor potenciometra in samodejno nastavi ustrezni talični tok. S tem je zagotovljena konstantna potopitev elektrode v žilindrino ko-



Slika 2  
Vpliv nihanja talilnega toka na globino potopitve elektrode

Fig. 2

Influence of the oscillation of melting current on the dipping depth of the electrode

pel. Konstantno talilno hitrost oziroma dovod električne moči reguliramo sedaj samo z napetostjo. Torej računalnik določi potrebno moč, tok in napetost le na začetku, pozneje pa na osnovi spremembe teže elektrode v časovni enoti kontrolira odstopanje talilne hitrosti od predpisane in izračuna ustrezno novo napetost. S pomočjo avtomatike in računalnika lahko torej vodimo električne parametre med pretaljevanjem poljubno dolgih ingotov, vendar je dolžina ingota omejena s spremembo sestave oziroma lastnostmi žilindre med pretaljevanjem.

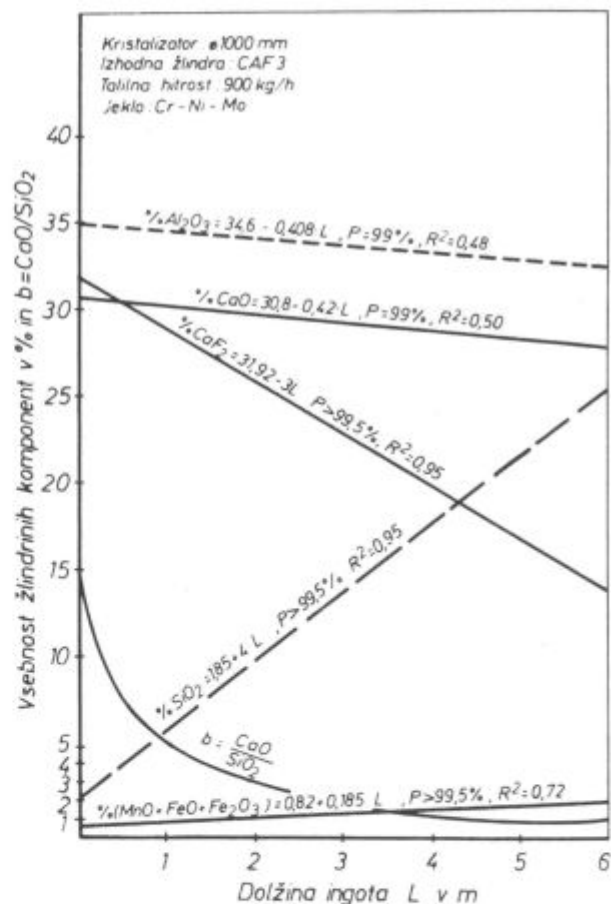
## 2. Sprememba sestave žilindre in jekla med pretaljevanjem dolgih ingotov

Na osnovi znanih oksiredukcijskih reakcij, ki potekajo med pretaljevanjem pod kemično reaktivno žilindro, nastopi odgor oziroma prigor nekaterih elementov. Posledica tega je, da sestava ingota po višini ni enaka in da elementi, ki odgorevajo, preidejo v žilindro in vplivajo na njeno sestavo.

Ker je količina žilindre določena na osnovi optimalne porabe električne energije, znaša njena teža proti teži 6 m dolgega ingota od 0,6–1,0 %, odvisno od formata kristalizatorja. Takšna količina žilindre omogoča ugodno pretaljevanje ingota do dolžine okoli 3 m, za pretaljevanje daljših ingotov pa njena sestava in lastnosti ne zagotavljajo pogojev za zeleno sestavo, in s tem kvaliteto ingota v zgornjem delu. Torej pretaljevanje 6 m dolgih ingotov zahteva popravo sestave žilindre med pretaljevanjem, kar prav tako želimo voditi s procesnim računalnikom. Za izdelavo potrebnih algoritmov potrebujemo sliko dejanskega stanja sprememb sestave žilindre med pretaljevanjem 6 m dolgega ingota in njen vpliv na kvaliteto jekla. V ta namen smo pretalili serijo 6 m dolgih ingotov Ø 1000 mm iz Cr-Mi-Mo jekla za popoljšanje brez poprave žilindre med pretaljevanjem.

Začetna teža žilindre je znašala 0,85 % teže ingota in je imela sestavo, ki jo v diagramu na sliki 3 odčitamo na ordinati. Žilindro smo dezoksidirali z aluminijevimi granulami, tako da je znašala poprečna vsebnost topnega aluminija pri nogi 0,023 % in pri glavi 0,017 %. Z višjo stopnjo dezoksidacije žilindrine kopeli bi ublažili naraščanje vsebnosti SiO<sub>2</sub>, vendar bi dobili tudi višje vsebnosti aluminija v jeklu.

Ob povprečnem odgoru silicija za 0,10 % odgori okrog 35 kg Si/taline oziroma v žilindrino kopel dobimo 75 kg SiO<sub>2</sub>, kar popolnoma ustreza kemični sestavi ob koncu pretaljevanja. Prirastek SiO<sub>2</sub> in dodatek aluminijevih granul se kompenzira z izparevanjem fluorita in odlaganjem žilindre na površini ingota, tako da se teža žilindre praktično ne spremeni. Odgor Si pri nogi je za več kot 30 % večji kot pri glavi ingota, kar je posledica nižje vsebnosti SiO<sub>2</sub> v žilindrini kopeli. Močno naraščanje vsebnosti SiO<sub>2</sub> z dolžino ingota in istočasno zniževanje vsebnosti CaF<sub>2</sub> povzroči zvišanje tališča, viskoznosti in specifične ohmske upornosti žilindre. Zvišanje tališča in viskoznosti žilindre negativno vpliva v fazi zaključevanja ingota, ko dovod električne moči postopoma zmanjšujemo in temperatura kovinske in žilindrine kopeli pada. Pri jeklih z nizkim tališčem se žilindra prva strdi, tekoče jeklo jo zalije in dobimo v glavi ingota grobe makro vključke. Za uspešno zaključevanje ingota



Slika 3  
Sprememba sestave in bazičnosti žilindre med pretaljevanjem 6 m dolgih EPŽ ingotov

Fig. 3

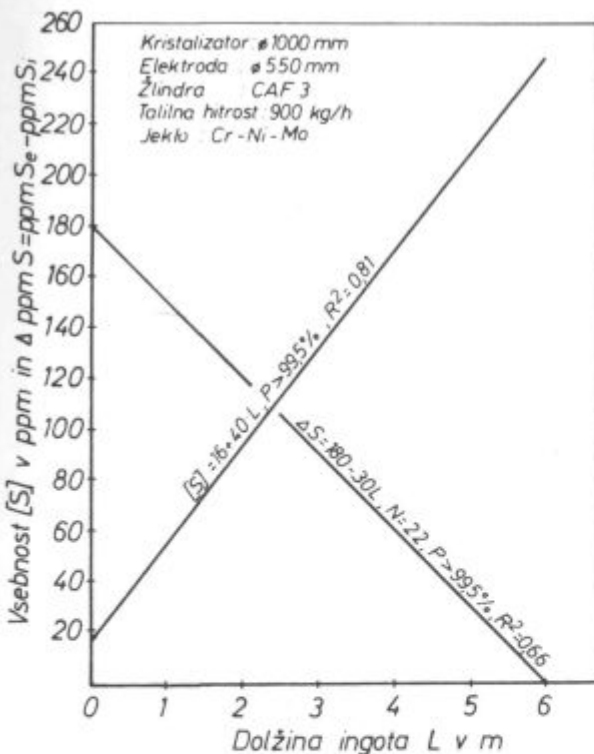
Variation in the composition and the basicity of slag during remelting 6 m long ESR ingots

brez makro vključkov in lunke v glavi ingota naj bo tališče žlindre vsaj 100°C nižje od tališča jekla. Zvišanje specifične ohmske upornosti pomeni, da ingot Ø 1000 mm in dolžine 6 m začnemo pretaljevati s tokom okrog 18 kA, pred fazo zaključevanja pa za enako talilno hitrost zadošča tok okrog 13 kA. Seveda z naraščanjem vsebnosti SiO<sub>2</sub> pada bazičnost žlindre od začetnega razmerja CaO/SiO<sub>2</sub> ~ 18 pri nogi ingota do ~ 1 pri glavi 6 m dolgega ingota (slika 3).

Zniževanje bazičnosti žlindre ima za posledico zvišanje določenih metalurških reakcij oziroma spremembo vsebnosti nekaterih elementov po višini ingota. Stopnja razžveplanja konstantno pada od okrog 85 % pri nogi do pod 5 % pri glavi ingota. Posledica tega je, da vsebnost S v ingotu z dolžino narašča in doseže pri glavi ingota, kjer praktično ne moremo več govoriti o razžveplanju, tudi do 10× večjo vsebnost kot pri nogi (slika 4).

Bazičnost žlindre ima velik vpliv na vsebnost kisika v pretaljenem ingotu. Pri nogi ingota, ko je bazičnost velika, vsebnost kisika običajno ne presega 10 ppm, pri glavi ingota pa je njegova vsebnost tudi do 4× višja (slika 5).

Ob povprečni vsebnosti vodika v elektrodi 2 ppm smo ga izmerili pri nogi 3–4 ppm, pri glavi 6 m dolgega ingota pa 2–3 ppm. Izkušnje so nas naučile, da so vsebnosti vodika pri tem jeklu do 4 ppm v odkovkih manjših dimenzij le redko povzročile izmeček zaradi kosmičev, da pa enake vsebnosti pri odkovkih, kjer smo uporabili kot vložek ingot Ø 1000 mm, obvezno povzročijo grobe, nepopravljive kosmiče. Vakuumiranje elektrod za EPŽ ingote velikih premerov je neizogibno po-

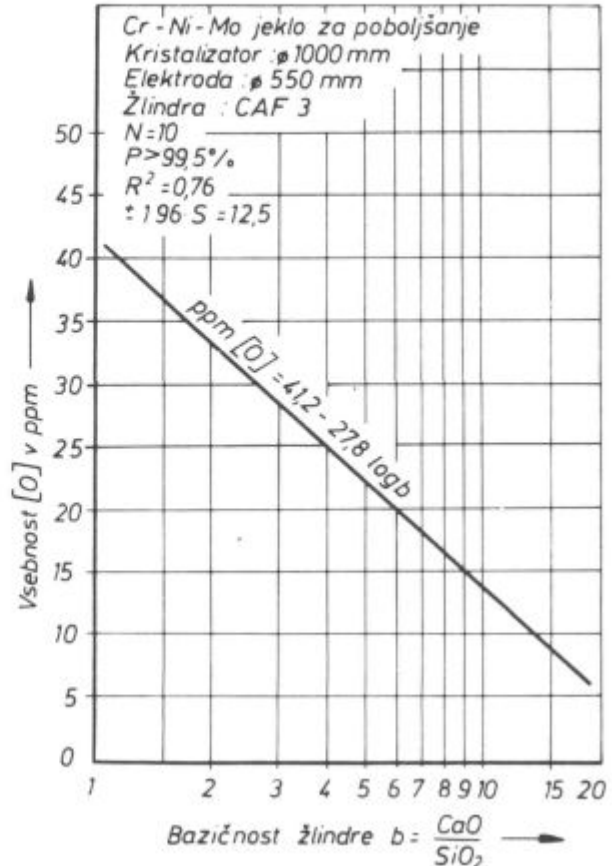


Slika 4

Vsebnost žvepla in razlika vsebnosti žvepla med elektrodo in ingotom, v odvisnosti od dolžine ingota

Fig. 4

Sulphur content, and the difference in the sulphur content between the electrode and the ingot, depending on the ingot length



Slika 5

Vsebnost celotnega kisika v jeklu v odvisnosti od bazičnosti žlindre

Fig. 5

Content of total oxygen in steel depending on the slag basicity

trebno, dodatno pa moramo za jekla, občutljiva na kosmiče, uporabiti tehnologijo pretaljevanja pod zaščitno atmosfero.

Na osnovi dobljenih rezultatov enoletnega obratovanja nove EPŽ peči lahko zaključimo, da je osnovna tehnologija pretaljevanja dolgih ingotov osvojena. Pretaljevanje najdaljših ingotov brez obnavljanja sestave žlindre med pretaljevanjem je nezaželeno, pri večini jekel, ki jih pretaljujemo, pa nemogoče.

### 3. Ukrepi za zmanjšanje razlik v sestavi med ного in glavo ingota

Med pretaljevanjem elektrod enake kemične sestave smo videli, da se sestava žlindre med pretaljevanjem močno spreminja, kar je posledica odgora nekaterih elementov, predvsem silicija. Kontinuirno spreminjanje sestave žlindre povzroči stalno menjanje pogojev pretaljevanja, bazičnost žlindre, odgora in prigora nekaterih elementov itd. Če želimo, da bo sestava ingota po višini konstantna, moramo poskrbeti, da se sestava žlindre med celotnim časom pretaljevanja ne bo spremenila. To pa je med pretaljevanjem pod zračno atmosfero brez dodatnih ukrepov nemogoče. Kontinuirno popravljanje sestave žlindre med pretaljevanjem je omejeno, ker vsak večji poseg v proces predstavlja prekinitve, teh pa naj bo čim manj in naj bodo kratkotrajne. Razvili smo tri variante za popravo žlindre med pretaljevanjem, ki

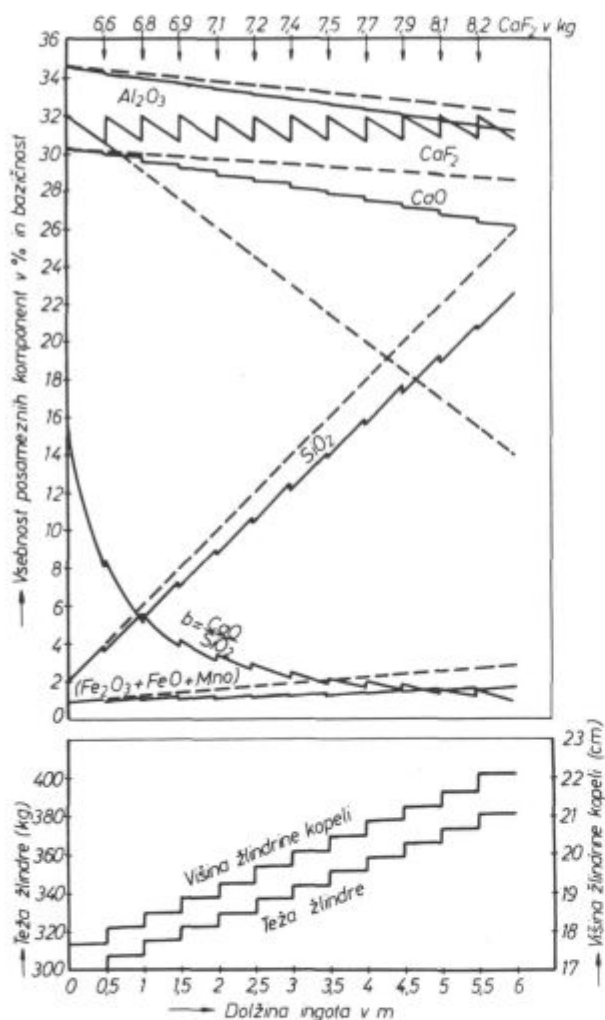


se med seboj razlikujejo po namenu in stopnji poseganja v proces.

**Varianta I**

je najenostavnejša in ne zahteva prekinitve procesa pretaljevanja. Uporabljamo jo v primerih, ko pretaljujemo ingote, nekoliko krajše od 6 m. Priporočljiva je za pretaljevanje jekel z vsebnostjo ogljika do 0,25 %, silicija blizu zgornje analize meje, vsebnost žvepla naj bo že v elektrodi dovolj nizka. Med pretaljevanjem dodajamo v žlindrino kopel le  $\text{CaF}_2$ , in to na vsake 0,5 m dolžine ingota v količini, ki nam zagotavlja med celotnim časom pretaljevanja njegovo vsebnost okrog 31 %.

Na sliki 6 imamo prikazan primer za ingot, Ø 1000 mm in dolžine 6 m. Prekinjene linije kažejo potek sestave brez dodajanja  $\text{CaF}_2$ , polne linije pa za dodajanje  $\text{CaF}_2$ . Zaradi dodajanja  $\text{CaF}_2$  se vsebnosti ostalih komponent nekoliko znižajo. Ob koncu pretaljevanja bo vsebnost  $\text{SiO}_2$  v povprečju 3 % nižja, naraste pa teža žlindre na okrog 380 kg oziroma višina žlindrine kopeli od 17,7 na 22 cm. Posledica tega je večja poraba



Slika 6

Potek sprememb sestave in količine žlindre z dodajanjem  $\text{CaF}_2$  med pretaljevanjem ingota Ø 1000 mm

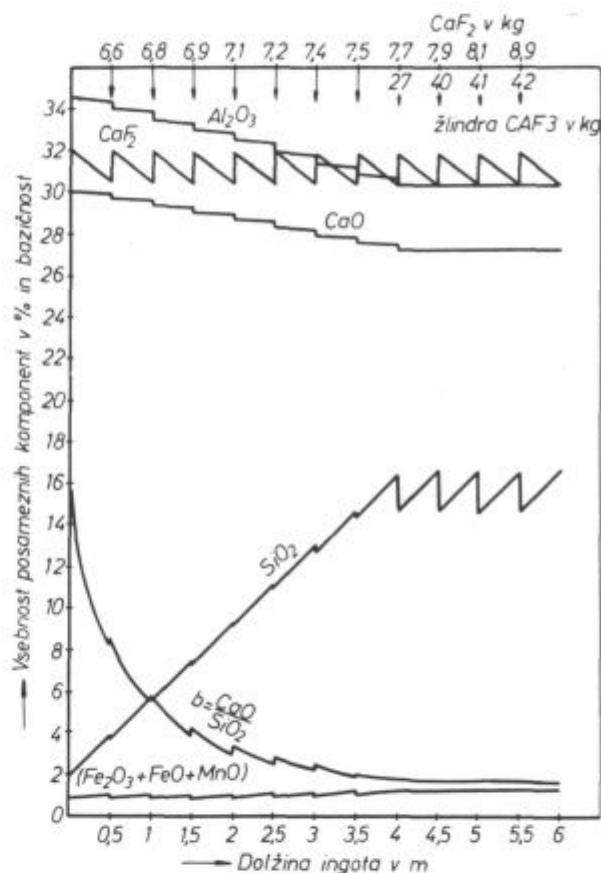
Fig. 6

Variations of the composition and the amount of slag by adding  $\text{CaF}_2$  during remelting a Ø 1000 mm ingot

električne energije v povprečju za 6 %. Konstantna vsebnost  $\text{CaF}_2$  daje žlindri med celotnim časom pretaljevanja zadosti nizko viskoznost in tališče, tako da je zmanjšana nevarnost predora in grobih makrovključkov v glavi ingota. Poraba žlindre je 8,6 kg/t in  $\text{CaF}_2$  2,3 kg/t.

**Varianta II**

se razlikuje od variante I po tem, da poleg dodajanja  $\text{CaF}_2$  v zgornjem delu ingota še del stare žlindre postopoma zamenjujemo z novo. Količina žlindre je enaka kot pri varianti I, vsebnost  $\text{SiO}_2$  v žlindri pa praktično ne preseže vrednosti 16 %. Poleg ugodne viskoznosti in tališča žlindre dosežemo s to varianto potrebno razžveplanje pri glavi ingota. Bazičnost žlindre znaša na začetku pretaljevanja okrog 18, proti koncu pa okrog 2. Poraba žlindre se poveča za 4,3 kg/t. Potek sestave in bazičnosti žlindre je prikazan na sliki 7.



Slika 7

Potek sprememb sestave in bazičnosti žlindre z dodajanjem  $\text{CaF}_2$  in delno zamenjavo stare žlindre z novo med pretaljevanjem ingota Ø 1000 mm

Fig. 7

Variations of the composition and the amount of slag by adding  $\text{CaF}_2$  and partial substitution of old slag by the new one during remelting a Ø 1000 mm ingot

**Varianta III**

je nastala na osnovi dejstva, da praktično vsak EPŽ ingot pretaljujemo pod visoko bazično žlindro le na začetku, pozneje pa bazičnost hitro pade in se asimptotično približuje vrednosti 1. Zato smo varianto II izpo-

polnili in že na začetku novi žlindri dodali del povratne. Prednosti so naslednje:

- zmanjša se poraba žlindre v kg/t jekla, in s tem poceni proizvodnja,
- povratna žindra iz procesa vsebuje manj plinov, in s tem je navzem vodika pri nogi ingota manjši,
- zaradi višje vsebnosti SiO<sub>2</sub> je specifična ohmska upornost žlindre večja, kar zahteva za enako moč nižje tokove, ki so na štartu pretaljevanja zaželeni,
- odgor Si pri nogi je manjši in razlike v vsebnosti po višini ingota manjše.

Za sestavo mešanice nove in povratne žlindre uporabimo sestave iz naslednje tabele:

Komponente	Sestava žlindre v ut. %	
	nova	stara
CaO	30	28
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	34	32
CaF <sub>2</sub>	32	30
SiO <sub>2</sub>	2	16-23
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + FeO + MnO	1	3
b = CaO/SiO <sub>2</sub>	15	1,2-1,7

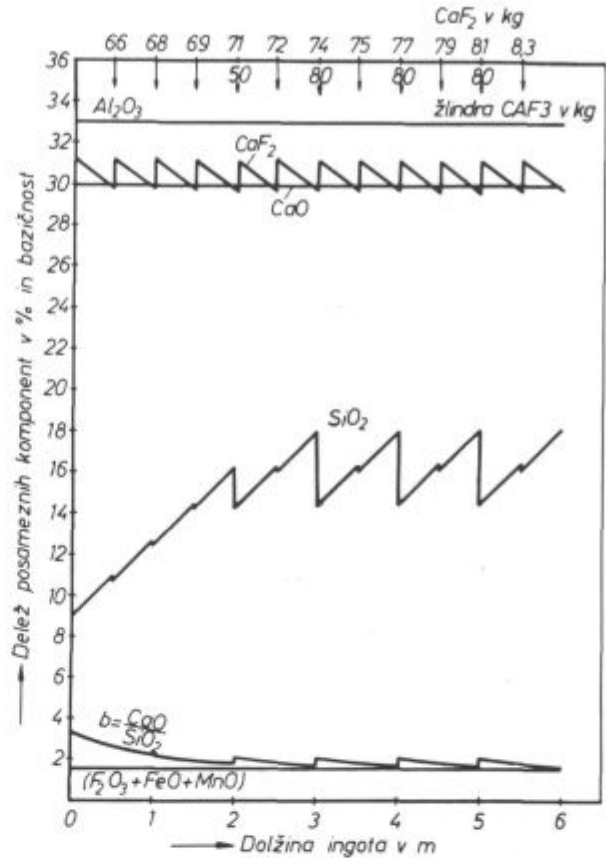
Različna razmerja nove in povratne žlindre nam dajejo žlindre naslednjih sestav:

Komponente	Razmerja nova/povratna					
	90/10	80/20	70/30	60/40	50/50	40/60
CaO	29,8	29,6	29,4	29,2	29,0	28,8
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	33,8	33,6	33,4	33,2	33,0	32,8
CaF <sub>2</sub>	31,8	31,6	31,4	31,2	31,0	30,8
SiO <sub>2</sub>	3,4-4,1	4,8-6,2	6,2-8,3	7,6-10,4	9,0-12,5	10,4-14,6
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + FeO + MnO	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2
b = CaO/SiO <sub>2</sub>	7,3-8,8	4,8-6,2	3,5-4,7	2,8-3,8	2,3-3,2	2,0-2,8

Seveda delo s takšno žlindro zahteva popravo sestave zaradi naraščanja vsebnosti SiO<sub>2</sub> že v spodnjem delu ingota. Primer uporabe žlindre, sestavljene iz 60 % nove in 40 % povratne, kaže slika 8, kjer je prikazan potek vsebnosti posameznih komponent, bazičnosti in dodatkov CaF<sub>2</sub> ter nove žlindre. CaF<sub>2</sub> dodajamo med celotnim časom pretaljevanja na vsakih 0,5 m, del stare žlindre pa začnemo zamenjevati z novo na višini ingota 2 m in ponovimo pri 3, 4 in 5 m. Torej del stare žlindre zamenjamo z novo štirikrat v skupni teži 290 kg. Če upoštevamo, da smo na celo šaržo dodali še 82 kg CaF<sub>2</sub>, je skupna poraba nove žlindre 13 kg/t jekla in CaF<sub>2</sub> 2,3 kg/t jekla. Enako porabo imamo pri varianti II, vendar je ta ugodnejša s stališča kvalitete jekla in praktične izvedbe, ker odvezem stare in dodatek nove žlindre časovno spovpadata z menjavo elektrode. Bazičnost žlindre se med pretaljevanjem le malo spreminja.

Poleg stalnega spreminjanja sestave žlindre in s tem pogojev pretaljevanja vpliva na sestavo ingota še različna sestava elektrod.

Pretaljevanje elektrod različnih matičnih šarž in izrabljenih starih valjev v en EPŽ ingot je mogoče le tedaj, kadar se v sestavi ne razlikujejo več, kot je to s predpisom dovoljeno. Ker predpisi dovoljujejo minimalna odstopanja, v večini primerov tega pogoja ne izpolnjujemo. V tem primeru uporabimo tehnologijo dolgeranja pri EPŽ procesu, kar je bilo podrobneje opisano v 1. številki Že Zb 18 (1984).



Slika 8

Potek sestave in bazičnosti žlindre z dodajanjem CaF<sub>2</sub>, dodatkom 40 % stare žlindre na začetku in zamenjavo stare žlindre z novo med pretaljevanjem ingota Ø 1000 mm

Fig. 8

Variations of the composition and the amount of slag by adding CaF<sub>2</sub>, and the addition of 40 % old slag in the beginning, and the substitution of old slag by the new one during remelting a Ø 1000 mm ingot

### ZAKLJUČEK

Vsebnosti posameznih elementov so po dolžini ingota različne, kar je pogojeno z malo količino žlindre in dolžino ingota. Nakazali smo možnosti za odpravo teh razlik in metod, ki jih uporabljamo v EPŽ obratu železarnih Ravne. Pretaljevanje dolgih EPŽ ingotov s popravo sestave žlindre med pretaljevanjem nam da zadovoljive rezultate glede homogene sestave vzdolž ingota. Smemo trditi, da je računalniško vodenje električnih parametrov in poprave sestave žlindre med pretaljevanjem nenadomestljivo za pretaljevanje kakovostno neoporečnih dolgih EPŽ ingotov.

### Literatura:

1. M. Švajger: Magistrska naloga, VTO Montanistika, Univerza E. Kardelja v Ljubljani, 1984.
2. Projekt P-24: Razvoj EPŽ v Železarni Ravne, interna dokumentacija.

## ZUSAMENFASSUNG

Die Zweijährigen Erfahrungen der Umschmelzung langer ESU Blöcke von 1000 mm Durchmesser und 36 Tonnen Gewicht werden beschrieben. Wegen der chemischen Reaktionen die während der Umschmelzung unter der Luftatmosphäre verlaufen entstehen grosse Unterschiede im Gehalt einiger Elemente zwischen Fuss und Kopf des ESU Ingots. Diese Unterschiede sind verhältnissgleich der Länge des Ingots. Im

Hüttenwerk Ravne hat man durch die Korrektur der Schlacke während der Umschmelzung erreicht, dass sich diese und damit auch die Stahlzusammensetzung während der Umschmelzung so wenig wie möglich ändern. Dadurch ist die Möglichkeit gegeben, dass auch lange Blöcke homogen umgeschmolzen werden.

## SUMMARY

Two-year experiences in remelting long ESR ingots with the diameter 1000 mm and the weight 36 tons are described. Due to metallurgical reactions occurring in remelting in air great differences in the content of some elements appear between the bottom and the top of ESR ingots. These differences

are proportional to the ingot length. By correction of the slag composition during the remelting, the slag composition and thus the steel composition during remelting did not vary substantially anymore. Thus the remelting of homogeneous long ingots was achieved in the Ravne Ironworks.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведены двухлетние опыты переплавки длинных слитков ЭСП-а диаметра 1000 мм и веса 36 тонн. Вследствии металлургических реакций, которые происходят во время переплавки под воздушной атмосферы получают значительные разницы, что касается некоторых элементов в донной и головной части слитка ЭСП-а. Эти разницы прямопропорциональны длине слитка. В металлургиче-

ском заводе Железарна Равне авторам этой статьи удалось с поправкой состава шлака во время переплавки, что её состав, а с этим также и состав стали, чем меньше изменялся. Таким образом оказалась возможность выполнения переплава также длинных слитков сравнительно однородного состава.

## Najnovejša knjiga o elektrožlindrnih procesih!

G. Hoyle: Electroslag processes

V zadnjih dveh desetletjih se je rafinacija jekla s električnim pretaljevanjem pod žlindro (v angl. ESR, nem. ESU, slov. EPŽ) razvila od preprostega novega postopka do visoko učinkovite metode za rafinacijo kovin. Knjiga je izšla po dveh desetletjih intenzivnega raziskovalnega dela in obravnava principe, prakso in uporabo osnovnega EPŽ procesa in njegovih variant.

V začetnih poglavjih razlagamo, kako ta postopek deluje, izhajajoč iz metalurških, kemičnih, fizikalnih in strojniških gledišč ter obravnavamo taljenje, »čiščenje« in strjevanje kovine. Sledijo razprave in razlage, povezane z izboljšavami v sestavi, čistosti, strukturi in lastnostih EPŽ jekel, kar je povezano z opisom delovanja, tehnologije, naprav, kontrole, praktičnih podrobnosti, varnosti in varstva okolja. Posebna pozornost je namenjena razlogom za uporabo EPŽ postopka. Izkušnje pri uporabi le-teh so podrobno obravnavane s praktičnimi primeri, povezano z možnostjo proizvodnje specialnih izdelkov, kot so veliki ingoti, votla telesa, ulitki, valji in specialne zlitine. Opisane so variacije konvencionalnega EPŽ postopka, precej pa je upoštevana tudi ekonomika in možnost prihrankov.

Knjiga je namenjena vsem, ki so iz kakršnega koli razloga zainteresirani za zagotavljanje čistosti kovin in posebnih lastnosti. Knjiga je pisana tako, da ne zahteva predhodnega specializiranega znanja na obravnavanem področju in torej lahko služi tudi kot učbenik. Namenjena je tehnologom, proizvajalcem in uporabnikom jekel in super zlitin, strokovnjakom na področju varjenja in raziskovalcem.

Vsebina:

1. Uvod, 2. Taljenje, 3. Obnašanje kovin in vključkov, 4. Strjevanje ingota, 5. Strukture in lastnosti, 6. Uporaba EPŽ postopka, 7. Način taljenja in naprave, 8. Instrumentacija in kontrola, 9. Kristalizatorji in druge vodno hlajene komponente, 10. Proizvodna praksa, 11. Specialne tehnike in proizvodi, 12. Variante, 13. Ekonomika elektrožlindrnih procesov. Kazalo.

Izdaja: APPLIED SCIENCE PUBLISHERS LTD  
Ripple Road, Barking, Essex IG11 0SA,  
England.

Cena knjige je 51,25 US\$.





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

Oproščeno plačila prometnega davka na podlagi mnenja Izvršnega sveta SRS  
— sekretariat za informacije št. 421-1/172 od 23. 1. 1974

Naslov uredništva: ZPSŽ — Železarna Jesenice, 64270 Jesenice, tel. št. 81-341  
int. 2619 — Tisk: TK »Gorenjski tisk«, Kranj



# VSEBINA

UDK: 669.15-194.56:669.187.2

ASM/SLA: SS, R1h, W18S

Metallurgija — nerjavna jekla — EO peč — termodinamika — ravnotežje Si-C in Si-Cr

N. Smajić

**Pomen in vloga silicija pri izdelavi nerjavnega jekla**

**II. del: Termodinamično ravnotežje Si-C v VOD ter Si-Cr v EOP**

Železarski zbornik 19 (1985) 1 s 1—5

Uporaba visoko ogljičnega ferokroma pri izdelavi nerjavnih jekel je nujna za znižanje proizvodnih stroškov, vendar pri tem nastopajo problemi zaradi razmeroma velike vsebnosti Si v talini. Učinkovita priprava taline za vakuumsko oksidacijo v VOD ponovci ali AOD konvertorju zahteva poprejšnjo odpravo prekomerne vsebnosti Si, sicer se zmanjša produktivnost, dobimo velike količine žlindre, poveča se specifična poraba ognjeobstoje obloge, itd. Za čimbolj popolno odpravo Si z oksidacijo v elektro obločni peči in optimalno vodenje vakuumске oksidacije moramo poznati ustrezna ravnotežna stanja Si/C in Si/Cr oz. Si/C/Cr. Delo obravnava termodinamično ravnotežje Si/C v VOD ter Si/Cr v EOP v odvisnosti od temperature, parcialnega tlaka CO, sestave taline in žlindre.

Avtorski izvleček

DK: 669.187.3:669-154.9

ASM/SLA: D8p, D8n

M. Švajger, J. Lamut

**Izkušnje Železarne Ravne na področju tehnologije, kontrole kakovosti in raziskav v EPŽ proizvodnji**

Železarski zbornik 19 (1985) 1 s 7—12

Med električnim pretaljevanjem pod žlindro potekajo metalurške reakcije, zaradi česar se sestava jekla z dolžino ingota spreminja. Te spremembe so tem večje, čim daljši je EPŽ ingot. S popravo sestave žlindre med pretaljevanjem dosežemo, da je njena sestava in s tem sestava ingota enakomernejša.

Avtorski izvleček

# INHALT

UDK: 669.187.3:669-154.9

ASM/SLA: D8p, D8n

Metallurgie — Stahlerzeugung — sekundäre Raffination von Stahl — Prozessführung

M. Švajger, J. Lamut

**Erfahrungen des Hüttenwerkes Ravne auf dem Gebiet der Technologie, der Gütekontrolle und der Forschungen in der ESU Produktion**  
Železarski zbornik 19 (1985) | S 7—12

Während der Elektro — Schlacke — Umschmelzung verlaufen chemische Reaktionen, die eine Änderung der Stahlzusammensetzung mit der Länge des Ingots verursachen. Diese Änderungen sind um so grösser je länger der ESU Ingot ist. Durch die Korrektur der Schlackenzusammensetzung während der Umschmelzung wird erreicht, dass sich diese und damit auch die Stahlzusammensetzung des Ingots so wenig wie möglich ändert, dass diese Gleichmässiger wird.

Auszug des Autors

UDK: 669.15-194.56:669.187.2

ASM/SLA: SS, R1h, W18s

Metallurgie — nichtrostende Stähle — Lichtbogenofen — Thermodynamik — Si-Cr Gleichgewicht

M. Smajić

**Bedeutung und Rolle von Silizium bei der Erzeugung von nichtrostenden Stählen**

**2. Teil: Thermodynamisches Gleichgewicht Si-C in der VOD Anlage und Si-Cr im Lichtbogenofen**

Železarski zbornik 19 (1985) | S 1—5

Die Anwendung von Hochkohlenstoffhaltigem FeCr bei der Erzeugung von nichtrostenden Stählen ist dringend für die Erniedrigung der Erzeugungskosten jedoch entsteht da das Problem des verhältnismässig hohen Si gehalten in der Schmelze. Die Vorbereitung der Schmelze für die Oxydation in der VOD Pfanne oder im AOD konverter verlangt die Abschaffung des übermässigen Si Gehaltes, denn sonst wird die Produktivität kleiner, die Schlackemenge wird zu gross, der spezifische Verbrauch an feuerfestem Material wird grösser, und so weiter. Für die vollkommene Abschaffung von Si durch die Oxydation im Lichtbogenofen und die optimale Führung der Vakuumoxydation müssen die entsprechenden Gleichgewichtszustände Si/C und Si/Cr bzw. Si/C/Cr bekannt sein. Im Artikel wird das thermodynamische Gleichgewicht Si/C in der VOD Anlage und Si/Cr im Lichtbogenofen in Abhängigkeit von der Temperatur, des CO Partialdruckes, und der Zusammensetzung der Schmelze und der Schlacke behandelt.

Auszug des Autors

# CONTENTS

UDK: 669.15-194.56:669.187.2

ASM/SLA: SS, R1h, W18s

Metallurgy — Stainless Steel — Arc Furnace — Thermodynamics  
— Si-C and Si-Cr Equilibria

N. Smajic

**Importance and Role of Silicon in Manufacturing Stainless Steel.**

**Part II: Thermodynamic Equilibrium Si-C in VOD, and Si-Cr in Arc Furnace**

Železarski zbornik 19 (1985) 1 P 1—5

Application of high-carbon ferrochromium in manufacturing stainless steel is essential to reduce the production costs but it causes problems due to relatively high silicon content in the melt. Efficient preparation of the melt for the vacuum refining in the VOD ladle or AOD converter demands previous elimination of the excessive silicon content, not to reduce the output by great amounts of slag, increased specific wear of refractory lining, etc. To eliminate silicon as completely as possible by refining in the electric arc furnace, and for the optimal control of vacuum refining, it is necessary to know the corresponding Si/C and Si/Cr, or Si/C/Cr equilibria. The paper treats the thermodynamic Si/C equilibrium in VOD, and Si/Cr equilibrium in the arc furnace depending on temperature, CO partial pressure, and melt and slag compositions.

Author's Abstract

DK: 669.187.3:669-154.9

ASM/SLA: D8p, D8n

Steelmaking — Secondary Steel Refining — Process Control

M. Švajger, J. Lamut

**Experiences of Ravne Ironworks in the Field of Technology, Quality Control, and Investigations of the ESR Process**

Železarski zbornik 19 (1985) 1 P 7—12

During the electroslag remelting process metallurgical reactions occur which cause variations in the steel composition along the ingot length. These variations are proportional to the ingot length. By the correction of the slag composition during the remelting process it was achieved that the slag composition and thus the composition of ingot became more uniform.

Author's Abstract



# СОДЕРЖАНИЕ

DK: 669.187.3:669-154.9  
ASM/SLA: D 8 p, D 8n

Производство стали — вторичная рафинация стали — управл

M. Švajger, J. Lamut

**Опыты металлургического завода Железарна Равне в области технологии, контроля качества и исследований при производстве ЭШП.**

Železarski zbornik 19 (1985) 1 C 7—12

В течении электрической переплавки стали под шлаком происходят металлургические реакции, вследствие которых состав стали, взяв во внимание длину слитка, меняется. Эти изменения тем больше, чем длиннее слиток ЭШП-а. С поправкой состава шлака во время переплава можно получить более равномерный состав слитка.

Автореф.

UDK: 669.15-194.56:669.187.2  
ASM/SLA: 8G. R1h, W18s.

Металлургия — нержавеющие стали — дуговая электропечь — термодинамика — равновесие Si-C и Si-Cr.

N. Smajić

**Значение и роль кремния при изготовлении нержавеющей стали. II. часть: Термодинамическое равновесие Si-C в устройстве для окисления в вакууме а также Si-Cr в дуговой электропечи.**

Železarski zbornik 19 (1985) 1 C 1—5

Применение высокоуглеродистого феррохрома при изготовлении нержавеющих сталей необходима для снижения производственных расходов, но при этом возникают проблемы вследствие относительно большого содержания кремния в расплаве. Эффективное приготовление расплава для вакуумного раскисления в разливочном ковше или в кислородном конвертере требует удаление чрезмерного содержания Si, иначе уменьшается продуктивность, образуется большое количество шлака, увеличивается удельный расход огнестойкой футеровки и прочие недостатки. Для того чтобы чем более полно удалить Si с окислением в дуговой электропечи и выполнять вакуумное окисление наиболее благоприятным способом, необходимо быть хорошо ознакомлен с соответствующим равновесием Si/C и Si/Cr отн. Si/C/Cr.

В статье рассмотрено термодинамическое равновесие в устройстве для окисления в вакууме и в дуговой электропечи в зависимости от температуры, парциального давления CO, а также состава расплава и шлака.

Автореф.

