

ŽELEZARSKI ZBORNIK

VSEBINA		Stran
Arh Jože, J. Triplat — Železarna Jesenice IZKUŠNJE ŽELEZARNE JESENICE PRI IZDELAVI NERJAVNIH JEKEL PO DUPLEKS PO- STOPKU EO PEČ — VOD NAPRAVA		17
Triplat Jože, J. Arh — Železarna Jesenice DOSEŽKI PRI IZDELAVI DINAMO JEKEL V VOD NAPRAVI V ŽELEZARNI JESENICE		25
Smajić Nijaz — Metalurški inštitut Ljubljana OPTIMIRANJE EOP — VOD POSTOPKA PRO- IZVODNJE NERJAVNIH JEKEL		31
Brudar Božidar — Železarna Jesenice MATEMATIČNI MODEL TOPLOTNEGA STA- NJA LIVNE PONOVCÉ PRI OGREVANJU IN VLIVANJU		39
Tehnične novice Marinšek Filip NOVE ELEKTRO PLOČEVINE V ŽELEZARNI JESENICE		47

LETO 19 ŠT. 2 — 1985

ŽEZB BQ 19 (2) 17— 52 (1985)

ŽELEZARSKI ZBORNIK

IZDAJAJO ŽELEZARNE JESENICE, RAVNE, ŠTORE IN METALURŠKI INŠTITUT

LETO 19

LJUBLJANA

JUNIJ 1985

Vsebina:	Inhalt	Contents	Содержание
Stran:	Seite	Page	страница
<p>J. Arh, J. Triplat Izkušnje Železarne Jesenice pri izdelavi nerjavnih jekel po dupleks postopku EO peč VOD naprava 17 UDK: 669.15-194.56:669.183.184 ASM/SLA: SS-1, D7a, D8m</p>	<p>J. Arh, J. Triplat Erfahrungen des Hüttenwerkes Jesenice bei der Erzeugung nichtrostender Stähle nach dem Duplex verfahren LB Ofen — VOD Anlage 17 UDK: 669.15-194.56:669.183.184 ASM/SLA: SS-e, D7a, D8m</p>	<p>J. Arh, J. Triplat Experiences of Jesenice Ironworks in Manufacturing Stainless Steel by the Duplex Process: Arc Furnace — VOD Set-up 17 UDK: 669.15-194.56:669.183.184 ASM/SLA: SS-e, D7a, D8m</p>	<p>J. Arh, J. Triplat Опыты металлургического завода Железарна Есенице при изготовлении нержавеющей сталей дуплекс-процессом ДЭ-печь — установка. 17 UDK: 669.15-194.56:669.183.184 ASM/SLA: SS, D7a, D8m</p>
<p>J. Triplat, J. Arh Dosežki pri izdelavi dinamo jekel v VOD napravi v Železarni Jesenice 25 UDK: 669.183.184:669.14.018.5 ASM/SLA: D7a, D8m, TSn</p>	<p>J. Triplat, J. Arh Erfolge bei der Erzeugung von Dynamostahl in der VOD Anlage im Hüttenwerk Jesenice 25 UDK: 669.183.184:669.14.018.5 ASM/SLA: D7a, D8m, TSn</p>	<p>J. Triplat, J. Arh Achievements in Manufacturing Dynamo Steel in the VOD Equipment in Jesenice Ironworks 25 UDK: 669.183.184:669.14.018.5 ASM/SLA: D7a, D8m, TSn</p>	<p>J. Triplat, J. Arh Достижения при изготовлении динамной стали в — устройстве в металлургическом заводе Железарна Есенице. 25 UDK: 669.183.184:669.14.018.5 ASM/SLA: D7a, D8m, TSn</p>
<p>N. Smajić Optimiranje EOP — VOD postopka proizvodnje nerjavnih jekel 31 UDK: 669.15-194.56:669.187.2 ASM/SLA: SS-e, 1-73</p>	<p>N. Smajić Die Optimierung des LBO — VOD Verfahrens der Erzeugung von nichtrostenden Stählen 31 UDK: 669.15-194.56:669.187.2 ASM/SLA: SS-e, 1-73</p>	<p>N. Smajić Optimisation of the Arc-Furnace — VOD Process for Manufacturing Stainless Steel 31 UDK: 669.15-194.56:669.187.2 ASM/SLA: SS-e, 1-73</p>	<p>N. Smajić Оптимизация производства стали EOP — способом. 31 UDK: 669.15-194.56:669.187.2 ASM/SLA: SS-e, 1-73</p>
<p>B. Brudar Matematični model toplotnega stanja livne ponovce pri ogrevanju in vlivanju 39 UDK: 621.746.32:536 ASM/SLA: W19b, D11k, U4j</p>	<p>B. Brudar Mathematisches Modell des Wärmezustandes einer Giesspfanne beim Erwärmen und Giessen 39 UDK: 621.746:536 ASM/SLA: W19b, D11k, U4j</p>	<p>B. Brudar Mathematical Model of Thermal State of Casting Ladle during Heating and Casting 39 UDK: 621.746.32:536 ASM/SLA: W19b, D11k, U4j</p>	<p>B. Brudar Математическая модель теплового режима разливочного ковша при нагреве и разливки. 39 UDK: 621.746.32:536 ASM/SLA: W19b, D11k, U4j</p>
<p>Tehnične novice 47</p>	<p>Technische Nachrichten 47</p>	<p>Technical News 47</p>	<p>Технические новости 47</p>



Izkušnje Železarne Jesenice pri izdelavi nerjavnih jekel po dupleks postopku EO peč — VOD naprava

UDK: 669.15-194:56:669.183.184
 ASM/SLA: SS-e, D7a, D8m

Jože Arh, Jože Triplat

Prispevek obravnava izdelavo avstenitnih nerjavnih jekel po dupleks postopku EO peč — VOD naprava. Opisana je izdelava jekla v EO peči, od sestave vložka do izpusta jekla z redukcijo žilindre med prebodom in v ponvi, posnemanje žilindre, priprava za VOD postopek, oksidacija, razogljčenje, redukcija — odžveplanje in degazacija taline.

Opisana je VOD naprava in naprava za legiranje. Navedena je kritična ocena primernosti naprave za zelo širok proizvodni program v železarni Jesenice. Na koncu so navedene še ekonomske in kvalitetne prednosti dupleks postopka izdelave nerjavnih jekel.

UVOD

Železarna Jesenice je po izgradnji hladne valjarne v l. 1975 močno povečala proizvodnjo nerjavnih jekel. Ta jekla pa smo vse do leta 1984 izdelovali v električni obločni peči na konvencionalen način. Od julija 1984 pa izdelujemo nerjavna jekla vseh vrst po sodobnem VOD postopku oziroma po dupleks postopku EO peč — VOD naprava.

Vse naprave so grajene za izdelavo 65 t tekočega jekla. Tehnologijo izdelave smo osvojili hitro, brez večjih težav. Vsa proizvodnja ene od dveh EO peči teče neprekinjeno po dupleks postopku.

Kratek opis naprave

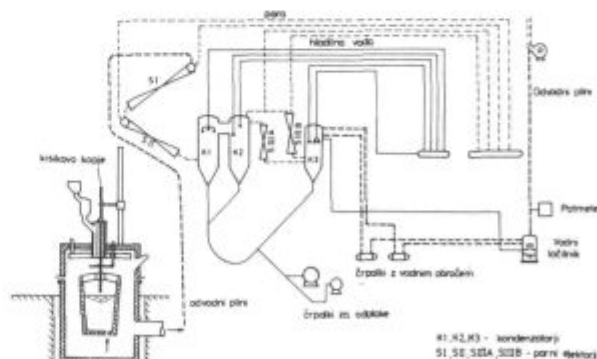
Naprava sestoji v glavnem iz naslednjih delov:

- stojišča za vakuumiranje
- vakuumskih črpalk
- naprave za legiranje
- prostora za krmiljenje z merilnimi instrumenti

Stojišče za vakuumiranje sestoji iz vakuumske komore, ki je znotraj zaradi zaščite plašča in zmanjšanja toplotnih izgub obzidana z ognjevarnim materialom. Žerjav prinese ponev s tekočim jeklom in jo postavi v ustrezna ležišča v komoro. Pred tem je treba na ponev preključiti cev za argon. Pri izdelavi nerjavnih jekel pokrijemo ponev z obzidanim pokrovom. Nato zapeljemo

pokrov komore nad komoro in ga spustimo na gumijasto tesnilo, ki leži v ustreznem žlebu in ga pri dvigu pokrova avtomatično zalije voda. Obratno pa se pri spustu pokrova žleb avtomatično izprazni.

Tudi vakuumski pokrov je znotraj obložen s keramičnim ognjevarnim materialom. V notranjosti pokrova je večji vodnohlajeni in manjši odmični vodnohlajeni ščit. Na plašču pokrova je opazovalna odprtina z loputo in TV kamero. Na zgornji strani pokrova je cevni nastavek za kisikovo kopje in za legirni sistem, priprava za dviganje in spuščanje kopja in posoda za legiranje (500 l) z dvojnimi zvonastimi zaporami, ki omogočata legiranje pod vakuumom.



Slika 1
 Shematski prikaz VOD naprave

Fig. 1
 Scheme of the VOD set-up

Sesalna cev, premera 1200 mm, ki leži v kanalu, pride v navpično cev in povezuje vakuumsko komoro s črpalkami.

Za vakuumiranje celotnega sistema so na voljo vakuumske črpalke, ki sestojijo iz štirih parnih ejektorjev s pripadajočimi kondenzatorji, črpalkama za odsesavanje hladilne vode, dveh obročnih vodnih črpalk s pripa-

dajočim izločevalcem vode ter razdelilcem za vodno paro in hladilno vodo.

Kapaciteta črpalk znaša:

— vključeni ejetorji 1, 2, 3 A in obročna vodna črpalka I — 200 kg/h pri 0,7 mbar

— vključeni ejetorji 3 B in obročni vodni črpalki I+II — 1500 kg/h pri 54 mbar

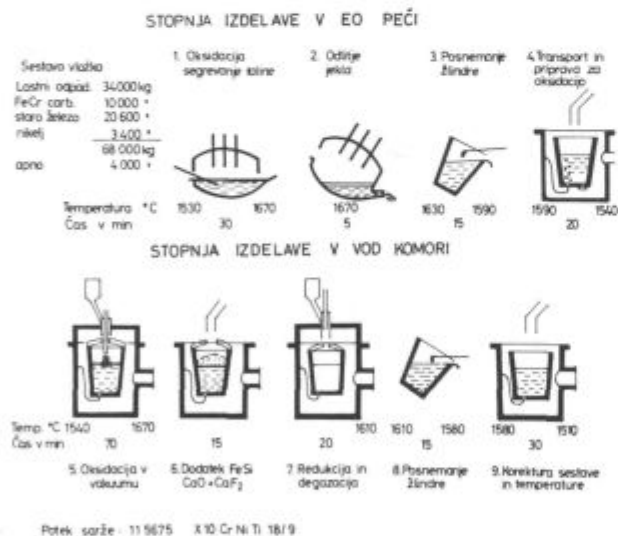
Naprava za legiranje sestoji iz dveh silosov po 10 m³ in 8 silosov po 6 m³, ki jih oskrbujemo z zabojniki po višnji progi. Za iznos materiala so pod lunke nameščeni magnetni stresalni žlebovi.

Tehtalni silos zapeljemo pod poljubno izbrani silos, napolnimo željeno količino, ki jo nato izpraznimo v vmesni silos. Iz vmesnega silosa teče material preko stresalnega žlebu na trak, ki ga transportira navzgor in preko odmične cevi polni vakuumski legirni sistem ali preko daljše cevi direktno v ponev pri odprtem pokrovu.

Na sliki 1 je shematično predstavljena VOD naprava.

IZDELAVA JEKLA V EO PEČI

Pregled posameznih stopenj izdelave jekla v peči je prikazan na sliki 2 za jeklo X 10 CrNiTi 18 9. Vložek je pri naših razmerah sestavljen iz 35 do 50 % istovrstnih odpadkov, iz visokooljičnega ferokroma, feroniklja ali drugih nikljevih surovin in nelegiranega starega železa. Pri takšni sestavi vložka imamo ob raztalitvi od 0,9 do 1,3 % C in okrog 0,2 % Si. Šarži dodamo cca 45 kg apna/t, tako da imamo pred izlitjem jekla visokobazično žlindro. Z oksidacijo v peči znižamo ogljik na 0,6



Stopnja izdelave	Kemizna sestava jekla v %							Žlindra				Dodatki
	C	Si	Mn	S	Cr	Ni	Ti	Ox ₂	CaO	SiO ₂	FeO	
1	1,05	0,10	0,66	0,024	18,28	8,23						
2	0,68	0,35	1,30	0,020	17,10	9,70						
3	0,65	0,13	1,42	0,020	17,40	9,77		7,90	4,17	22,6	0,7	300kg FeMn, 250kg FeCr, 952 Nm ³ O ₂ , 300kg CaO
5	0,03											
6												800kg FeSi, 100kg Al, 1500kg CaO, 600kg CaF ₂
7	0,03	0,35	1,95	0,005	17,15	9,54						300kg apno, 400kg FeSi, 100kg FeCr, 100kg Ni
9	0,06	0,55	1,51	0,004	16,95	9,55	0,32					
Končna analiza	0,06	0,64	1,52	0,004	17,05	9,56	0,31					
Predoba	0,05	0,50	1,25	<	17,00	9,50	5±C					
	0,08	0,75	1,75	0,020	19,00	10,50						

Slika 2 Stopnje izdelave v EO peči in VOD komori

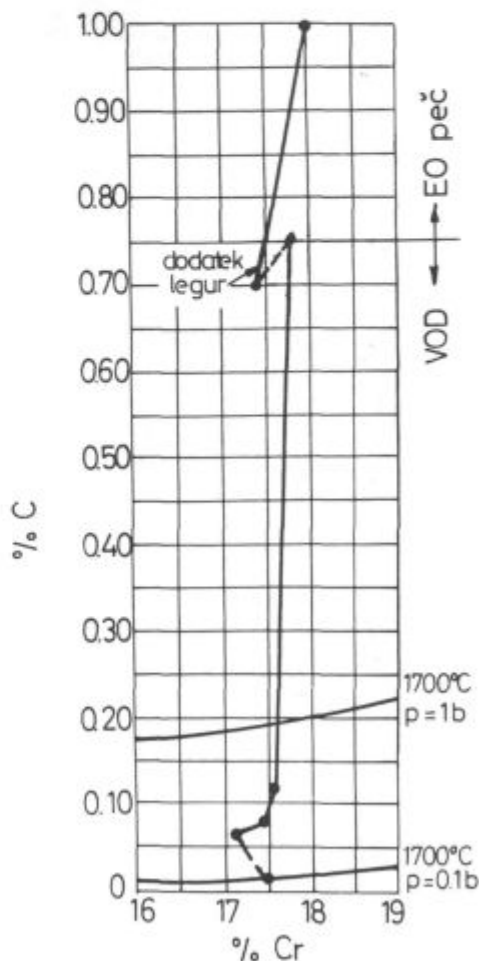
Fig. 2 Manufacturing stages in the arc furnace and the VOD chamber

do 0,8 % C, žaržo istočasno ogrejemo in reduciramo žlindro z mešanico drobnega FeSi in karburita ali koksa.

Šaržo odlijemo pri okrog 1640° v dobro ogreto ponev, skupaj z žlindro. Pri tem pride zaradi intenzivnega mešanja še do dodatne redukcije kroma iz žlindre. Ponev dvignemo na stojišče za posnemanje žlindre in ob pomoči argona posnamemo žlindro. Vsebnost Cr v žlindri se giblje okrog 5 %. Vsebnost Si v jeklu pa je pod 0,10 %.

IZDELAVA JEKLA V VAKUUMSKI KOMORI

Po posnemanju žlindre postavimo ponev v vakuumsko komoro, priključimo argon in dodamo cca 10 kg apna/t za vezanje pri oksidaciji nastale SiO₂. Odvisno od kemične analize vzorca, dodamo tudi druge dodatke (FeCr carb., FeMncarb.), tako da spravimo sestavo v takšne meje, da so po redukciji potrebne le manjše korekture, predvsem pa da nam ni treba rabiti drugega FeCr suraffine. Ponev pokrijemo z kot obok zidanim pokrovom, ki ga z vnaprej pripravljenim tesnilnim materialom dobro zatesnimo. Komoro pokrijemo in začnemo evakuirati. Ko dosežemo tlak 300 mbar, začnemo vpihavati kisik na talino. Količino kisika od začetnih



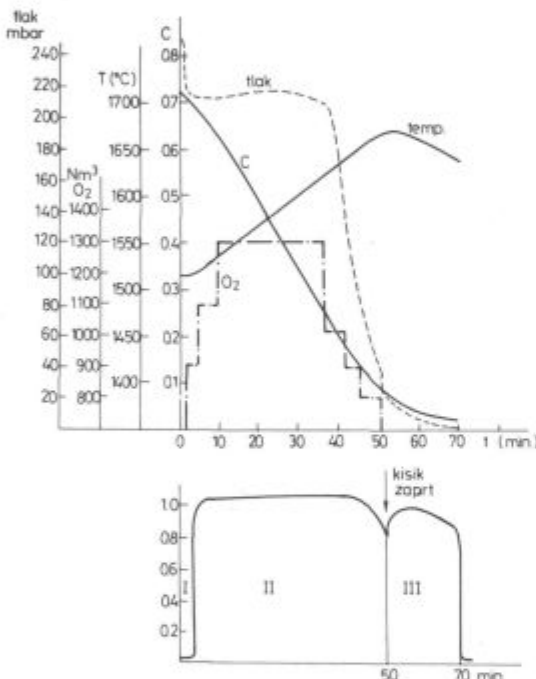
Slika 3 Odvisnost med Cr in C pri oksidaciji v vakuumu

Fig. 3 Relationship between Cr and C in oxidation in vacuum

900 Nm³/h v stopnjah povečujemo do 1300 Nm³/h in proti koncu na enak način znižujemo. Večji del oksidacije do cca 0,2 % C teče le s pomočjo vodnih črpalk. Šele zatem vključimo tretjo stopnjo parnih ejektorjev — ejektor 3 B, ki je z največjo sesalno kapaciteto prirejen le za oksidacijo taline. Oksidacija je končana pri okoli 40 mbar. Vsebnost ogljika je tedaj okrog 0,08 % in v času razogljčenja dalje pada, pri čemer reagira ogljik s kisikom, ker je raztopljen v talini. Čas razogljčenja je odvisen od željene končne vsebnosti ogljika in se giblje od 15 do 25 minut.

Odvisnost med Cr in C pri oksidaciji v VOD komori kaže sl. 3

Potek oksidacije in razogljčenja nadzorujemo z analizatorjem dimnih plinov, ki je vgrajen za vodnimi črpalkami. Merilna celica je trden elektrolit in kaže razmerje CO/CO₂ v odvodnih plinih. Potek oksidacije z merjenim razmerja CO/CO₂ v odvodnih plinih s Pat-metrom je prikazan na sliki 4.



Slika 4

Potek oksidacije z merjenjem razmerja CO/CO₂ v odvodnih plinih s Pat-metrom

Fig. 4

Course of oxidation due to CO/CO₂ measurements in flue gases by the Pat-meter

Na začetku oksidacije reagira s kisikom silicij. V drugem delu teče intenzivna oksidacija ogljika. Razmerje CO/CO₂ doseže največjo vrednost. Proti koncu oksidacije narašča delež CO₂ v odvodnih plinih, in ko začne krivulja padati, to je pri cca 0,08 % C, prenehamo s pihanjem kisika. Oksidacija traja pri naših razmerah od 45 do 60 minut.

V času nadaljnjega razogljčenja, ki teče ob izkuhanju z v talini raztopljenim kisikom in ostankom ogljika, se na merilcu spet pokaže narastek razmerja CO/CO₂.

Proces oksidacije je eksotermen. Pomeni, da temperatura taline naraste, odvisno od začetne vsebnosti C in Si, od začetne temperature in od tega, kdaj prenehamo

pihati kisik. Normalen prirastek temperature je od 120 do 160 °C.

Po končanem izkuhanju odpremo komoro in skozi centralno odprtino zidanega pokrova vzamemo vzorec za analizo, izmerimo temperaturo in dodamo potrebne dodatke za redukcijo (FeSi) in tvorjenje žlindre. Pri tem znaša poraba Si za redukcijo 9,2 do 11 kg/t pri jeklih z normalno vsebnostjo ogljika. Vakuumsko komoro ponovno pokrijemo. Med nadaljnjo obdelavo tečejo redukcijske reakcije in reakcije odžveplanja. Po končani redukciji je žlindra bela in razpade.

Šele po končani redukciji in degazaciji, ki traja od 20 do 25 minut, odkrijemo ponev in, odvisno od analize vzorca in temperature taline, izvedemo korekturo sestave. Če je potrebno, talilno hladimo z dodatki valjavnih odrezkov iste vrste jekla.

Pri jeklih, ki so legirana s titanom, takoj po končani redukciji posnamemo žlindro in na golo talino dodatkom apna za zatrditev ostankov žlindre legiramo s ferotitanom. Po tem, ko smo nastavili pravilno livno temperaturo, je postopek končan.

TRAJANJE VOD POSTOPKA

Postopek izdelave jekla v vakuumski komori je razmeroma dolg. Že posamezne tehnološke faze, kot so oksidacija, razogljčenje, redukcije, posnemanje žlindre, legiranje, nastavitve temperature zahtevajo, kot je razvidno s slike 2, do 140 minut pri nestabiliziranih jeklih in do 160 minut pri s titanom legiranih jeklih. K temu je treba dodati še čas za posnemanje žlindre po preobodu, transport in pripravo ponve za oksidacijo, odpiranje in zapiranje naprave, jemanje vzorcev in merjenje temperature, tako da se giblje skupni čas od 175 minut pri nestabiliziranih do 195 minut pri s titanom legiranih jeklih.

Pri jeklih z nizko vsebnostjo ogljika se čas izdelave zaradi daljše faze razogljčenja in čakanja na analizo, ker je treba preveriti vsebnost ogljika, podaljša še za okrog 20 minut.

K temu je nujno treba dodati še čas, ki je potreben za pripravo VOD naprave za naslednjo šaržo, kamor spada čiščenje vakuumskega pokrova od svinje, ki nastane pri oksidaciji, menjavo kopja, pripravo tesnilne mase, čiščenje zidanega pokrova in podobno.

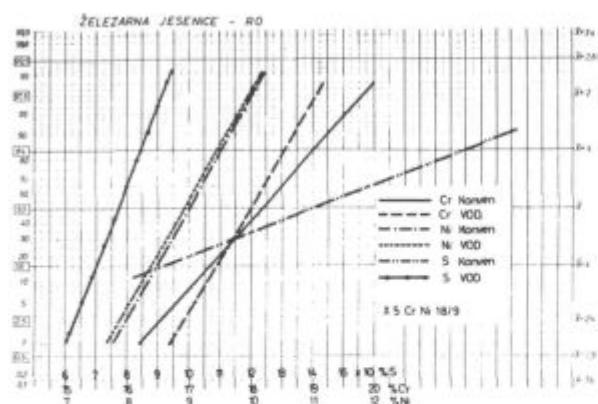
Ti časi se sedaj skladajo s »tap to tap« časom peči, ki dela po duplex postopku.

Pri UHP peči pa bo nujno nastal problem, kako uskladiti delo v peči in v VOD komori.

Primerjava konvencionalnega načina izdelave s postopkom EO peč — VOD

Izdelava nerjavnih jekel po duplex postopku EO peč — VOD je takoj pokazala številne prednosti v primerjavi s starim načinom izdelave. Te so naslednje:

- za cca 1 uro krajši postopek izdelave jekla v peči
- znatno manjša obremenitev EO peči, saj znašajo prehodne temperature od 1640 do 1700 °C
- uporaba skoraj izključno FeCr carbure v vložku in za legiranje
- znatno manjše izgube kroma v peči in visok izkoristek kroma pri VOD postopku (97 %)
- prihranek kroma in niklja zaradi možnosti nastavitve kemične sestave blizu spodnje analize meje
- znatno nižje vsebnosti žvepla v končni analizi
- lepše površine izvaljanih slabov z manj odbrusa pri čiščenju, kar še zlasti velja za feritna jekla in jekla, legirana s titanom
- visok izkoristek titana, ki se giblje od 70 do 80 %.



Slika 5

Primerjava rezultatov izdelave nerjavnih jekel po konvencionalnem in VOD postopku

Fig. 5

Comparison of results of manufacturing stainless steel by the conventional and the VOD process

Primerjava porazdelitve za C, Cr, Ni, P in S za konvencionalni in VOD postopek izdelave jekla X 10 Cr NiTi 189 je prikazana na sliki 5 in v tabeli 1.

Primerjava kemične sestave iste vrste jekel, izdelanih po konvencionalnem in dupleks postopku, kaže, da se je predvsem pri kromu in tudi pri niklju močno zmanjšal raztros vrednosti (σ), kar kaže na večjo zanesljivost izdelave po VOD postopku. Srednje vrednosti X za Cr in Ni so sedaj nekoliko višje kot prej, vzrok za to pa je v predpisu za analize meje, ki so bile prej ožje. Pri fosforju še ni vidnega napredka pri zmanjševanju vsebnosti tega elementa. Opazne pa so razlike v vsebnosti žvepla. VOD postopek omogoča odlično razžvepljanje jekla, če je le reakcijski prostor dovolj velik, da je omogočeno intenzivno mešanje jekla z žlindro.

V decembru 1984 in januarju 1985 smo z dobrim delom dosegli v povprečju 85,6 % stopnjo odžvepljanja v mejah od 75 do 95 %. Najnižje doslej dosežene vrednosti so pri 0,001 % S. Če naj žveplo kaže kvaliteto dela, potem je iz meseca v mesec viden napredek, kakor je razvidno iz tabele 2.

Prav zmanjšanje raztrosa pa kaže, da je možen premik analiznih mej za Cr in Ni k nižjim vrednostim.

Za bolj natančno zadevanje analiznih mej pa mora biti dana možnost za tehtanje jekla v ponvi, kar ta čas še ni izvedljivo. Pa tudi nikelj mora biti na razpolago v granulirani obliki, da so korekture lahko bolj natančne.

Tabela 1

		KONVENCIONALNO				V O D			
		predpis (%)	n	\bar{X} (%)	σ (%)	predpis (%)	n	\bar{X} (%)	σ (%)
Č 4582 X10CrNiNb18/9	Cr	17,3 — 18,0	9	18,04	0,755	17,0—19,0	14	17,51	0,59
	Ni	9,25— 9,75	9	9,25	0,351	9,5—10,5	14	9,62	0,41
	P		9	0,035	0,0047	maks. 0,030	14	0,031	0,0026
	S		9	0,011	0,003	maks 0,020	14	0,006	0,0024
Č 4572 X10CrNiTi18/9	Cr	17,3 — 18,0	11	17,50	1,68	17 — 19,0	7	17,89	0,70
	Ni	9,25— 9,75	11	9,65	0,303	9,5—10,5	7	9,89	0,216
	P		11	0,033	0,003	maks. 0,030	7	0,0315	0,0034
	S		11	0,009	0,004	maks. 0,020	7	0,0035	0,0017
Č 4580 X5CrNi18/9	Cr	17,3 — 18,0	22	17,01	3,99	17,5—19,0	28	18,00	0,54
	Ni	8,5 — 9,0	22	8,81	2,03	8,5— 9,5	28	8,96	0,52
	P		22	0,030	0,003	maks. 0,030	28	0,033	0,003
	S		22	0,014	0,005	maks. 0,020	28	0,0077	0,007

Tabela 2

Mesec	n	\bar{X} (%)	σ (%)
julij — oktober 1984	52	0,0088	0,0061
november	20	0,0104	0,0062
december	22	0,0045	0,0036
januar — maj 1985	47	0,0045	0,0028

PRIMERENOST VOD NAPRAVE ZA IZDELAVO RAZLIČNIH VRST JEKEL

Glavni del proizvodnje elektro jeklarne železarne Jesenic obsega dinamo jekla, nerjavna jekla, malo in mikrolegirana jekla, ki jih vsa izdelujemo po dupleks postopku, v vakuumski komori pa po VOD ali VD postopku. Izdelava tako različnih vrst jekel na isti napravi predstavlja nekaj težav. Zahteve do konstrukcijskih rešitev na napravi so zaradi različne tehnologije pri posameznih vrstah jekel različne. Gre predvsem za izvedbo vakuumskega pokrova, za kisikovo kopje, za naprave za legiranje v globokem vakuumu in za možnosti jemanja vzorcev ter merjenja temperature.

Pri izdelavi nerjavnih jekel naj bi bil vakuumski pokrov kar se da enostaven in opremljen le s kisikovim kopjem. Zaradi brizganja taline skozi pokrov ponovce v času oksidacije se namreč na premakljivi sevalni zaščiti nabere večja svinja, ki onemogoča legiranje skozi legirni sistem, dokler le-te ne očistimo, kar pa je zaradi visoke temperature in plinov pod pokrovom takoj po oksidaciji težko izvedljivo. Zaradi tega se je pri izdelavi nerjavnih jekel uveljavil način legiranja pri odprti komori po zunanji cevi direktno v ponev. Tudi vzorce za analizo je mogoče jemati pri odprti komori, kar velja tudi za merjenje temperature.

Tudi dinamo jekla izdelujemo po VOD postopku, saj je pri vsaki šarži potrebno pihanje kisika za znižanje vsebnosti ogljika, pa tudi za ogrevanje taline v primeru prenizke začetne temperature. Obenem pa mora biti dana možnost legiranja velikih količin ferrosilicija, apna in jedavca takoj za razogličanjem v globokem vakuumu, možnost merjenja temperature in jemanja vzorcev. Na obstoječi napravi ni mogoče jemati vzorcev in meriti temperaturo pod vakuumom, zaradi česar procesa ne moremo voditi optimalno.

Podobno velja tudi za izdelavo vseh drugih vrst jekel, ki jih v drugi fazi rafiniramo in dolegiramo v vakuumski komori. Za izvedbo dezoksidacije, degazacije, odžvepljanja, za natančno zadevanje kemične sestave in

pravilne livne temperature mora biti dana poleg možnosti legiranja tudi možnost jemanja vzorcev in merjenja temperature pod vakuumom.

Iz izkušenj lahko trdimo, da bi potrebovali pri tako različnem kvalitetnem programu dva različno izvedena vakuumska pokrova, in sicer:

— za oksidacijo nerjavnih jekel zelo enostaven pokrov, znotraj obzidan, opremljen le s kisikovim kopjem in brez drugih nepotrebnih odprtih

— za izdelavo vseh drugih vrst jekel pa naj bi bil pokrov opremljen s kisikovim kopjem, s sistemom za legiranje v vakuumu ter z opremo za jemanje vzorcev in merjenje temperature.

Vodenje procesa bi bilo tako hitrejše in zanesljivejše.

KISIKOVO KOPJE

Pri naši napravi smo se odločili za odgorljiva kisikova kopja. Preizkusili smo dve različni izvedbi, in sicer navadno šivno cev, ki smo jo oplasčili z bazičnim ognjevarnim materialom na osnovi MgO. Pokazalo se je, da takšno kopje neenakomerno odgoreva, pomika kopja ni mogoče kontrolirati, zato so bili tudi izkoristki kisika neenakomerni in pod 50 %. Poleg tega so bila kopja težka in za menjavo smo rabili žerjav.

Danes uporabljamo le neoplasčene »Shinto« cevi, premera 1 1/4", ki so se zelo dobro obnesle. Odgorevanje je majhno, vodenje procesa zanesljivo, tako da jemanje vzorcev po oksidaciji ni več nujno potrebno. Izkoristek kisika se giblje od 53 do 56 %. Cevi so lahke in menjavo lahko opravijo delavci brez pomoči žerjava. Ena cev zadošča za oksidacijo dveh do treh šarž.

PONVE ZA VOD POSTOPEK

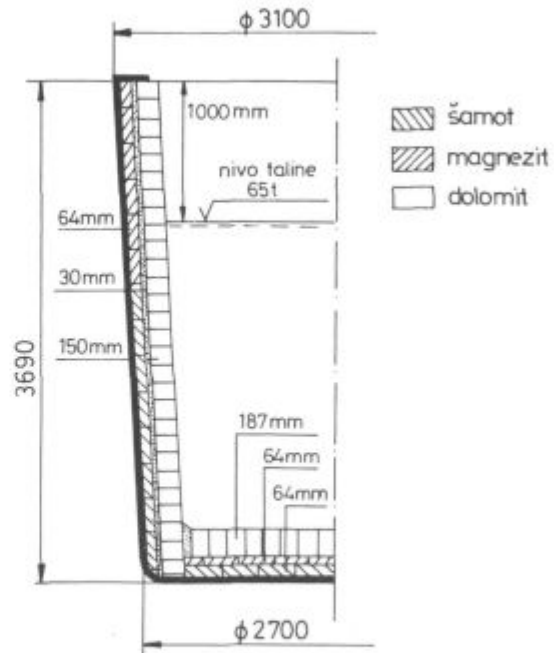
Za uspešen potek vakuumskega postopka so ponve, predvsem pa zanesljivo delovanje argonskega kamna bistvenega pomena. Da to zagotovimo, menjamo argonski kamen za vsako šaržo nerjavnega jekla; pri šaržah z degazacijo pa po dveh ali treh šaržah, odvisno od obrabe in propustnosti.

Školjka z argonskim kamnom je postavljena ekscentrično, kar se negativno odraža na obrabi stene v žilindrični coni, ki je na strani argonskega kamna večja. Pri oksidaciji nastajajoča SiO_2 na tem mestu močneje najeda obzidavo. Če pa je argonski kamen nameščen v sredini dna, potem se apno pri enaki dodani količini kot ščit odrine k obzidavi.

Obstoječe ponve so za 65 t tekočega jekla nekoliko premajhne. Prosta višina nad talino je največkrat manjša od 1000 mm, po izkušnjah pa naj bi znašale vsaj 1200 mm. Pomagamo si tako, da imamo v času redukcije in odžveplanja, ko naj bo mešanje žlindre in jekla najbolj intenzivno, ponev še dalje pokrito z obzidanim pokrovom.

Za nemoteno in hitro delo morata biti v rabi stalno dve ponvi, tretja pa mora biti vroča, v pripravljenosti. Ker je ena ponev stalno na zidanju in ena navadno na popravilu, je treba imeti vsaj pet ponev, da se izognemo nepotrebnim zastojem.

Na sliki 6 je prikazan način obzidave VOD ponve. Za obzidavo delovnega sloja, smo doslej uporabili oziroma preizkusili razne vrste ognjevarnih materialov različnih proizvajalcev. V prvem letu smo zaradi enostavnjega načina zidanja delali le s krommagnezitnimi materiali. V začetku leta 1985 pa smo naredili prve poskuse s keramično vezanim dolomitom, firme Wülfraht.



Slika 6
Shematski prikaz obzidave ponve

Fig. 6
Scheme of ladle lining

Zaključki

Od julija 1984 izdelujemo na Jesenicah vse vrste nerjavnih jekel po dupleks postopku EO peč — VOD postopek. VOD naprava je zgrajena za obdelavo 65 t tekočega jekla. VOD naprava je priključena tudi naprava za legiranje z desetimi silosi. Legiranje je možno pod vakuumom, kakor tudi pri odprtih ponvi. Vakuumske črpalke sestojijo iz dveh obročnih vodnih črpalk in štirih parnih ejektorjev. Sesalna moč je prirejena tehnološkim zahtevam (VOD postopek ali degazacija). Začetne vsebnosti ogljika so v mejah od 0,9 do 1,3 % C. V peči oksidiramo talino na 0,6 do 0,8 % C, jo ogrejemo in po redukciji žlindre odlijemo v bazično obzidano in dobro ogreto ponev. Iz ponve posnamemo žlindro in jo postavimo v vakuumsko komoro. Na rob ponve nanese mo tesnilno bazično malto in jo pokrijemo z obzidanim pokrovom. Ta ščitni pokrov ostane na ponvi tudi po oksidaciji in omogoča temeljito mešanje jekla in žlindre v času redukcije, tako da je mogoče dosegati zelo majhne vsebnosti žvepla. Po odžveplanju odstranimo zidani pokrov, dodamo potrebne legure in nastavimo pravilno livno temperaturo.

Postopek smo zelo hitro vpeljali, tako delavci pri peči, kot tudi tisti, ki upravljajo z VOD napravo.

Prednosti proizvodnje nerjavnih jekel po dupleks postopku so ekonomsko nedvoumne.

Cenen vložek, visok izkoristek kroma, višja storilnost peči, znatno manjša obremenitev peči, možnost nastavitve kemične sestave na spodnji analizni meji, visoka stopnja odžveplanja, v povprečju 85 %, majhne končne vsebnosti žvepla, do 0,001 %, ter boljša površina blokov so najbolj pomembne prednosti tega postopka.

Pri obzidavi ponev se je dobro obnesla krommagnezitna, pa tudi dolomitna obzidava. Tudi z vpeljavo mešanja z argonom skozi dno nismo imeli posebnih težav. Vpeljani sistem (Didier) je zanesljiv v delovanju, zahteva pa visoko delovno disciplino.

ZUSAMMENFASSUNG

Ab Juli 1984 werden in Jesenice alle Sorten nichtrostender Stähle nach dem Duplex Verfahren LBO — VOD Verfahren erzeugt. Die VOD Anlage ist für 65 t flüssig Stahl ausgelegt. Der VOD Anlage ist eine Legierungsanlage mit zehn Bunkern angeschlossen. Das Legieren kann unter Vakuum wie auch bei offener Pfanne erfolgen. Der Vakuumerzeuger besteht aus zwei Wasserringpumpen und vier Dampfstrahlern. Die Saugleistung der Strahler sowie der Wasserringpumpen ist auf den jeweiligen Betrieb der Anlage (VOD — oder Entgasungsbetrieb) abgestimmt. Die Einlaufkohlenstoffgehalte liegen in den Grenzen von 0,9 bis 1,3 % C. Die Schmelze wird im Ofen auf 0,6 bis 0,8 % C gefrischt, Warmgefahren und nach der Schlackenreduktion in eine heiße basisch zugestellte Pfanne abgestochen. Die Pfanne wird abgeschlakt und in das Gefäß gesetzt. Der Pfannenrand wird mit einem basischen Mörtel versehen und ein Spritzdeckel dicht aufgesetzt. Der Spritzdeckel bleibt auf der Pfanne auch nach der Frischperiode liegen und ermöglicht eine gründliche Umwälzung und ein intensives Mischen von Stahl und Schlacke während der Reduktionsbehandlung so, dass sehr niedrige Endschwefelgehalte eingestellt werden können. Nach der Entschwefelung wird der Schutz-

deckel abgenommen, die nötigen Legierungen werden zugesetzt und die Giestemperatur eingestellt.

Das Verfahren ist sowohl von den Ofenleuten, wie auch von der die VOD Anlage bedienenden Mannschaft sehr schnell eingeführt worden.

Die Vorteile der Erzeugung nichtrostender Stähle nach dem Duplex Verfahren sind von wirtschaftlicher Seite eindeutig. Billiger Einsatz, hohes Ausbringen von Chrom, höhere Ofenleistung, wesentlich kleinere Ofenbeanspruchung, Einhaltung der chemischen Zusammensetzung an der unteren Analysengrenze hoher Entschwefelungsgrad von im Mittel 85 % tiefe Endschwefelgehalte bis 0,001 %, wie bessere Oberflächenbeschaffenheit der Brammen, sind die bedeutendsten Vorteile dieses Verfahrens.

Was die Pfannen betrifft hat sich sowohl die chrommagnetsische wie auch die dolomitische Zustellung gut bewährt. Auch mit der Einführung der Argonspülung durch den Boden haben wir keine grossen Schwierigkeiten gehabt. Das eingeführte System (Didier) ist sicher in der Funktion, verlangt jedoch eine hohe Arbeitsdisziplin.

SUMMARY

Since July 1984 all stainless steel is manufactured in the Jesenice Ironworks by the duplex process arc furnace-VOD. The VOD equipment is constructed to treat 65 t of molten steel. It is combined with the equipment for alloying having 10 silo. Alloying can be performed either in vacuum or in an open ladle. Vacuum pumps consist of two ring water pumps and four vapour ejectors. The suction capacity is adjusted to the technological demands (VOD process or degassing). Initial carbon contents are between 0.9 and 1.3 % C. In the furnace, melt is oxidized to 0.6 to 0.8 % C, heated, and after the reduction of slag it is poured into basic lined and well heated ladle. In the ladle slag is skimmed and then the ladle is placed into the vacuum chamber. The ladle edge is covered with basic sealing mortar and the ladle is covered with a lined cover. This protective cover remains on the ladle also after the oxidation and enables efficient mixing of steel and slag during the reduction period, thus very low sulphur contents can be achieved. After the desulphurisation the cover is removed, necessary alloys are added and the right casting temperature is set.

The whole process was very quickly introduced by the workers at the furnace and by the operators of the VOD set-up.

Advantages of manufacturing stainless steel by the duplex process are from the economic viewpoint beyond all questions.

Cheap charge, high chromium yield, high furnace output, essentially lower furnace loading, possibility to set the chemical composition on the lower limit of the interval, high degree of desulphurization being in average 85 %, low final sulphur contents down to 0.001 % S, and better surface of ingots, are the most important advantages of this process.

For the ladle lining the chrome-magnesite as well as the dolomitic lining proved to be suitable. Also the introduction of mixing with argon through the bottom did not present any special difficulties. The introduced Didier system is reliable in operation but it demands high working discipline.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Начиная с месяца июля 1984 года в металлургическом заводе Железарна Есенице выполняется изготовление всех сортов нержавеющей стали дуплекс процессом EO печь — VOD способ. VOD — устройство сооружено для обработки 65 т. жидкой стали. К устройству VOD приключено также приспособление для легирования с десятью силосами. Легирование можно выполнять под вакуумом, а также в открытом ковше. Вакуумные насосы состоят из двух секционных водяных насосов и четырех паровых инжекторов. Всасываемость находится в соответствии с технологическими требованиями (VOD — способ или удаление газа). Начальное содержание углерода находится в границах от 0,9 до 1,3 % C. Окисленную в печи сталь на содержание от 0,6 до 0,8 % C согреем и, после восстановления шлама, отольём расплав в ковш обмурованный с основной футеровкой. Из ковша скачиваем шлак и поставим его в вакуумную камеру. На край ковша накладываем уплотнительный основной раствор и ковш закрывается с обмурованной крышкой. Эта предохранительная крышка остаётся на ковше также после окисления и даёт возможность для основательного перемешивания

стали и шлама во время восстановления, а также для получения очень низкого содержания серы. После перемешивания для удаления серы обмурованная крышка снимается, последует легирование и настройка на соответственно правильную температуру. Способ был усвоен очень быстро, как со стороны рабочих, которые обслуживают печь и также тех, которые управляют вакуумным ковшем.

С экономической точки зрения производство нержавеющей сталей дуплекс процессом несомненно.

Дешёвая шихта, большой выход хрома, высокая производительность печи, значительно уменьшенная нагрузка печи, возможность настройки химического состава на нижнем пределе, высокая степень удаления серы в среднем 85 % при конечном содержании до 0,001 %, также более лучшая поверхность слитков составляют собой преимущества этого дуплекс-процесса.

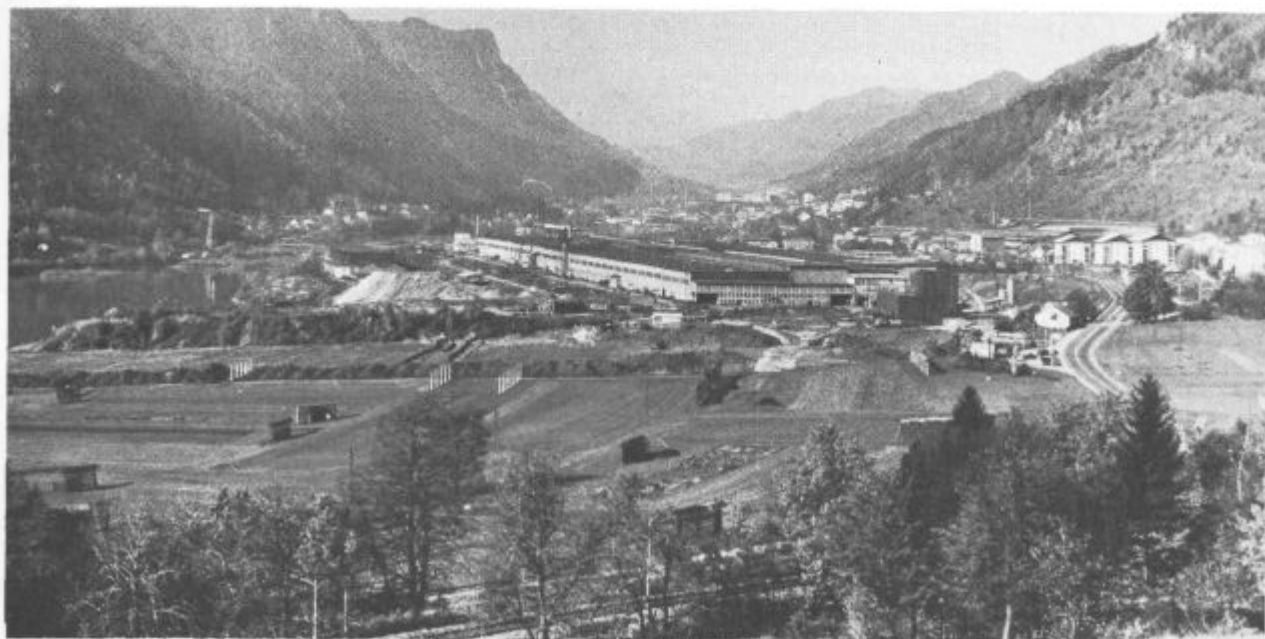
Как футеровка ковша оправдала хромомagneзитная как и доломитовая обмуровка. Также не было затруднений при введении смешивания с аргоном через дно ковша. Введенная система по Didier надёжна, хотя требует высокую дисциплину.

SLOVENSKE
ŽELEZARNE



ŽELEZARNA JESENICE

Cesta železarjev 8, telefon (064) 81-231, 81-241, 81-441, telex 34526 ZELJSN



IZDELUJE :

debelo, srednjo in tanko pločevino
dinamo trakove in pločevino
hladno valjane trakove in pločevino
vlečeno, brušeno in luščeno jeklo
vlečeno žico
vlečeno žico — patentirano
pleteno patentirano žico za prednapeti
beton
hladno oblikovane profile

cestne varnostne ograje
kovinske podboje za vrata
dodajni material za varjenje
žičnike
jeklene odlitke
tehnične pline

NUDIMO TUDI USLUGE:

prevaljanja, vlečenja, iztiskavanja
in toplotne obdelave pločevin in žice



Dosežki pri izdelavi dinamo jekel v VOD napravi v železarni Jesenice

UDK: 669.183.184: 669.14.018.5
ASM/SLA: D7a, D8m, TSn

Jože Triplat, Jože Arh

VOD naprava v Jeklarni I je zgrajena z namenom poleg izdelave nerjavnih jekel, tudi za izdelavo dinamo jekel. Ta postopek je v svetu silno redko uporabljen, zato praktično ni bilo na voljo nobenih pravih referenc. Enak postopek načrtujemo tudi v novi Jeklarni II.

Proizvodnja v že zgrajeni napravi nam je uspešno stekla. Dosegamo sledeče rezultate:

- postopek izdelave v peči je krajši in enostavnejši
- izognemo se močni oksidaciji taline
- v končno izdelanem jeklu po VOD obdelavi dosežemo občutno nižje količine C in sicer med 0,005 in 0,015 % C

- za legiranje uporabljamo cenejše surovine
- izločili smo uporabo CaSi
- zanesljivost izdelave jekla je večja
- raztros vsebnosti kemičnih elementov je manjši
- stopnja razžveplanja v VOD je med 70 in 90 %
- livnost jekla je odlična
- predelovalne lastnosti jekla so dobre
- tehnologija izdelave jekla je enostavna in zanesljiva

- razširitev proizvodnega programa

Doseženi rezultati so potrdilo naše pravilne usmerjenosti glede izbire agregatov v novi Jeklarni II, kjer bo VOD glavni agregat za izdelavo jekel (nerjavnih, dinamo jekel), pri čemer dinamo jekla predstavljajo glavni delež proizvodnje.

1. UVOD

1. Kemična analiza dinamo jekla

Značilno za dinamo jeklo je zelo nizka količina C v končni kemični analizi in visoka količina Si in Al. Povprečna predpisana kemična analiza teh jekel je navedena v tabeli št. 1.

Glede na predpisano vsebnost elementov — predvsem nizka količina ogljika — se v tehnološkem smislu nahajamo v specifični situaciji. V fazi oksidacije v jeklu imamo prisotno zelo veliko količino aktivnega kisika; v fazi rafinacije pa v to oksidirano talino dodamo veliko količino močnih dezoksidantov. Posledica tega je nastanek velike količine nekovinskih vključkov v jeklu, ki negativno vplivajo na lastnosti jekla, kot so:

- livnost
- čistoča
- predelovalnost

V tabeli št. 1 je naveden predpis za končno kemično analizo za:

- klasično tehnologijo izdelave dinamo jekel in
- duplex tehnologijo izdelave dinamo jekla; to je kombinacija elektrooblačna peč in VOD postopek.

Tabela 1: Analizni predpis za dinamo jeklo

Table 1: Analysis Regulation for Dynamo Steel

Element	Klasično	VOD
C	0.035	0.015
Si	1.80	1.80
Mn	0.35	0.25
S	0.015	0.010
Al	0.25	0.25

2. Mesto železarne Jesenice pri proizvodnji dinamo jekla

Železarna Jesenice je edini proizvajalec dinamo jekel v Jugoslaviji. Izdelava teh jekel po duplex tehnologiji v kombinaciji EOP in VOD postopka je noviteta oz. železarna Jesenice je med redkimi proizvajalci v svetu.

Glede na to je bila celotna tehnologija izdelave dinamo jekel po VOD postopku osvojena doma oz. je plod dela, znanja in izkušenj v železarni Jesenice. V literaturi in iz tujih referenc praktično ni mogoče dobiti nobenih zanesljivih podatkov in rezultatov o izdelavi dinamo jekel po VOD postopku. Po drugi strani pa ta proizvod, t. j. dinamo jeklo predstavlja danes pomemben proizvod železarne Jesenice, še bolj pa v bodočnosti. V novi jeklarni II bomo dinamo jeklo izdelovali po enaki tehnologiji. Rezultati, doseženi na VOD napravi v jeklarni I, so potrdilo o pravilnosti izbire postopka.

3. Namen uporabe dinamo jekla

Dinamo jekla so namenjena za izdelavo pločevine, ki se vgrajuje v različne naprave (motorje, generatorje . . .). Električne oz. elektromagnetne lastnosti pločevine morajo ustrezati zahtevanim lastnostim električnih aparatov (induktivnost, magnetne izgube . . .)

II. TEHNOLOGIJA IZDELAVE DINAMO JEKLA

1. Primerjava med klasično (pečno) tehnologijo in novo VOD tehnologijo

Železarna Jesenice ima že dolgoletno tradicijo pri izdelavi dinamo jekel in to predstavlja pomemben artikel v njenem proizvodnem programu.

Tehnologija izdelave dinamo jekla po klasičnem pečnem načinu izdelave je sicer osvojena, vendar se je z izgradnjo VOD naprave izoblikovala nova tehnologija, ki ima v primerjavi s klasično nekatere prednosti.

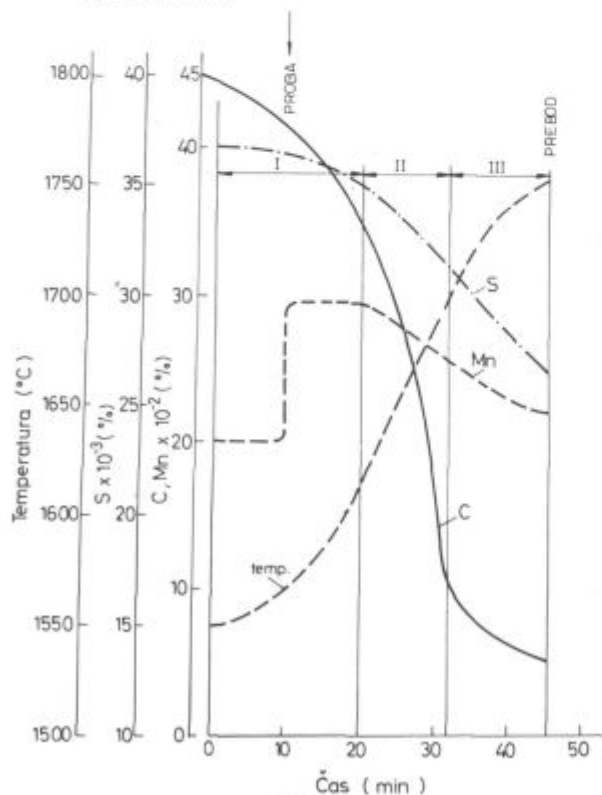
2. Kratek opis tehnoloških faz po klasičnem postopku

Glavne tehnološke faze klasične tehnologije izdelave dinamo jekla v elektropeči so:

- močna oksidacija v peči
- preddežoksidacija in rafinacija v peči
- gretje na predpisano temperaturo
- prebod
- legiranje, odžveplanje, rafinacija v ponovci, nastavljanje livne temperature

Glavne pomanjkljivosti oz. negativne karakteristike te tehnologije so:

- izredno močna oksidacija jekla (veliki odgori Fe, Mn, veliko kisika v jeklu)
- težavno doseganje analizno predpisane količine ogljika v končni kemični analizi ($C < 0,035\%$)
- veliki odgori legirnih elementov (Si, Al)
- uporaba dragih legirnih elementov (FeSi metal)
- uporaba CaSi



Slika 1
Razmere pri izdelavi dinamo jekla za VOD v peči

Fig. 1
Conditions of dynamo steel manufacturing for VOD in the furnace

3. Opis izdelave dinamo jekel po VOD postopku

Z izgradno VOD naprave se je izoblikovala nova tehnologija, s katero se izognemo nekaterim pomanjkljivostim stare tehnologije.

Potek VOD tehnologije je takle:

3.1 Postopek izdelave dinamo jekla v prvi fazi, t. j. izdelava v EOP je prikazana na sliki št. 1. Na diagramu so prikazani parametri:

- temperatura
- koncentracija C, Mn, S

v odvisnosti od časa.

Celotno fazo delimo na tri krajše faze:

I — jemanje prvega vzorca, ogrevanje, dodatek FeMn

II — oksidacija

III — gretje na prebodno temperaturo s prebodom

V primerjavi s klasičnim načinom izdelave dinamo jekla imamo naslednje prednosti:

- oksidacija v peči je zmernejša
- postopek je enostavnejši in zanesljivejši

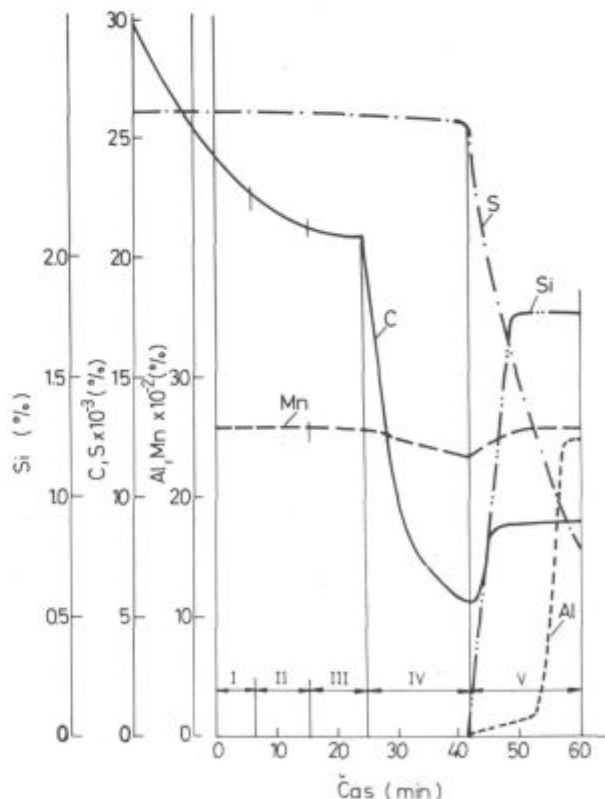
Nekoliko neugodne pa so visoke prebodne temperature (ca. 1760° C).

3.2 Druga faza je predpriprava ponovce s tekočim jeklom, ki sestoji iz:

I — jemanje vzorca po prebodu

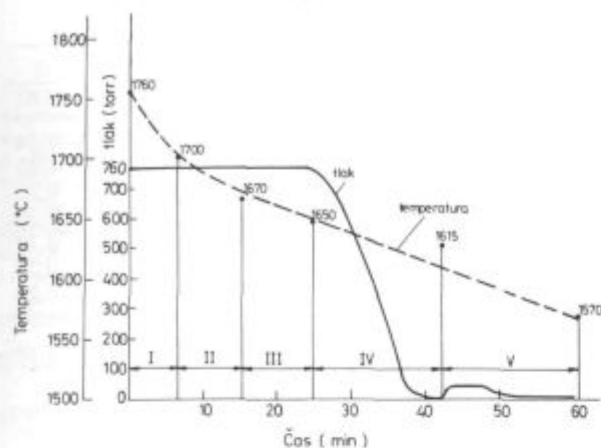
II — posnemanje žilindre iz ponovce

III — dodatki za tvorbo nove žilindre, meritev temperature, ...



Slika 2
Razmere pri izdelavi dinamo jekla v VOD (potek koncentracije elementov)

Fig. 2
Conditions of dynamo steel manufacturing in VOD (changing of the element concentrations)



Slika 3

Potek temperature in tlaka pri izdelavi dinamo jekla v VOD

Fig. 3

Temperature and pressure variations during the dynamo steel manufacturing in VOD

3.3 Tretja faza je obdelava jekla v VOD. Potek te faze je shematično prikazan na sliki št. 2 in št. 3.

Slika 2 prikazuje časovni potek koncentracije kemičnih elementov, t. j. Al, Si, Mn, C, S.

Slika 3 prikazuje časovni potek temperature in tlaka v VOD komori.

Poudariti je potrebno, da je postopek izdelave dinamo jekla v VOD z izjemo legiranja endotermni proces, kjer je zaznaven stalen padec temperature. Zato smo časovno omejeni in je potrebno tehnološke faze izredno natančno voditi, če želimo doseči željene rezultate. Normalni čas trajanja izdelave šarže od preboda do vlivanja je ca. 60 minut. V tem času naredimo naslednje tehnološke operacije:

- prebod in predpriprava
- razogljčenje jekla
- legiranje Si in Al
- rafinacija, razplinjanje in razžveplanje

Na sliki št. 2 je faza razogljčenja označena kot IV in faza rafinacije, razplinjanja in razžveplanja kot V.

Opis faze razogljčenja:

Po prebodu in posnetju pečne žilindre iz ponovce postavimo jeklo vplivu znižanega tlaka (glej sliko 3). Pri tem v jeklu raztopljeni aktivni kisik reagira z raztopljenim ogljikom in jeklo se razogljči do najnižjih vsebnosti ogljika (ca. 0,005 %). Čas trajanja faze razogljčenja je 15–20 minut. Ko je faza razogljčenja končana, sledi legiranje s Si in Al, razplinjenje in razžveplanje.

Opis faze rafinacije, razplinjanja in razžveplanja:

Si, Al dodajamo pod znižanim tlakom (glej sliko 3). Surovina na bazi Si je najcenejša varianta FeSi 75, ki vsebuje še večjo količino plinov, zato je potrebno jeklo dobro razpliniti.

Omenjene operacije rafinacije, razplinjanja in razžveplanja potekajo istočasno in celotna faza traja ca. 15–20 minut.

III. VREDNOTENJE REZULTATOV

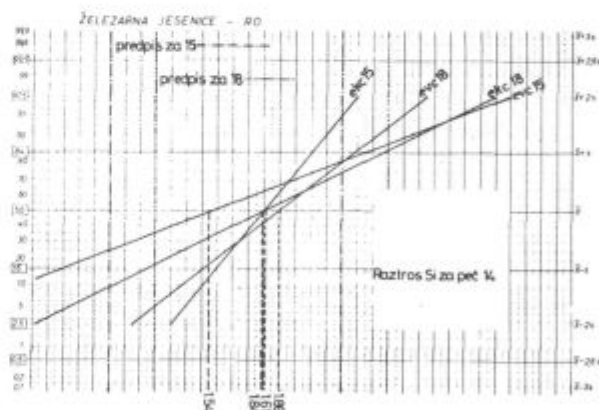
Prednosti vakuumske izdelave dinamo jekel v primerjavi s klasično izdelavo so v glavnem:

1. V končni kemični analizi dosegamo nižje količine C (<0,015 %), kar daje možnost hitrejšega razogljčevanja hladno valjanih trakov. Dobljeni praktični rezultati so prikazani na tabeli št. 2.

Tabela 2: Povečanje hitrosti žarjenja VOD dinamo jekla

Table 2: Increasing the Annealing rate of VOD Dynamo Steel

VOD	Klasično	Debelina pločevine (mm)	C v glavi (%)	Hitrost traku (m/min)	Kapaciteta (t/h)	Povprečno povečanje proizvodnje
X		0.35	0.020	50	7.98	22%
	X	0.35	0.035	40	6.38	
X		0.50	0.015	30	6.61	31%
	X	0.50	0.035	20	4.56	
X		0.65	0.015	25	7.18	44%
	X	0.65	0.035	14	4.02	



Slika 4

Porazdelitev Si za peč 14

Fig. 4

Silicon distribution for furnace 14

Pri debelini 0,35 in 0,5 mm se niso do kraja izkoristene možnosti, ki jih daje nizka vsebnost C, ker ni zadosti hladilnih kapacitet.

2. Za legiranje Si uporabljamo kot glavni dodatek najcenejšo varianto FeSi 75, namesto mnogo dražjega FeSi metal-a.

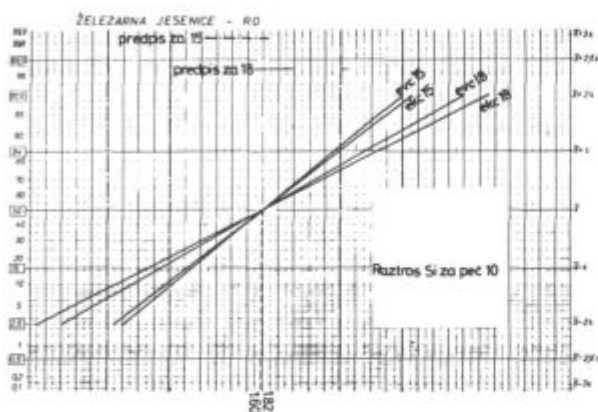
3. Klasična tehnologija izdelave dinamo jekla je bila v glavnem usmerjena na izdelavo kvalitete s povprečno 1,8 % Si v kemični analizi.

Z izgradnjo VOD naprave je omogočeno zanesljivo izdelovanje tudi nizkosiliciranih dinamo jekel z nižjo vsebnostjo Al. S tem železarna Jesenice razvija svoj proizvodni program in nudi novo kvaliteto jekla s specifičnimi elektromagnetnimi lastnostmi.

4. Dodatek CaSi pri izdelavi jekla ni več potreben.

5. Raztrosi kemičnih elementov so manjši in njihova koncentracija je bližja spodnji predpisani analizni meji. Raztros Si za kvaliteto EVC oz. EKC 15 in 18 je prikazan na diagramih št. 4 in 5 ter v tabeli št. 3.

6. Primerjava porazdelitve ostalih elementov (C, Mn, S, Al) v dinamo jeklu med klasično izdelanimi šaržami in šaržami, izdelanimi po VOD postoku, je prikazana v tabeli št. 3a:



Slika 5
Porazdelitev Si za peč 10

Fig. 5
Silicon distribution for furnace 10

Tabela 3: Porazdelitev Si v dinamo jeklu v letu 1984 v ŽJ

Table 3: Silicon Distribution in Dynamo Steel in Jesenice Ironworks in 1984

Kvaliteta	Peč 14		Peč 10	
	\bar{Si}	σ	\bar{Si}	σ
EKC 15	1.61	0.060	1.60	0.094
EVC 15	1.54	0.203	1.60	0.090
EKC 18	1.84	0.154	1.82	0.147
EVC 18	1.86	0.096	1.82	0.129

TABELA št. 3A:

Mesec	KLASIČNO				VOD			
	%C	%Mn	%S	%Al	%C	%Mn	%S	%Al
Jul.	0,033	0,28	0,006	0,28	0,008	0,28	0,011	0,24
Avg.	0,032	0,30	0,006	0,26	0,007	0,33	0,007	0,23
Sep.	0,033	0,30	0,008	0,27	0,006	0,29	0,010	0,25
Okt.	0,037	0,29	0,009	0,23	0,008	0,28	0,007	0,22
Nov.	0,037	0,31	0,006	0,27	0,013	0,30	0,006	0,24
Dec.	0,037	0,30	0,006	0,26	0,010	0,27	0,007	0,24
Jan.	0,035	0,35	0,008	0,25	0,009	0,27	0,006	0,25

Povprečne vrednosti navedenih elementov za to obdobje so prikazane na tabeli 3B.

TABELA št. 3B:

Element	KLASIČNO		VOD	
	%	σ	%	σ
C	0,032	0,004	0,009	0,005
Mn	0,290	0,051	0,283	0,043
S	0,008	0,005	0,006	0,003
Al	0,261	0,053	0,234	0,064

Dobljene vrednosti kažejo:

- količina ogljika v končni kemični analizi je občutno nižja
- Mn je nižji z manjšim raztrosom
- S je nižji z manjšim raztrosom
- Al je nižji z nekoliko večjim raztrosom

IV. ZAKLJUČEK

VOD naprava v Železarni Jesenice v jeklarni I je zgrajena z namenom izdelave:

- nerjavnih jekel
- dinamo in nizkoogljčnih jekel
- jekel z zagotovljeno količino plinov v jeklu

Vsa tri področja proizvodnje so osvojena. Pri tem imajo dinamo jekla posebno mesto, in sicer s stališča, da je VOD kot agregat za proizvodnjo dinamo jekel silno redko uporabljen. Zato je bilo uvajanje proizvodnje teh jekel toliko bolj delikatno in obvezujoče. Lahko rečemo, da smo nalogo uspešno izvedli, saj VOD naprava normalno obratuje v sistemu dela 4 + 1. Celotna tehnologija izdelave dinamo jekla je bila izdelana in osvojena z lastnim delom in znanjem v železarni Jesenice.

Enako uspešno kot dinamo ali še bolj pa teče tudi proizvodnja ostalih kvalitet jekla.

Lahko zaključimo, da smo z doseženimi rezultati zadovoljni, ker v novi jeklarni II gradimo enako večjo VOD napravo, ki bo glavni agregat ponovne metalurgije v jeklarni in od katere vsi veliko pričakujemo.

ZUSAMMENFASSUNG

Die VOD Anlage im Stahlwerk I ist hauptsächlich für die Erzeugung von nichtrostenden und Dynamostählen aufgestellt worden. Das VOD Verfahren wird für die Erzeugung von Dynamostahl sehr selten angewendet und es lagen keine richtigen Referenzen vor. Das gleiche Verfahren ist auch für das neue Stahlwerk 2 geplant.

Die Produktion von Dynamostahl in der neu errichteten Anlage ist erfolgreich verlaufen. Folgende Ergebnisse werden erzielt:

- die Erzeugung im LB Ofen ist kürzer und einfacher
- eine zu grosse Überfrischung der Schmelze wird vermieden
- im fertigen Stahl werden nach der VOD Behandlung Endkohlenstoffgehalte zwischen 0,005 und 0,015 % C erreicht
- für das Legieren werden billigere Ferrolegierungen angewendet

- Gebrauch von CaSi ist nicht mehr nötig
- Zuverlässigkeit der Stahlherstellung ist grösser
- die Streuung der Gehalte einzelner Elemente ist kleiner
- der Entschwefelungsgrad in der VOD Anlage liegt zwischen 70—90 %
- die Giessbarkeit des Stahles ist hervorragend
- die Verformbarkeit von Stahl ist gut
- die Erzeugungstechnologie insgesamt ist einfacher und zuverlässiger
- der Erzeugungsprogramm konnte erweitert werden
- die erzielten Ergebnisse bestätigen unsere richtige Auswahl der Anlagen für das neue Stahlwerk 2, wo die VOD Anlage das wichtigste Aggregat für die Erzeugung Nichtrostender und Dynamo Stähle sein wird, wobei Dynamostahl den Hauptteil der Produktion darstellt.

SUMMARY

The VOD equipment in the Steel Plant I was built for manufacturing dynamo steel beside the manufacturing stainless steel. This process is very seldom used in the world therefore practically no real references were available. The same process is planned also for the Steel Plant II.

The production in the installed equipment started successfully. The following results were achieved:

- the manufacturing procedure in the furnace is shorter and simpler,
- severe oxidation of the melts can be avoided,
- in the final manufactured steel after the VOD treatment much lower carbon contents, i. e. between 0.005 and 0.015 %, are achieved,
- cheaper raw materials can be used for alloying,
- the application of CaSi is eliminated,

- reliability of the steel manufacturing is greater,
- dissipation of the content of chemical elements is lower,
- desulphuration degree in the VOD is between 70 and 90 %,
- steel castability is excellent,
- steel workability is good,
- manufacturing technology is simple and reliable,
- extension of the production program

The achieved results confirm our correct choice in the selection of equipment for the new Steel Plant II where VOD will be the basic equipment for the manufacturing steel (stainless, and dynamo) while dynamo steel will represent the main part of the production.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

VOD — устройство в сталеплавильном цехе I была построена с целью, кроме изготовления нержавеющей стали, также для изготовления динамной стали. Этот способ употребляется и в зарубежных странах очень редко, поэтому в распоряжении не было практически никаких определенных рекомендаций. В плане дальнейшего развития металлургического завода Есенице этот способ предусмотрен также в цехе II.

В построенном устройстве производство по этому способу уже успешно выполняется. Полученные результаты составляют:

- способ изготовления стали в печи более короткий и более простой;
- способ дает возможность уклонения от сильного окисления расплава.

При обработке стали в VOD — устройстве получены следующие результаты:

- существенное уменьшение количества C, которое составляет от 0,005 до 0,015 % C;
- для легирования можно употребить более дешёвые сплавы
- употребление CaSi исключено;
- увеличена надёжность изготовления стали;
- раструска содержания химических элементов уменьшена;
- степень удаления серы составлял между 70 и 90 %;
- литейные свойства стали — превосходны;
- свойства переработки стали — хорошие;
- технология изготовления стали несложная и надёжная;

Полученные результаты являются как подтверждение правильности ориентации при выборе агрегатов в новом сталеплавильном цехе II, где устройство VOD будет представлять главный агрегат для изготовления сталей (нержавеющих, динамных), причём динамные стали будут составлять главную долю производства.

Optimiranje EOP — VOD postopka proizvodnje nerjavnih jekel

UDK:669.15-194.56:669.187.2
ASM/SLA: SS-e, 1-73

Nijaz Smajić

Izvedena je kratka analiza osnovnih problemov EOP-VOD postopka proizvodnje nerjavnih jekel in opisane možnosti optimizacije tega postopka z uporabo računalnika in matematičnega modela MIS-VOD, ki omogoča simulacijo vodenja vakuumske oksidacije, t. j. izvedbo modelnih poskusov, potrebnih za opredelitev optimalnih procesnih parametrov za vsako posamezno šaržo.

1. UVOD

Nerjavna jekla smo v slovenskih železarnah vse do leta 1984 proizvodili po tim. klasičnem postopku, t. j. v elektro obločni peči. Klasična tehnologija je bila v industrijsko razvitih deželah uspešno izpopolnjena v obdobju od 1950 do sredine šestdesetih let. Razvoj tega postopka je bil zelo uspešen, čeprav je skoraj v celoti temeljil na izkušnjah jeklarjev in je bil prispevek raziskovalcev s področja teorije metalurških procesov razmeroma zelo skromen. Teorija je torej zaostajala za prakso, kar je razmeroma pogosto, če ne kar značilno za metalurgijo. Leta 1967 so v takratni Edeltahlwerke Witten razvili postopek vakuumske oksidacije talin z visoko vsebnostjo kroma (VOD) in tako ustvarili možnost skoraj popolnoma selektivne oksidacije ogljika, kar je privedlo do bistvenega znižanja proizvodnih stroškov. Dve leti pozneje je firma Union Carbide v ZDA razvila lastni (AOD) postopek. Tako je bila klasična tehnologija opuščena, še preden so raziskovalci s področja teorije metalurških procesov utegnili kaj prispevati k njenemu razvoju. Ker se je klasična tehnologija pri nas obdržala še polnih 15 let, smo se na Metalurškem inštitutu v letih 1978—1980 ukvarjali (1, 2, 3) z raziskavami na področju termodinamične analize sistema Fe-Cr-C-O in Fe-Cr-C-Si-O, ki so imele namen izpopolnjevati klasični postopek izdelave nerjavnih jekel v naših železarnah. Leta 1981 smo to delo preusmerili na teoretske raziskave (4, 5, 6) novih, sodobnih postopkov, predvsem dupeks tehnologije EOP-VOD, da bi tako pripomogli k lažjemu osvajanju tega postopka v naših jeklarnah. Končno smo leta 1984 na Metalurškem inštitutu v Ljubljani razvili matematični model MIS-VOD, ki z uporabo računalnika omogoča izvedbo modelnih poskusov. Tukaj obravnavamo nekatere temeljne probleme te tehnologije z namenom, da bi jeklarjem praktikom olajšali obvladati težave, ki so specifične za to tehnologijo, in jih obenem seznanili z nekaterimi dognanji dosedanjega dela, ki jih je možno neposredno uporabiti v praksi. Obravnavamo predvsem problem pravilne priprave taline za vakuumsko oksidacijo v VOD ponovci, vprašanje sinhronizacije, t. j. časovne usklajenosti dela elektroobločne peči in VOD ponovce ter problem vzdržnosti ognjevarne obloge VOD ponovce.

2. OSNOVNI PROBLEMI EOP — VOD POSTOPKA

2.1 Pravilna priprava taline za VOD

Pravilna priprava taline za VOD obdelavo je bistvenega pomena za ekonomičnost in za produktivnost. Med primarno oksidacijo, ki jo običajno izvajamo v EO peči ali v LD konvertorju, moramo v večini primerov znižati vsebnost ogljika in silicija na tiste vrednosti, ki jih zahteva ritem dela v jeklarni, glede na nujno potrebo po časovno usklajenem delu EO peči in VOD ponovce. Maksimalno dovoljeni vsebnosti ogljika in silicija sta 1,2 % C in 0,20 % Si. Obenem moramo zagotoviti primerno temperaturo taline pri izlivu iz peči v VOD ponovco. Temperatura taline na začetku vakuumske oksidacije mora namreč biti v precej ozkem intervalu. Računati je treba, da morajo taline z visoko vsebnostjo ogljika imeti nekoliko nižjo temperaturo na začetku pihanja kisika zaradi velike eksotermne toplote, ki se sprošča med oksidacijo, sicer se lahko temperatura taline dvigne nad 1700° C, kar je zelo neugodno za vzdržnost obloge VOD ponovce. Težave so še večje, če imamo pri tem še veliko vsebnost Si in je zato priprava taline, t. j. faza primarne oksidacije, zelo pomembna. Čeprav je v določeni meri možno preprečiti oz. omiliti pričakovani veliki porast temperature taline zaradi velike vsebnosti C in/ali silicija na ta način, da se odločimo za manj intenzivno oksidacijo, s tem da pihamo npr. le 700—800 m³ kisika na uro namesto napr. 1100—1200. To gre seveda na račun produktivnosti, ker se s tem daljša čas trajanja šarže, in kar je še slabše, pri tem se lahko poruši sinhronizacija dela peči in VOD ponovce. Obenem to pomeni, da je talina pri izlivu iz EO peči imela nepotrebno visoko temperaturo, za kar smo porabili nekaj odvečnih kilovatnih ur. Obseg primarne oksidacije je torej odvisen od številnih dejavnikov in ga narekuje predvsem zahteva po časovno usklajenem delu EO peči in VOD ponovce oz. predvideni čas, potreben za vakuumsko oksidacijo. Tega sicer lahko nekoliko spremenimo pri dani sestavi in temperaturi taline, vendar je tako natančno prilagajanje precej zahtevna naloga.

2.2 Časovna usklajenost EO peči in VOD ponovce

Časovno usklajeno delo v jeklarni je nujno treba doseči, sicer nastopajo velike težave — občuten padec produktivnosti in porast proizvodnih stroškov. Posebno veliki problemi v tem smislu nastopajo v starih jeklarnah, v katerih je bila zgrajena VOD naprava, medtem ko je pri novih jeklarnah, ki so že bile projektirane za tandem EOP-VOD, ta problem dosti manjši. V primeru VOD naprave ne dosežemo tako občutne rasti pro-

duktivnosti kot pri AOD konvertorju, ker je intenziteta vakuumske oksidacije omejena z močjo črpalk, medtem ko te omejitve v AOD konvertorju ni. Za časovno usklajeno delo je pomembna dosledna tehnološka disciplina in brezhibno vzdrževanje vseh naprav v jeklarni. S tehnološkega stališča je pomembno, da v določeni meri lahko omilimo motnje v sinhronizaciji EO peči in VOD naprave s krajšanjem ali podaljševanjem primarne oksidacije v EOP ter s spremembo intenzitete sekundarne, t. j. vakuumske oksidacije.

2.3 Vzdržnost ognjevarne obloge

Število šarž, ki jih lahko prenese ognjevarna obloga VOD ponovce, veliko vpliva na proizvodne stroške. Vzdržnost obloge je odvisna od številnih dejavnikov, izmed katerih so najpomembnejši:

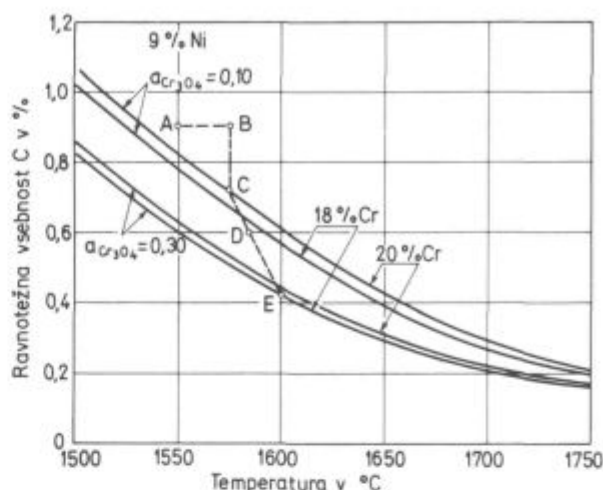
- stroga kontrola temperature taline v VOD ponovci, ki ne sme presegati 1700° C,
- čim manjša količina žlindre,
- pravilen dodatek apna oz. pravilna bazičnost žlindre,
- nizka začetna vsebnost Si v talini,
- pravilna obzidava in dobra kvaliteta opeke.

3. PRAVILNA PRIPRAVA TALINE ZA VOD

Za pravilno pripravo taline za vakuumsko oksidacijo sta pomembni predvsem potek primarne oksidacije v EOP ter obseg primarne oksidacije. Potek primarne oksidacije je pomemben zato, ker lahko med oksidacijo dosežemo določeno, načrtovano, predpisano vsebnost ogljika z manjšo ali večjo porabo energije, z različno stopnjo oksidacije kroma in z različno končno temperaturo taline. Obseg oksidacije pa mora biti vnaprej določen, glede na sestavo staljenega vložka, t. j. analizo prvega preizkušanca ter načrtovano končno vsebnostjo ogljika v talini, ki je namenjena vakuumski oksidaciji. Usklajeno delovanje EOP in VOD ne zahteva le vzdrževanja pravega ritma dela, t. j. ne gre le za časovno usklajenost, temveč morata biti usklajeni tudi sestava in temperatura taline. Končna sestava in temperatura taline na koncu primarne oksidacije sta torej predpisani z izbrano oz. zaželeno sestavo taline na začetku VOD oksidacije ter s temperaturo taline na začetku VOD obdelave, ob upoštevanju ohlaiditve taline v času od izliva iz EOP do začetka vakuumske oksidacije.

3.1 Optimalni potek primarne oksidacije

Obseg primarne oksidacije je torej opredeljen z razliko vsebnosti ogljika (silicija) na začetku in koncu primarne oksidacije. Delo v VOD komori naj bo čimbolj standardizirano, t. j. zaželeno je, da imajo taline na začetku vakuumske oksidacije po možnosti vedno enako sestavo in temperaturo. Na ta način se lahko izognemo napakam in lahko uporabljamo dobro utečen ter preizkušen način dela brez neprijetnih presenečenj. Seveda se občasno iz številnih vzrokov pojavi potreba po spremembi standardnih procesnih parametrov zaradi spremenjenih začetnih parametrov stanja taline, t. j. začetne sestave in temperature taline za VOD. Te nepravilnosti so neizogibne in nastopajo sicer le občasno, vendar zahtevajo od jeklarja odstop od običajne prakse in ustrezno ter pravočasno ukrepanje. Za pravilen potek primarne oksidacije pa moramo poznati ustrezna termodinamična ravnotežna stanja in nam zadošča, da poznamo ravnotežji C/Cr in C/Si, kar nam zagotavlja:



Slika 1
Temperaturni profil optimalnega poteka primarne oksidacije talin z 18–20 % Cr in 9 % Ni (EOP).

Fig. 1
Optimum course of primary oxidation for melts with 18–20 % Cr and 9 % Ni (EAF).

- minimalno porabo električne energije,
- najmanjšo možno toplotno obremenitev obloge EO peči,
- minimalno stopnjo oksidacije kroma v EOP,
- minimalno porabo reductentov,
- hitro ter enostavno redukcijo žlindre in
- zadosti nizko vsebnost Si, t. j. tako vsebnost silicija v talini za VOD, ki ne bo povzročala težav med vakuumsko oksidacijo.

Na sliki 1 vidimo diagram, ki prikazuje ravnotežno stanje med ogljikom in 18–20 % Cr v odvisnosti od temperature in aktivnosti Cr_3O_4 v žlindri pri 9 % Ni. Znano je, da se aktivnost Cr_3O_4 v žlindri giblje med 0,10 in 0,30. Večja vrednost ustreza večji vsebnosti kroma v žlindri, zaradi tega si želimo voditi primarno oksidacijo po zgornjih krivuljah na sliki 1, ki se nanašata na pogoje pri zmerni oksidaciji kroma (aktivnost $Cr_3O_4 = 0,10$), ter na talini z 18 % Cr (spodnja) in 20 % Cr (zgornja krivulja). Če želimo npr. začeti vakuumsko oksidacijo v VOD s talino, ki ima 0,6 % C, potem iz diagrama vidimo, da nam ob koncu primarne oksidacije zadošča temperatura 1600° C. Če smo delali pri nižji temperaturi, npr. 1550, potem iz diagrama vidimo, da bo aktivnost Cr_3O_4 že dosegla zgornjo dopustno mejo (0,30). Imeli bomo razmeroma veliko kroma v žlindri ter v zvezi s tem otežkočeno redukcijo žlindre. Višja temperatura od 1600° C ni priporočljiva zaradi nepotrebno povečane toplotne obremenitve obloge peči, nekoliko večje porabe električne energije, in kar je še bolj pomembno, previsoke začetne temperature v VOD, ki bo verjetno presegla 1700° C ob koncu vakuumske oksidacije. To bi seveda povzročilo preveliko porabo ognjevarne obloge VOD ponovce. Dodajmo temu še dejstvo, da višja temperatura primarne oksidacije ne bi pripomogla k znižanju oksidacije kroma, kot bi bilo pričakovati glede na termodinamične zakonitosti, in sicer zato, ker je določena stopnja oksidacije kroma, ki ustreza aktivnosti $Cr_3O_4 = 0,10$, praktično neizogibna. Globalno vzeto, se v talini brez dvoma vzdržuje ravnotežno stanje med Cr in C, toda lokalno (na površini taline) nimamo ravnotežja in je zato omenjena stopnja oksidacije kroma neizogibna. Ker med oksidacijo narašča temperatura tali-

ne, je v tem primeru jasno, da moramo takoj po staljenju začeti pihati kisik. Z nekoliko prakse je možno začeti pihati celo preje, t. j. še preden se je vložek popolnoma stalil, in tako privarčevati električno energijo. Ker so toplotne izgube močno odvisne od kapacitete peči oz. od mase taline, le praksa lahko pokaže, ali se v posamezni jeklarni lahko na ta način dosežejo kakšne prednosti.

3.2 Obseg primarne oksidacije

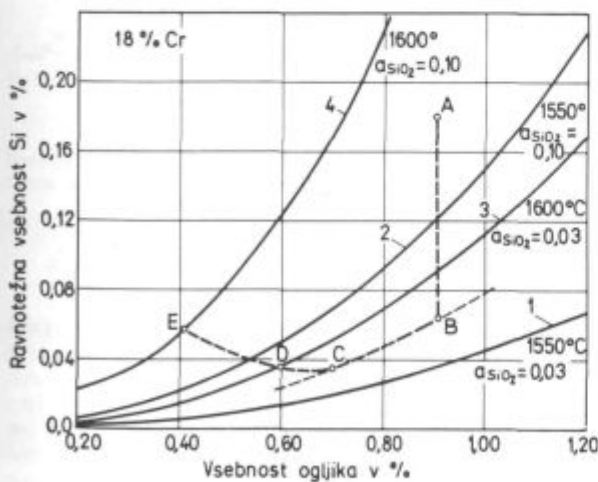
Minimalni obseg primarne oksidacije je tista stopnja oksidacije v EOP, ki nam zagotavlja, da bo talina pri izlivu iz peči imela največ 1,0–1,2 % C in maksimalno 0,20 % Si. Ta predpis imajo v jeklarni v Wittnu in je seveda rezultat bogatih izkušenj z VOD tehnologijo izdelave nerjavnih jekel. Predpis je brez dvoma koristen, posebno v primeru, ko zaradi nižje cene uporabljamo FeCr charge, ki vsebuje veliko Si, vendar je preveč splošen in obenem ne omogoča točnejši izračun potrebnega dodatka CaO v takih primerih. Poznavanje termodinamičnega ravnotežja med ogljikom in silicijem v talini v odvisnosti od temperature ter trojnega ravnotežja med ogljikom, silicijem in kromom nam omogoča lažje delo in točen izračun potrebnega dodatka CaO. Iz analize prvega preizkušanca oz. taline, ki smo ji že dodali ves potreben krom, ki torej že vsebuje ves Si in končne, t. j. ravnotežne vsebnosti Si pri zelenem končnem ogljiku in temperaturi, lahko ugotovimo obseg oksidacije silicija ter nato izračunamo potreben dodatek CaO. Ravnotežna vsebnost Si pri dani vsebnosti ogljika in npr. 18 % Cr ter 9 % Ni je odvisna od temperature, pa tudi od aktivnosti SiO₂ v žlindri. Aktivnost SiO₂ v žlindri se lahko spreminja v mejah od 0,03, pri zelo bazičnih žlindrah do 0,10. Pri ostalih enakih pogojih je ravnotežna vsebnost Si večja pri večji aktivnosti SiO₂ v žlindri. Kako se spreminja ravnotežna vsebnost Si v odvisnosti od vsebnosti ogljika v talinah z 18 % Cr in 9 % Ni kaže slika 2 za temperaturi 1550 in 1600° C ter za aktivnosti SiO₂ v mejah od 0,03 do 0,10. Vzemimo primer taline, ki ima ob staljenju 0,90 % C, 20 % Cr in 9 % Ni pri temperaturi 1550° C (točka A na sliki 1) ter 0,18 % Si (točka A

na sliki 2). Glede na termodinamično ravnotežje C/Cr (slika 1) ogljik štiti krom pred oksidacijo. Iz slike 2 pa obenem vidimo, da Si štiti ogljik pred oksidacijo, saj je točka A na sliki 2 nad krivuljo 1, ki kaže ravnotežje C/Si pri aktivnosti SiO₂=0,03 in 1550° C, in celo nad krivuljo 2, ki velja za isto temperaturo, vendar za aktivnost SiO₂=0,10. Ob začetku pihanja kisika bo torej potekala skoraj popolnoma selektivna oksidacija Si, ki jo spremlja ustrezen porast temperature taline in aktivnosti SiO₂ v žlindri. Sestava taline se spreminja, kot kaže črtkana navpična črta AB na sliki 2. Pri tem temperatura taline raste, kot kaže črtkana vodoravna črta AB na sliki 1. S predpostavko, da med oksidacijo Si naraste temperatura do 1575° C (točka B na sliki 1) ter aktivnost SiO₂ do 0,06, se v točki B (na sliki 2) vzpostavi binarno ravnotežje C/Si pri temperaturi 1575° C in 0,06 % Si. Talina vsebuje še ca. 20 % Cr, 9 % Ni in 0,9 % C (točka B na sliki 1). Sedaj se začne istočasna oksidacija Si in C po črtkani krivulji BC na sliki 2 oz. po črtkani navpični črti BC na sliki 1. V točki C (na obeh slikah!) se doseže trojno ravnotežje Si/C/Cr in se začne oksidacija kroma. Istočasna oksidacija Si, C in Cr ima za posledico dvig temperature taline, porast aktivnosti Cr₂O₄ in SiO₂ v žlindri ter padec vsebnosti Si, C in Cr v talini. Tako se sestava taline in njena temperatura spreminjata, kot kaže črtkani krivulji CD na sliki 1 in 2. Kot vidimo s slike 2, se oksidacija Si ustavi in spremeni v redukcijo Si iz žlindre. Nadaljevanje oksidacije spreminja sestavo taline in njeno temperaturo po krivulji DE na sliki 1 in 2. V točki E ima talina temperaturo 1600° C, 0,42 % C, 0,06 % Si in le 18 % Cr. Aktivnost Cr₂O₄ v žlindri je že približno dosegla zgornjo mejo (0,30). Nadaljevanje oksidacije bi povzročilo zelo intenzivno oksidacijo kroma in ga je treba takoj ustaviti. Dejansko bi v tem primeru bilo potrebno ustaviti oksidacijo že pri minimalni možni vsebnosti Si (pod 0,04 % Si — točka C na sliki 2), t. j. v točki C na sliki 2 in sliki 1, t. j., še preden se Cr toliko oksidira, da poraste aktivnost Cr₂O₄ v žlindri na 0,30. Tako velike preciznosti seveda v praksi ne moremo doseči, zato zadošča, da oksidacijo prekinemo v točki D oz. nekje med C in D. Tako smo lahko s to analizo poteka primarne oksidacije pokazali, da omenjene taline dejansko ne smemo oksidirati pod 0,6 % C (točka D), kar nam zagotavlja:

- minimalno možno vsebnost Si,
 - minimalne izgube kroma z žlindro,
 - lahko in hitro redukcijo žlindre z majhno porabo reductentov,
 - minimalno porabo električne energije in
 - minimalno toplotno obremenitev obloge EOP.
- Potreben dodatek apna lahko izračunamo iz predvidene oksidacije Si, saj, kot vidimo, preide iz taline v žlindro 0,18–0,04=0,14 % Si.

4. ČASOVNA USKLAJENOST EOP — VOD

Usklajeno delo EO peči in VOD zadeva tudi časovno usklajenost, ki je s stališča produktivnosti in proizvodnih, predvsem pa energetskih stroškov zelo pomembna. S teoretskega stališča nam še tako skrbno projektiran ritem dela ne pomaga veliko v premagovanju pogostih motenj predvidenega ritma, zaradi različnih tehničnih težav in nepredvidenih zastojev. Termodinamika in njene zakonitosti nam na prvi pogled ne morejo dosti pomagati, vendar to povsem ne drži. Vzemimo primer, ko moramo zaradi zastoja v pripravi VOD ponovce oz. vakuumske naprave zadržati talino v EO peči. V takih primerih lahko seveda zadržujemo talino v EO peči ali pa skušamo zmanjšati izpad proizvodnje na ta



Slika 2

Termodinamično ravnotežje Si/C za taline z 18 % Cr pri temperaturah 1550 in 1600° C in za aktivnost SiO₂ med 0,03 in 0,10.

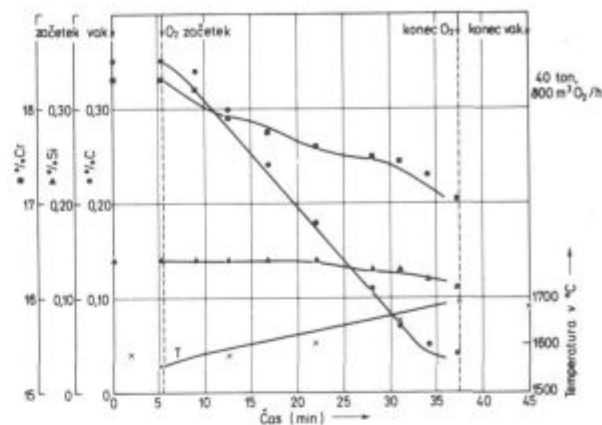
Fig. 2

Thermodynamic equilibrium Si/C for melts with 18 % Cr for 1550 and 1600° C at a SiO₂=0,03 and 0,10.

način, da povečamo obseg primarne oksidacije in nadaljujemo s pihanjem kisika v peči do sicer neobičajno nizkih vsebnosti ogljika. S tem lahko bistveno zmanjšamo čas vakuumske oksidacije v VOD. Delno si v takih primerih jeklar lahko pomaga z diagramom na sliki 1, ki nam med drugim kaže, da lahko talino z 18 % Cr oksidiramo v EOP vse do 0,20 % C, vendar po strogo določenem temperaturnem programu. Še bolj je seveda, če imamo na razpolago ustrezen računalniški program, tako da nam računalnik lahko daje potrebna navodila v vsakem konkretnem primeru. Standardizirana in dobro utečena praksa nam sedaj ne pomaga. Vsak primer je specifičen in zahteva specifične ukrepe in vodenje oksidacije prilagojeno trenutnim razmeram. Dodajmo temu še dejstvo, da npr. 70-tonska šarža nerjavnega jekla, tipa 18/8, danes velja nekaj milijard starih denarjev (samo Ni stane čez 30.000 USA \$!). Povsem jasno je, da se glede na tako finančno vrednost ne moremo zadovoljiti z nekakim povprečno dobrim načinom dela, saj že majhne oscilacije v produktivnosti, izkoristku kroma, porabi električne energije, ferozlitin, ognjevarne obloge itn., pomenijo velik denar. Upoštevajoč ta dejstva, sodimo, da je potrebno uveljaviti pojmovanje, da je vsaka šarža specifična in jo je treba kot tako tudi obravnavati ter težiti za optimalnim vodenjem celotnega procesa izdelave pri vsaki konkretni šarži. Pri tem je treba še poudariti, da je optimalno vodenje ene šarže lahko daleč od optimuma pri neki drugi šarži. Standardizirana praksa je seveda dobra, vendar le prehodna rešitev, s katero se ni več mogoče zadovoljiti, ko nam računalniško vodenje proizvodnih procesov omogoča bistveno boljše rezultate.

4.1 Vpliv intenzitete pihanja kisika

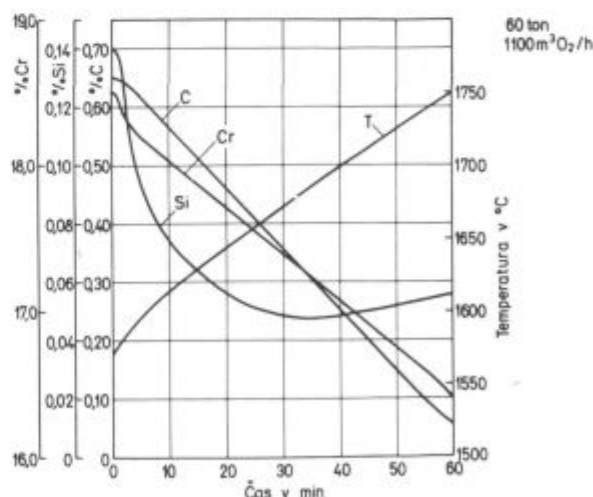
Intenziteta pihanja kisika v VOD napravah je praviloma v mejah med 600 in 2000 m³ na uro. V večini primerov pa le redko vpihujemo več kot 1200 m³ kisika na uro. Če kopje za vpihovanje kisika ni vodno hlajeno, je intenziteta pihanja manjša, kot pri vodno hlajenem kopju. Če predpostavimo, da je izkoristek kisika konstanten v precej širokem delovnem območju intenzitete pihanja in sestave oz. vsebnosti ogljika, lahko pričakujemo, da bo čas, potreben za oksidacijo določene količine ogljika, obratno sorazmeren intenziteti pihanja. Raziskave v Wittenu (7) so pokazale, da se čas vakuumske oksidacije skrajša pri bolj intenzivnem pihanju kisika občutno bolj, kot lahko pričakujemo na osnovi predpostavke o enakem izkoristku. Izkoristek kisika je torej večji pri bolj intenzivnem pihanju. Potemtakem s spremembo intenzitete pihanja lahko precej vplivamo na čas VOD obdelave in na ta način lahko znova vzpostavimo načrtovani ritem dela oz. časovno usklajeno delo med EOP in VOD, če je pred tem prišlo do nepredvidenega zastoja. Za podrobnejšo analizo vpliva intenzitete pihanja na čas vakuumske oksidacije so bili izvedeni poskusi (9) v Aachenu in je bilo ugotovljeno, da obstaja razmeroma močna korelacija ($R = 0,88$) med specifično intenziteto pihanja (v kub. metrih kisika na uro in tono) in hitrostjo oksidacije ogljika. Za praktične namene bi potrebovali t. im. modelne poizkuse. Na metalurškem inštitutu smo razvili matematični model vakuumske oksidacije MIS-VOD (8), ki je dinamičnega tipa, t. j. vključuje poleg termodinamičnih tudi kinetične zakonitosti ter nam omogoča simulacijo vakuumske oksidacije, t. j. vodenje namišljene šarže ob upoštevanju vseh realnih pogojev, ki so tipični za prakso dane jeklarne. Računalniški program, izdelan na osnovi tega modela, nam tako mogoča izvedbo »poskusov«, ki si jih v praksi sploh ne moremo privoščiti. Na ta način lahko ugot-



Slika 3
Primerjava rezultatov modela (krivulje) in dejanskih rezultatov.

Fig. 3
Comparison of the results calculated by mathematical model (curves) and the practical results (points) from ESW Witten (9).

vljamo vplive posameznih procesnih parametrov in začetnih pogojev na končni rezultat vakuumske oksidacije. Čeprav model še ne vključuje empiričnih parametrov, kot so npr. povprečni izkoristek kisika, srednja hitrost ohlajevanja taline v ponovci, itd., ki jih bo treba čimbolj natančno določiti za vsako jeklaro posebej, smo manjkajoče podatke nadomestili s predpostavljenimi vrednostmi in izvedli nekatere modelne poizkuse. Model smo najprej testirali na ta način, da smo simulirali vodenje VOD oksidacije nerjavnega jekla 4 različnih šarž, za katere je bil potek oksidacije podrobno opisan v strokovni literaturi (7, 9, 10). Tako slika 3 kaže primerjavo rezultatov simulacije s pomočjo modela (krivulje) z dejanskimi rezultati (točke) iz lit. (7). Kot vidimo, se rezultati modelnega poskusa presenetljivo dobro ujemajo z dejanskim potekom vakuumske oksidacije. Seveda bo potrebno verificirati model v naših jeklarah in ga po potrebi še dodelati, vendar nam že sedaj omogoča nekatera dognanja. Tako smo z namenom



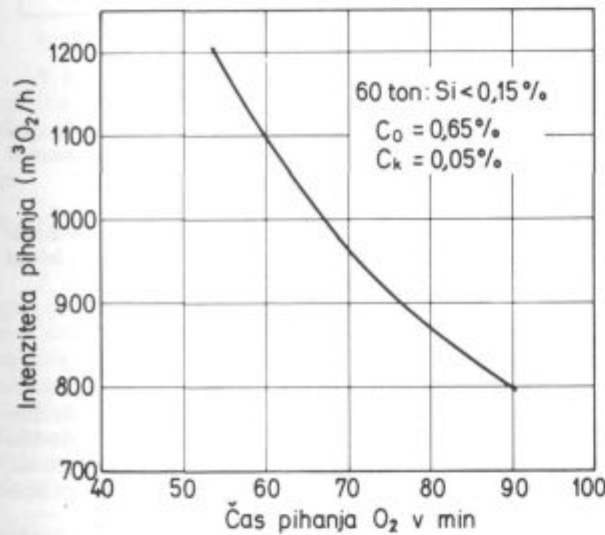
Slika 4
Rezultati modelnega poskusa. Simulacija VOD oksidacije 60-tonske taline pri 1100 m³ kisika/uro.

Fig. 4
Simulation of VOD processing for a 60 ton melt at 1100 m³ of oxygen per hour.

analize vpliva intenzitete pihanja kisika na čas, potreben za vakuumsko oksidacijo namišljene taline v VOD napravi, simulirali potek oksidacijske faze v pogojih, ki približno ustrezajo pogojem v jeseniški jeklarni. Na sliki 4 vidimo rezultate modelnega poskusa, t. j. simulacije vodenja VOD oksidacije taline. Izbrani so naslednji začetni pogoji:

- začetna temperatura taline: 1570° C,
- masa taline: 60 ton,
- intenziteta pihanja kisika: 1100 m³/uro,
- začetna sestava: 0,65 % C, 0,14 % Si, 0,30 % Mn, 18,50 % Cr, 9,0 % Ni.

Poleg poteka oksidacije ogljika, silicija in kroma vidimo na sliki tudi potek temperature ter čas, potreben za oksidacijo do željene vsebnosti ogljika. Pri omenjenih začetnih pogojih in izbranih procesnih parametrih vidimo, da bomo dosegli 0,05 % C po izteku 60 minut. Takrat bi morali prekiniti pihanje. Temperatura ob koncu pihanja bi bila 1750° C. Talina bi pri 0,05 % C vsebovala ca. 0,05 % Si in 16,40 % Cr. Vpliv intenzitete pihanja kisika na čas, potreben za oksidacijo 60-tonske šarže od 0,65 % C do 0,05 % C, kaže slika 5.



Slika 5

Vpliv intenzitete pihanja na čas pihanja kisika od 0,65 % C do 0,05 % C z 60-tonske šarže 18/8.

Fig. 5

Relationship between blowing rate and the time required for vacuum decarburisation of a 60 ton 18/8 melt from 0,65 % C to 0,05 % C.

4.2 Vpliv začetne sestave taline

Porušeni ritem dela zaradi nepredvidenih zastojev lahko znova vzpostavimo, tako da s spremembo intenzitete pihanja kisika skrajšamo oz. podaljšamo čas vakuumske oksidacije v VOD. V praksi pa bo treba kombinirati spremembo intenzitete pihanja s spremembo začetne vsebnosti ogljika. Le na ta način dobimo namreč večje možnosti, da ponovno dosežemo časovno usklajenost med EOP in VOD in tako ujamemo izgubljeni delovni ritem. Če VOD ponovca ni bila pravočasno pripravljena, lahko nadaljujemo primarno oksidacijo v EOP. Pri tem moramo seveda paziti na pravilen potek temperature, da bi preprečili prekomerno oksidacijo kroma, t. j. potek temperature mora ustrezati tistemu na sliki 1. Višja temperatura od tiste optimalne, ki je prikazana na sliki 1, je škodljiva za oblogo peči, nižja pa

povzroča nesprijemljivo veliko oksidacijo kroma na žlindro. V tem primeru bo imela talina na začetku VOD oksidacije nižjo vsebnost ogljika kot pri običajnem delu, kar bo seveda zahtevalo krajši čas oksidacije oz. ustrezno prilagajanje intenzitete pihanja kisika želenemu času oksidacije.

5. VZDRŽNOST OGNJEVARNE OBLOGE

Vzdržnost ognjevarne obloge VOD ponovce je bistvena za proizvodne stroške, zato je temu vprašanju potrebno posvetiti večjo pozornost. Osnovna dejavnika, ki najbolj ogrožata vzdržnost obloge, sta seveda temperatura in žlindra oz. količina in bazičnost žlindre. Obstojnost obloge je odvisna od začetnih pogojev, t. j. začetne sestave in temperature taline, ter od procesnih parametrov. Nezaželen dodatek CaO oz. prenizka bazičnost, previsoka intenziteta pihanja, visoka začetna vsebnost ogljika in silicija, visoka začetna temperatura taline, oksidacija do nepotrebno nizke vsebnosti ogljika, tj. predolgo pihanje kisika, so izredno škodljivi za obstojnost obloge. Zadošča že eden izmed naštetih dejavnikov za prekomerno obrabo obloge, pogosto pa nastopajo v kombinaciji, kar lahko povzroči katastrofalno obrabo obloge v žlindrni coni že v eni sami šarži! Število dejavnikov, ki so pomembni, akumulacija vpliva in sinergistični efekt, t. j. pojav močnejšega vpliva kombiniranih dejavnikov, jasno kažejo, kako težka je naloga jeklarja, ki se želi izogniti vsaj večjim napakam. Standardizirana praksa je trenutno edina rešitev, vendar so odstopanja od običajnega načina dela dostikrat neizogibna. Danes ni jeklarja, ki bi lahko pravilno in pravočasno ukrepal ter prilagodil vse naštete veličine trenutnim pogojem, ko so le-ti zunaj običajnega načina dela. Edina rešitev je v računalniškem vodenju procesa, saj ni mogoče pričakovati od jeklarjev, da tako popolno obvladajo termodinamične zakonitosti in da so še sposobni, da v zelo kratkem času, ki je na razpolago, izvedejo ustrezne izračune. Obseg potrebnih izračunov je v nekaterih primerih tako velik, da je celo vprašljivo, ali lahko npr. mikroročunalnik izvede vse potrebne proračune v dovolj kratkem času, npr. 1–2 minuti. Pri tem je odločilnega pomena hitrost dela, in ne obseg spomina, ki ga ima računalnik.

5.1 Vpliv začetne sestave taline

Ob koncu vakuumske oksidacije vsebuje talina v VOD ponovci običajno med 0,05 in 0,10 % Si, kot so to pokazale naše prejšnje raziskave v okviru termodinamične analize sistema Fe-Cr-C-Si-O, kar se zelo dobro ujema z dejanskimi rezultati, sodeč po podatkih v strokovni literaturi. Le v redkih primerih lahko talina vsebuje ob koncu oksidacije manj kot 0,05 % Si, kar je seveda možno le v primeru, če je že na začetku imela zelo nizek Si in je bila brez žlindre oz. smo dodali ustrezno količino CaO in CaF₂ ter tako zagotovili visoko bazičnost in s tem v zvezi nizko aktivnost SiO₂ v žlindri (7.9). To pomeni, da lahko računamo z oksidacijo Si med vakuumsko oksidacijo, in sicer bo oksidirala količina Si, ki ustreza razliki med njegovo začetno in končno vsebnostjo. Kot končno vsebnost lahko prevzamemo vrednost 0,07 % Si. Za izračun potrebnega dodatka CaO rabimo še podatek o želeni bazičnosti. Medtem ko v EOP oz. pri klasični tehnologiji izdelave nerjavnega jekla ne potrebujemo bazičnosti, ki bi presejala 1,5–1,7, ker sicer znova naraščajo izgube kroma z žlindro, ker raste količina žlindre, v VOD ponovci lahko in celo moramo delati z večjo bazičnostjo. To velja pred-

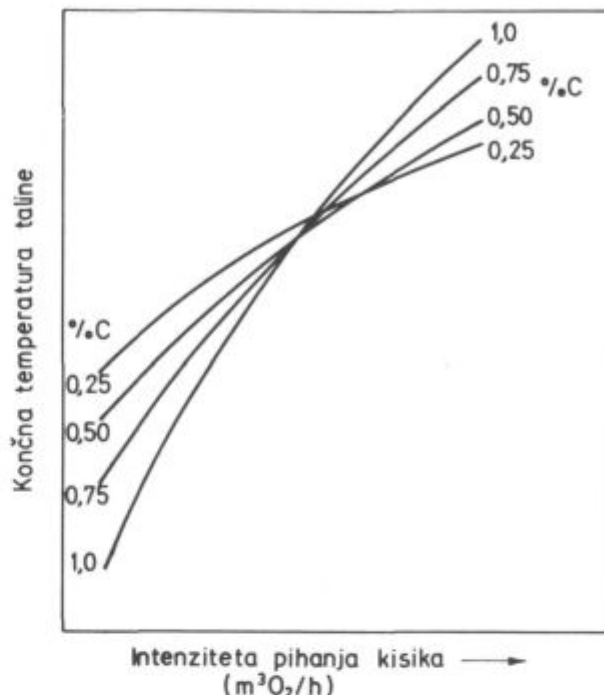
vsem za šarže z visoko začetno vsebnostjo ogljika. Tukaj ne omenjamo Si, ker njegovo nadpovprečno vsebnost pač kompenziramo s posebnim dodatkom CaO, kot je že omenjeno. Večja bazičnost, npr. 2,5–3 (ponekod delajo celo z bazičnostjo 3–5!) je potrebna pri večji vsebnosti ogljika zaradi tega, ker je čas oksidacije sedaj daljši in je obloga dalj časa izpostavljena vplivu žlindre in visoke temperature. Ustrezen dodatek CaO ustvari venec še neraztopljenega apna, ki obkroža t. im. »oko«, t. j. tisti del odkrite površine taline neposredno pod kopjem, v katerem talina »kuha« pod vplivom argona. Ker dodano apno potrebuje čas za raztapljanje, je prva žindra (posebno pri talinah z visoko vsebnostjo Si) zelo kislila in lahko močno poškoduje oblogo v žilindri coni, čeprav bo končna analiza žlindre pokazala, da je bila bazičnost »običajna«. Šele ko se dodano apno raztopi, bazičnost poraste in je nevarnost mimo. Pomembno je torej, da uporabljamo kvalitetno »mehko« žgano apno, ki se dovolj hitro raztaplja. Venec neraztopljenega apna ima torej zelo pomembno vlogo pri zaščiti obloge v žilindri coni v začetku, t. j. takrat, ko je nevarnost največja. Problemov z oblogo zaradi previsoke vsebnosti Si v naših jeklarnah zaenkrat ni, ker pač ne uporabljamo najcenejšega vira kroma, t. j. FeCr charge. Ta FeCr proizvaja tovarna TDR v Rušah in bo treba začeti poskuse z njegovo uporabo v vložku. Takrat bo treba posvetiti večjo pozornost možnim posledicam nezadostne primarne oksidacije pri delu v VOD.

5.2 Vpliv in kontrola temperature

Ena izmed najtežjih nalog pri usklajevanju dela EOP in VOD v postopku EOP-VOD je pravilna usklajenost temperature. Upoštevajoč ohlajanje taline med izlivom iz EOP in začetkom vakuumske oksidacije, mora biti temperatura pri izlivu iz EOP strogo kontrolirana. Če kot zgornjo dopustno temperaturo v VOD izberemo 1700°C, potem je jasno, da bo temperatura na koncu vakuumske oksidacije neposredno odvisna od začetne temperature. Končna, t. j. maksimalna temperatura v VOD ponovci je odvisna od:

- mase taline,
- intenzitete pihanja kisika,
- začetne temperature taline,
- začetne vsebnosti ogljika,
- začetne vsebnosti Si (če je ta nad 0,10 % Si),
- končne vsebnosti ogljika in
- intenzitete mešanja z argonom.

V primerih, ko smo prisiljeni, da v VOD ponovci žilavimo talino z vsebnostjo ogljika, ki je večja od tiste pri običajnem načinu dela, lahko prilagodimo intenziteto pihanja, t. j. znižamo intenziteto pihanja kisika, da bi tako preprečili dvig temperature nad 1700°C. Glede na to, da je maksimalna temperatura taline v VOD ponovci odvisna od 7 zgoraj naštetih dejavnikov, bi popolna raziskava, izvedena na klasičen način, zahtevala 78.125 poskusov, če bi vsak dejavnik nastopal s petimi različnimi vrednostmi. Če bi te poskuse izvajali v jeklarni in bi vsak dan imeli eno poskusno šaržo, bi za to potrebovali 214 let! Ta primer jasno kaže nujnost prehoda k sodobnim raziskovalnim metodam, ki vključujejo matematično modeliranje in uporabo računalnika. Tudi z uporabo računalnika in ustreznega matematičnega modela je torej precej obsežna raziskava, saj gre za simulacijo vodenja 78.125 šarž, ki mora biti izpeljana v celoti, t. j. od začetka do konca namišljene vakuumske oksidacije. S predpostavko, da za simulacijo poteka ene šarže z računalnikom potrebujemo pri naših računalnikih, ki so večinoma zastareli že ob nakupu in so zaradi tega veliko počasnejši od sodobnih računalnikov srednjega razre-



Slika 6

Vpliv začetne vsebnosti C in intenzitete pihanja na maksimalno temperaturo v 60-tonski VOD ponovci pri začetni temperaturi 1550 in končni vsebnosti 0,05 % C.

Fig. 6

Influence of initial carbon content and blowing rate on maximum temperature in VOD. (At 0,05 % C in 60 ton melt, initial temperature 1550°C).

da, le eno minuto, bi potrebovali 54 dni neprekinjenega dela računalnika! To pomeni, da bo treba skrbno načrtovati take modelne poskuse in jih omejiti na konkretne zahteve jeklarjev, sicer bi dobili veliko in nepregledno množico števil, ki bi bile zato za prakso neuporabne. Očitno je edina rešitev v računalniškem vodenju procesa, vendar je to naloga, ki je še pred nami.

V okviru te študije smo izvedli 45 modelnih poskusov z uporabo računalnika. Pri tem smo spreminjali začetno vsebnost ogljika med 0,20 in 1,0 % C ter intenziteto pihanja med 800 in 1200 m³ kisika/uro. Rezultate prikazujemo grafično na sliki 6. Dobljeni rezultati so seveda le relativni, saj gre za rezultate modelnih poskusov, zato v diagramu na sliki 6 niso podane številčne vrednosti. Rezultati veljajo za naslednje okvirne pogoje:

- talina: 18/8,
 - začetna temperatura oksidacije: 1550°C,
 - začetna vsebnost Si: manj kot 0,15 % Si,
 - masa taline: 60 ton,
 - končna vsebnost ogljika: 0,05 % C
 - način pihanja: na površino taline,
 - talina na začetku oksidacije praktično brez žlindre.
- Diagram na sliki 6 nam daje osnovo za naslednji ugotovitvi:

- pri majhni intenziteti pihanja imajo višjo končno temperaturo taline z nizko vsebnostjo ogljika, medtem ko pri višjih intenzitetah pihanja višji začetni ogljik ustreza tudi višji končni temperaturi,
- za dano VOD napravo obstaja določena intenziteta pihanja, pri kateri je končna temperatura taline neodvisna od začetne vsebnosti ogljika!

Seveda je potrebno natančno ugotoviti to intenziteto pihanja, ki predstavlja optimalno intenziteto pihanja za standardno prakso. Pri tej intenziteti pihanja, izraženi za dano maso taline v kub. metrih kisika na uro, ne more biti neprijetnih presenečenj v obliki previsokih končnih temperatur taline ob koncu VOD oksidacije, če seveda ni bila prevelika začetna vsebnost Si ali/in previsoka začetna temperatura taline. Vsako ad hoc spreminjanje intenzitete pihanja in poskus njene prilagoditve spremenjenim pogojem v jeklarni, ki so le začasni, mora biti dobro premišljeno in skrbno preračunano, sicer lahko pride do prekomerne porabe obloge. Tako so nam že na začetku modelni poskusi pripomogli do zanimive ugotovitve. Natančne, t. j. absolutne vrednosti končnih temperatur v VOD ponovci bo možno vrisati v diagram na sliki 6 le po poprejšnjem umerjanju modela na konkretni VOD napravi. Toplotnih izgub ni mogoče zanesljivo oceniti, kaj šele opredeliti. Zato je prva naslednja naloga natančna verifikacija izdelanega matematičnega modela v naših jeklarnah oz. njegovo umerjanje. To bo potem odprlo možnost izvajanja številnih skrbno načrtovanih modelnih poskusov, s katerimi bo mogoče izdelati bolj konkretne napotke za prakso.

6. PREDLOGI IN ZAKLJUČKI

V študiji nekaterih osnovnih problemov vakuumske oksidacije smo raziskovali vplive začetnih in procesnih dejavnikov na:

— pravilno pripravo taline za vakuumsko oksidacijo,

— časovno usklajeno delovanje tandema EOP-VOD in

— vzdržnost ognjevarne obloge VOD ponovce.

Z uporabo računalnika in izdelanega matematičnega modela MIS-VOD smo izvedli 45 modelnih poskusov simulacije vodenja vakuumske oksidacije taline z 0,65 % C, 0,15 % Si, 0,30 % Mn, 18,5 % Cr in 9 % Ni. Za začetno temperaturo taline smo izbrali vrednost 1550° C. Za maso taline smo prevzeli vrednost 60 ton. Izbrani pogoji v grobem ustrezajo pogojem v jeklarni železarne Jesenice. Pomembnejši rezultati teh prvih modelnih poskusov so:

— Ugotovili smo potreben čas pihanja kisika za oksidacijo do 0,05 % C v odvisnosti od intenzitete pihanja. Izdelani diagram lahko uporabljamo kot pripomoček v praksi pri vakuumski oksidaciji 60-tonske taline v VOD ponovci. Zaenkrat je to le groba orientacija, kar bo možno izboljšati z natančnim umerjanjem izdelanega modela, t. j. z njegovim prilagajanjem razmeram v dani jeklarni.

— Odvisnost končne temperature vakuumske oksidacije od začetne temperature taline je preprosta: končna temperatura je toliko večja, za kolikor višja je bila začetna temperatura taline.

— Modelne raziskave medsebojne odvisnosti med začetno vsebnostjo ogljika, intenziteto pihanja kisika in končno temperaturo so pokazale, da za vsako VOD napravo obstaja določena intenziteta pihanja, ki nam zagotavlja skoraj enako končno temperaturo taline, neodvisno od začetne vsebnosti ogljika. Ta ugotovitev velja v naslednjih pogojih:

a) Predvidena, načrtovana, zelena vsebnost ogljika ob koncu vakuumske oksidacije je enaka (0,05 % C).

b) začetna temperatura taline mora biti enaka in

c) začetna vsebnost Si mora biti pod 0,15 % Si.

— Povsem nepričakovano smo z modelnimi poskusi ugotovili, da imajo pri majhni intenziteti pihanja (npr. 800 m³ kisika/uro v 60 tonski ponovci) največjo končno temperaturo taline z nizko začetno vsebnostjo ogljika. Ta rezultat pomeni, da pri majhni intenziteti pihanja ob veliki začetni vsebnosti ogljika prevladujejo toplotne izgube, ki so zelo odvisne od časa pihanja. Pri tem smo raziskali delovno območje od 0,2 % C, do 1,0 % C in od 800 do 1200 m³ kisika/uro. Za nadaljevanje raziskovanja problematike vakuumske oksidacije predlagamo:

— umerjanje izdelanega modela v jeklarnah Jesenice in Ravne,

— izvajanje modelnih poskusov za rešitev nekaterih specifičnih problemov v posamezni jeklarni, predvsem problemov usklajenega delovanja EOP in VOD v pogledu temperature, začetne oz. končne vsebnosti ogljika ter optimiranja vzdržnosti ognjeobstoje obloge VOD ponovce.

Literatura

1. Smajić, N.: Termodinamična analiza sistema Fe-Cr-C-O, Poročilo Metalurškega inštituta v Ljubljani, N. 639, december 1978
2. Smajić, N.: Termodinamična analiza sistema Fe-Cr-C-O II. del, Poročilo Metalurškega inštituta v Ljubljani, N. 743, december 1979
3. Smajić, N.: Termodinamična analiza sistema Fe-Cr-C-O III. del, Poročilo Metalurškega inštituta v Ljubljani, n. 839, december 1980
4. Smajić, N.: Intenziviranje razogljčenja med vakuumsko oksidacijo nerjavnega jekla in vpliv na njegovo čistočo, Poročilo Metalurškega inštituta v Ljubljani, N. 81-001, december 1981
5. Smajić, N.: Intenziviranje razogljčenja med vakuumsko oksidacijo nerjavnega jekla in vpliv na njegovo čistočo, II. del, Poročilo Metalurškega inštituta v Ljubljani, N. 82-004, september 1982
6. Smajić, N.: Intenziviranje razogljčenja med vakuumsko oksidacijo nerjavnega jekla in vpliv na njegovo čistočo, II. del, Poročilo Metalurškega inštituta v Ljubljani, N. 83-002, september 1983

ZUSAMMENFASSUNG

Die Störungen in einer zeitlich abgestimmten Wirkung zwischen LB Ofen — VOD Anlage, die wegen unvorhersagbarer Stillstände eintreten können, können erfolgreich durch die Änderung des Umfanges der primären Oxidation im LB Ofen und mit einer entsprechenden Anpassung des Verlaufes und des Umfanges des Frischprozesses in der VOD Anlage bewältigt werden. Durch eine optimale Vorbereitung der Schmelze für das Vakuumfrischen, bei welcher die Anfangstemperatur

der Schmelze der chemischen Zusammensetzung angepasst werden muss, kann man einen zu grossen Pfannenverschleiss vermeiden. Die Modelluntersuchungen haben ergeben, dass für jede VOD Anlage eine bestimmte Sauerstoffblasintensität existiert, bei welcher die End bzw. die maximale Temperatur der Schmelze praktisch von dem Anfangskohlenstoffgehalt unabhängig ist.

SUMMARY

The disturbances in temporally harmonized operation of the arc furnace and VOD set-up appearing due to periodic and unforeseen standstills can be effectively overcome by varying the extent of primary oxidation in the arc furnace, and with an adequate adjusting of the course and the extent of vacuum oxidation. In order to prepare the melt in optimal way for the VOD its composition must be adjusted to the temperature of

the beginning of vacuum oxidation since this is the only way to avoid the excessive wear of ladle lining. Model investigations showed that each VOD set-up has its own characteristic blowing rate of oxygen where the final, i. e. maximal melt temperature, is practically independent on the initial carbon content.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Неполадки координации времени действия ЕО — печи и VOD — устройства получаются вследствие периодических и непредвиденных простоев. Эти неполадки можно эффективно преодолеть с изменением объема первичного окисления в дуговой электропечи (ЕО) и соответствующим приспособлению протекания и объема окисления под вакуумом. Для оптимального приготовления расплава для VOD — устройства состав расплава должен соответствовать первоначальной температуре окисления под ва-

куумом, так как только таким образом можно избежать слишком большого расхода футеровки ковша. Исследования, выполненные на основании моделей показали, что для каждого отдельного VOD — устройства требует определенную интенсивность вдувания кислорода, при которой конечная т. е. максимальная температура расплава практически независима от первоначального содержания углерода.

Matematični model toplotnega stanja livne ponovce pri ogrevanju in vlivanju

UDK: 621.746.32:536
ASM/SLA: W19b, D11k, U4j

Božidar Brudar

Opisan je matematični model za prenos toplote v jeklarski ponovci. Pri tem predpostavljamo, da je stena ponovce lahko sestavljena iz več plasti z različnimi toplotnimi lastnostmi.

S pomočjo računalniškega programa smo simulirali vlivanje jeklene taline v ponovco in izračunali, kako se jeklo ohlaja in kako se pri tem povečuje toplotna vsebnost ponovce.

Ti teoretični rezultati kažejo na to, katere faze dela odločilno vplivajo na porabo energije in na toplotne izgube v jekleni talini.

Uvod

Ogrevanje ponovce v jeklarni je tehnološki proces, od katerega je odvisno uspešno vlivanje jekla v kokile. Pomemben pa je tudi zato, ker vedno več kvalitet jekla izdelamo zunaj peči (v ponovcah).

Tudi novi postopki vlivanja (konti liv) in vakumska metalurgija zahtevajo, da natančneje prestudiramo prenos toplote v ponovcah, saj je od tega vedno bolj odvisna uspešnost dela v celotni jeklarni. Pri tem gre tudi za gospodarjenje z energijo, ki postaja vsak dan dražja in pomembno vpliva na lastno ceno izdelanega jekla.

Prevajanje toplote skozi steno in dno ponovce je mogoče opisati tudi matematično.

Izdelali smo matematični model za ta proces in tako lahko s pomočjo računalnika simuliramo različne pogoje v ponovci ter pri tem študiramo, kako ti pogoji vplivajo na toplotno stanje v ponovci.

Tako lahko s pomočjo računalniškega programa »spreminjamo obzidavo« v ponovci, kombiniramo različne materiale in izračunamo, koliko časa je treba ponovco ogrevati, da sprejme največjo možno količino toplote. Tudi jekleno talino lahko »vlijemo« v bolj ali manj ogreto ponovco in računamo, kako bi se to jeklo ohlajalo in kako bi se pri tem ponovca ogrevala. Pri vsem tem pa računamo tudi toplotne tokove, izkoristek gorilcev in druge parametre, ki so pomembni za ekonomičnost procesa.

Pri vsakem matematičnem modelu moramo navadno nekatere parametre predpostaviti. Po možnosti izberemo takšne vrednosti, ki se kar najbolj ujemajo s prakso. Če to ni mogoče, izračunamo problem pri izjemno neugodnih pogojih in na osnovi rezultatov potem rečemo, da pričakujemo praktični rezultat boljši od izračunanega. Kljub nekaterim nepopolnostim takšnega matematičnega modela pa tak izračun vedno zelo dobro opiše relativne spremembe. Če na primer po našem modelu ugotovimo, da dvojna debelina ene od izolacijskih plasti v ponovci za 30 % zmanjša toplotne izgube, lahko tak rezultat pričakujemo tudi v praksi.

Namen te naloge je bil torej izdelati računalniški program, s katerim si lahko jeklarji-tehnologi pomagajo

pri svojem delu. Lahko ocenijo, koliko je treba na primer še ogrevati ponovco, preden vanjo vlijemo jeklo, da se jeklena talina ne bo po 2 urah ohladila pod kritično vrednost.

S pomočjo računalnika je mogoče dokaj dobro spremljati tudi energetska bilanco in stroške določene tehnološkega postopka.

Zelo pomembno je tudi to da lahko s pomočjo programa študiramo, kako bi se obnašala ponovca s popolnoma novo obzidavo, o kateri nimamo praktičnih izkušenj, dobro pa poznamo toplotne lastnosti uporabljenih materialov.

Matematična formulacija

Predpostavljamo, da ima ponovca obliko valjaste posode. Stene in dno obravnavamo posebej in dopuščamo v vsaki po največ 5 izolacijskih plasti z različnimi lastnostmi.

Prenos toplote opišemo s parcialno diferencialno enačbo za prevajanje toplote, ki jo zapišemo v cilindrični obliki:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{\rho \cdot C_p} \left[\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right]$$

pri čemer pomenijo:

T temperatura

t' čas

λ toplotna prevodnost

ρ gostota

C_p specifična toplota

r' koordinata v radialni smeri

z' koordinata v smeri osi

Pri tem predpostavljamo, da se toplotna prevodnost, gostota materiala in specifična toplota ne spreminjajo s temperaturo. Vpeljemo nove spremenljivke, da pretvorimo enačbo v brezdimenzijsko obliko:

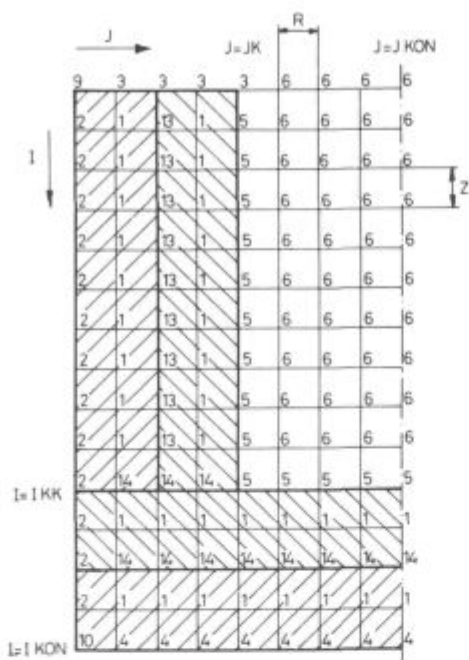
$$r = \frac{r'}{a} \quad z = \frac{z'}{a} \quad t = \frac{t'}{t_0} \text{ in dobimo}$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} = C \left[\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right] \quad (1)$$

pri čemer pomeni

$$C = \frac{\lambda}{\rho C_p} \cdot \frac{t_0}{a^2}$$

Navadno si izberemo t_0 in a tako, da je $C = 1$. V našem primeru pa to naredimo nekoliko drugače, ker imamo opravka z več plastmi z različnimi vrednostmi λ , ρ in C_p . Upoštevati moramo namreč stabilnostni kriterij, ki je opisan v nadaljevanju.



Slika 1
Mrežne točke v prerezu ponovce

Fig. 1
Mesh points in the cross-section of the ladle

Enačbo (1) rešujemo numerično po metodi končnih diferenc. Brezdimenzijski krajevni korak naj bo R in Z, brezdimenzijski časovni korak pa označimo s H.

Študiramo le levo polovico prereza ponovce. Izhodišče pravokotne mreže postavimo v zgornji levi kot prereza (Slika 1). Pri tem teče indeks I od 1 do končne vrednosti IKON in J od 1 do JKON, ki leži na simetriji. S črko K pa označimo zaporedno številko časovnega koraka.

Če temperaturo v mrežni točki (I, J) označimo s T(I, J, K) lahko enačbo (1) zapišemo v obliki:

$$\begin{aligned}
 & T(I, J, K+1) - T(I, J, K) = \\
 & C \left[\frac{H}{R^2} \left(T(I, J+1, K) - 2 \cdot T(I, J, K) + T(I, J-1, K) \right) + \right. \\
 & \left. + \frac{1}{R(JKON-J)} \cdot \frac{T(I, J-1, K) - T(I, J+1, K)}{2R} + \right. \\
 & \left. + \frac{T(I+1, J, K) - 2 \cdot T(I, J, K) + T(I-1, J, K)}{Z^2} \right] \\
 & T(I, J, K+1) = T(I, J, K) \cdot \left[1 - \frac{2 \cdot H \cdot C}{R^2} - \frac{2 \cdot HC}{Z^2} \right] + \\
 & + T(I, J+1, K) \cdot \left[\frac{HC}{R^2} - \frac{HC}{2R^2(JKON-J)} \right] + \\
 & + T(I, J-1, K) \cdot \left[\frac{HC}{R^2} + \frac{HC}{2R^2(JKON-J)} \right] + \\
 & + T(I+1, J, K) \cdot \frac{HC}{Z^2} + T(I-1, J, K) \cdot \frac{HC}{Z^2} \quad (2)
 \end{aligned}$$

Enačbo (1) v točkah J=JKON pa zapišemo¹⁾:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = C \left[2 \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right],$$

oziroma

$$\begin{aligned}
 T(I, JKON, K+1) &= T(I, JKON, K) \cdot \\
 & \cdot \left[1 - \frac{4HC}{R^2} - \frac{2HC}{Z^2} \right] + \\
 & + T(I, JKON-1, K) \cdot 4 \frac{HC}{R^2} + \\
 & + T(I+1, JKON, K) \cdot \frac{HC}{Z^2} + T(I-1, JKON, K) \cdot \frac{HC}{Z^2} \quad (3)
 \end{aligned}$$

Stabilnostni kriterij

Iz enačbe (3) sledi, da mora zaradi stabilnosti biti izpolnjena zahteva¹⁾:

$$1 - \frac{4HC}{R^2} - \frac{2HC}{Z^2} \geq 0$$

Torej mora veljati:

$$HC \leq \frac{1}{\frac{4}{R^2} + \frac{2}{Z^2}} \quad (4)$$

Ugodno je, če si R in Z vnaprej izberemo in potem določimo brezdimenzijski časovni korak tako, da je ta pogoj izpolnjen v vsaki plasti ponovce.

Namesto $\frac{H \cdot t_0}{a^2}$ pišemo:

$$\frac{H t_0}{a^2} = \frac{1}{\frac{4}{R^2} + \frac{2}{Z^2}} \cdot \frac{\rho_{\min} \cdot C_{p \min}}{\lambda_{\max}}$$

Pri tem označimo z min in maks največjo oziroma najmanjšo vrednost parametrov v vseh plasteh in pišemo namesto HC v enačbah (2) in (3):

$$HC = \frac{1}{\frac{4}{R^2} + \frac{2}{Z^2}} \cdot \frac{\rho_{\min} \cdot C_{p \min}}{\lambda_{\max}} \cdot \frac{\lambda}{\rho \cdot C_p}$$

Posebnosti posameznih mrežnih točk:

Po omenjenem mehanizmu izračunavamo v časovnih korakih po $H \cdot t_0 = CINT$ sekund temperature v vseh mrežnih točkah (IKON · JKON). Mrežne točke pa niso vse enakovredne. Enačbi (2) in (3) veljata namreč le za tiste točke, ki ležijo v notranjosti neke plasti.

Na sliki (1) so prikazane mrežne točke v prerezu ponovce, kjer je stena sestavljena iz dveh plasti in tudi dno iz dveh plasti različnega materiala. Pri tem označujemo številke lego posameznih mrežnih točk takole:

- 1 v sredini plasti
- 2 na zunanji valjasti steni
- 3 na zgornjem robu obloge
- 4 na zunanji strani dna
- 5 na notranji strani ponovce
- 6 izven ponovce
- 7 točke obliva talina
- 8 točke na notranji strani nad talino
- 9 točka (1, 1)
- 10 točka (IKON, 1)
- 13 na mejni ploskvi med plastmi v steni
- 14 na mejni ploskvi med plastmi dna

Za vsako točko zapišemo posebno diferenčno enačbo:

a) Točka (1)

Ta leži v sredini plasti in za izračun temperature v posameznih časih K uporabimo enačbo (2) ali (3).

b) Točka (2)

Gre za valjasto steno, preko katere odteka toplota v okolico. Predpostavljamo, da se zunanost ponovce ohlaja s konvekcijo. Za konvekcijski koeficient smo si izbrali $\alpha = 10 \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-1}$, tj. vrednost, ki jo pričakujemo pri teh temperaturah.

Gostota toplotnega toka, ki prihaja iz notranjosti na površino, je enaka gostoti toka, ki odteka v okolico:

$$-\lambda \text{ (grad } T)_p = \alpha (T_p - T_{ok}),$$

pri čemer pomeni indeks p vrednosti na površini, T_{ok} pa temperaturo v okolici. V naši mreži torej lahko zapišemo:

$$\lambda \cdot \frac{T(I, 2, K) - (I, 1, K)}{R} = \alpha [T(I, 1, K) - T_{ok}]$$

Iz tega sledi, da mora ob vsakem času biti izpolnjena enačba:

$$T(I, 1, K) = \frac{\lambda \cdot T(I, 2, K) + \alpha \cdot R \cdot T_{ok}}{\alpha \cdot R + \lambda}$$

c) Točka (3)

Te točke ležijo na zgornji strani izolacijske plasti. Predpostavljamo, da gre tako kot pri točkah (2), tudi tu za ohlajanje s konvekcijo z $\alpha = 10 \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-1}$. Po enakem sklepanju kot zgoraj zapišemo, da mora ob vsakem času biti izpolnjena enačba:

$$T(I, J, K) = \frac{\lambda \cdot T(2, J, K) + \alpha \cdot Z \cdot T_{ok}}{\alpha \cdot Z + \lambda}$$

č) Točka (4)

Tudi za točke, ki ležijo na zunanji strani dna, predpostavljamo, da gre za ohlajanje s konvekcijo s konvekcijskim koeficientom α_d v okolico s temperaturo T_{dna} in podobno kot v točki (3) zapišemo:

$$T(IKON, J, K) = \frac{\lambda \cdot T(IKON - 1, J, K) + \alpha_d \cdot Z \cdot T_{dna}}{\alpha_d \cdot Z + \lambda}$$

V vseh primerih točk (2 - 4) vzamemo za λ vrednost, kakršno ima zunanja plast.

d) Točka (5)

V primeru, ko študiramo ogrevanje ponovce s plamenom, označujemo točke na notranji strani s (5). Predpostavljamo, da je v teh točkah temperatura ves čas konstantna TS i zato mora veljati v teh točkah ves čas ogrevanja ponovce:

$$T(I, J, K + 1) = T(I, J, K) = TS$$

e) Točka (6)

V teh točkah ne računamo temperature.

f) Točka (7)

To oznako uporabimo na notranji steni ponovce za točke, ki so v stiku s talino. Če jeklene taline ne dolijemo do vrha, nadomestimo točke (5) delno z oznakama (7), ki so v stiku s talino, in z (8), ki ležijo nad gladino.

Predpostavljamo, da se talina intenzivno meša oziroma da se temperature v talini tako hitro izenačijo, da ima vsa talina (točki 6 in 7) enako temperaturo. Zaradi odtekanja toplote skozi oblogo ponovce se talina počasi hladi.

Spremembo temperature v talini ob vsakem časovnem koraku določimo iz zahteve, da je sprememba temperature sorazmerna toploti, ki je v enem časovnem koraku odtekla skozi notranjo ploskev (7) v oblogo ponovce.

Pri tem seveda upoštevamo, da odteka toplota skozi valjasto steno in skozi ravno dno.

V časovnem intervalu $H \cdot t_p = \text{CINT}$ odteče skozi valjasto površino toplota Q_s :

$$Q_s = \sum_{I=IKG}^{IKK} 2\pi \cdot Z \cdot R \text{ (JKON-JK)} \left[\frac{\lambda}{R} \cdot T_x - \frac{\lambda}{R} T(I, JK - 1, K) \right] \cdot \text{CINT},$$

pri čemer pomeni IKG indeks I na gladini taline, λ pa predstavlja toplotno prevodnost notranje plasti v steni ponovce, T_x je nova temperatura taline.

Podobno zapišemo tudi toploto Q_D , ki odteče v času CINT skozi dno:

$$Q_D = \sum_{J=JK+1}^{JKON} 2\pi R \text{ (JKON-J)} \cdot R \left[\frac{\lambda}{Z} \cdot T_x - \frac{\lambda}{Z} T(IKK + 1, J, K) \right] \cdot \text{CINT}$$

V času CINT se zato zniža temperatura jeklene taline od T_J na T_x :

$$Q_s + Q_D = m_j \cdot C_{pj} (T_J - T_x)$$

Pri tem pomeni m_j maso jeklene taline, C_{pj} pa specifično toplotno jeklene taline.

g) Točka (8)

Te točke ležijo na notranji steni ponovce nad gladino. Predpostavljamo, da je toplotni tok v radialni smeri enak 0:

$$T(I, JK, K + 1) = T(I, JK, -1, K + 1)$$

h) Točka (13)

Leži na mejni ploskvi med dvema plastema v navpični steni. Trdimo, da je gostota toplotnega toka, ki prihaja z desne strani (λ_D), enaka gostoti toplotnega toka na levi strani (λ_L):

$$\lambda_L \cdot [T(I, J, K) - T(I, J - 1, K)] = \lambda_D \cdot [T(I, J + 1, K) - T(I, J, K)]$$

oziroma:

$$T(I, J, K) = \frac{\lambda_D \cdot T(I, J + 1, K) + \lambda_L \cdot T(I, J - 1, K)}{\lambda_D + \lambda_L}$$

i) Točka (14)

Leži na mejni ploskvi med dvema plastema v dnu. Trdimo, da je gostota toplotnega toka, ki prihaja od zgornje plasti (λ_z) enaka gostoti toplotnega toka v spodnji plasti (λ_s):

$$\lambda_z \cdot [T(I, J, K) - T(I - 1, J, K)] = \lambda_s \cdot [T(I + 1, J, K) - T(I, J, K)]$$

oziroma:

$$T(I, J, K) = \frac{\lambda_z \cdot T(I - 1, J, K) + \lambda_s \cdot T(I + 1, J, K)}{\lambda_z + \lambda_s}$$

Po navedenih predpostavkah lahko s pomočjo teh formul izračunamo temperaturo v vsaki mrežni točki ob vsakem času.

Računalniški program smo še nekoliko izpopolnili, tako da računamo poleg temperatur tudi toplotno vsebnost v steni ponovce in toplotne tokove, ki ob posameznih časih pritekajo in odtekaajo iz obloge ponovce.

Ponovca firme Didier²

V tehničnih informacijah zahodnonemške firme DIDIER je bila opisana livna ponovca, obzidana z oblogo iz več tanjših plasti izolacijskega materiala. Notranjost pa je bila iz krom-magnezitne opeke, tipa REXAL 4 N. Navedene so bile toplotno tehnične lastnosti porabljenih opek in merski rezultati o toplotni bilanci in izgubah za 32-tonske ponovce.

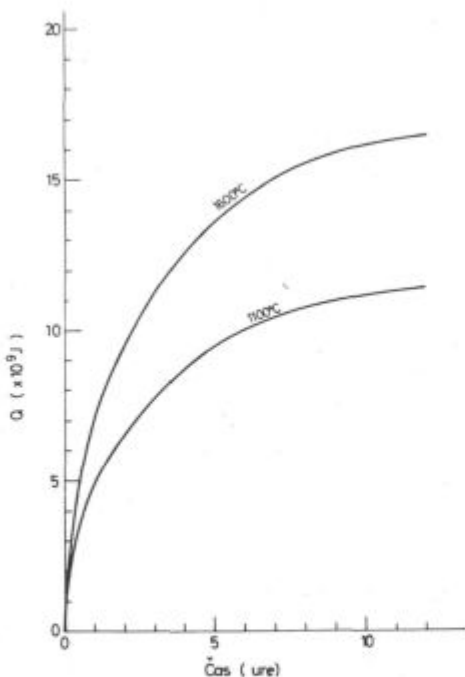
Ker z lastnimi eksperimentalnimi podatki še ne razpolagamo, smo želeli preizkusiti naš program na tem primeru. Uporabili smo podatke, ki so navedeni v poročilu o toplotnih prevodnostih in ostalih lastnostih materialov, in skušali sami izračunati vrednosti, ki so jih izračunali in izmerili v ZRN.

Zaradi lažjega računanja in ker niso bili navedeni vsi podatki za vse plasti v oblogi, smo po našem modelu predpostavili, da gre za steno, ki jo sestavljata dve plasti. Prva plast je debela 100 mm in je iz zelo lahkega ($\rho = 800 \text{ kg m}^{-3}$) izolacijskega materiala³ z oznako L 126 ($\lambda = 0,4 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$), druga plast pa je debela 200 mm in je iz opeke, tipa REXAL 4 N ($\rho = 3000 \text{ kg m}^{-3}$, $\lambda = 2,8 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$). Dno je pa po našem modelu debelo prav tako 300 mm in je iz treh enako debelih plasti: L 126 šamot ($\rho = 2000 \text{ kgm}^{-3}$, $\lambda = 1,5 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$), REXAL 4 N. Pri vseh treh materialih smo upoštevali isto specifično toploto $C_p = 1000 \text{ J kg}^{-1}\text{K}^{-1}$.

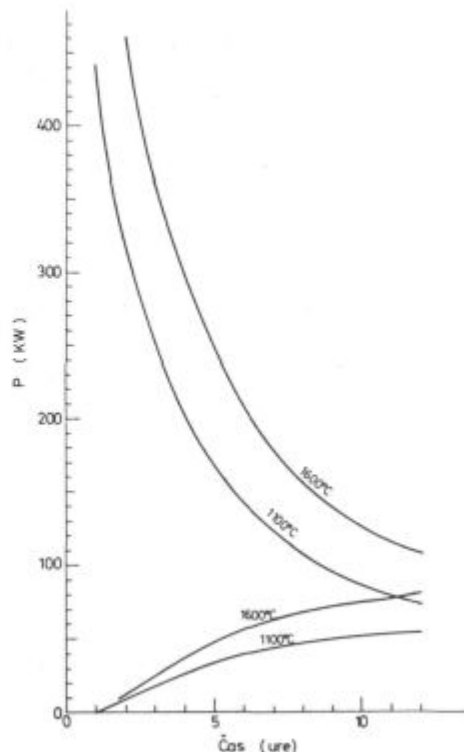
Najprej smo izračunali toplotno vsebnost, ki jo dosežemo v oblogi ponovce, če ima notranja stena stalno temperaturo 1100°C , kar bi ustrezalo dejanskemu ogrevanju ponovce z mazutnim gorilcem. Po daljšem času namreč lahko shranimo v oblogi neko največjo količino toplote — dosežemo stacionarno stanje. Koliko in kako hitro oblogo ogrejemo, je seveda odvisno od toplotnih lastnosti plasti.

Če pa bi vlili v ponovco jeklo s temperaturo 1600°C , bi seveda spravili v oblogo več toplote in po daljšem času bi imeli drugo stacionarno stanje. Na sliki 2 je prikazana odvisnost toplotne energije Q v oblogi od časa t za oba primera. Rezultata se lepo ujemata tudi s poročilom omenjene firme, kjer so sicer navedene le maksimalne vrednosti.

Izračunali pa smo tudi toplotni tok, ki priteka v oblogo in odteka na zunanji strani iz obloge te ponovce. Na sliki 3 sta narisana oba primera, ko ogrevamo notranjost s temperaturo 1100°C in 1600°C . Zgornja



Slika 2
Toplotna vsebnost 32-tonske ponovce (DIDIER)
Fig. 2
Heat content in the 32-ton ladle (DIDIER)



Slika 3
Toplotni tokovi pri 32-tonski ponovci (DIDIER)
Fig. 3
Heat flux in the 32-ton ladle (DIDIER)

krivulja predstavlja toplotni tok, ki priteka, spodnja pa toplotni tok, ki odteka iz ponovce. Lepo se vidi, da bi v obeh primerih po nekaj več kot 12 urah dosegli stacionarno stanje. Za vzdrževanje maksimalne toplotne vsebnosti bi morali določeno toploto dovajati in prav toliko bi je odtekalo ven.

Zanimiv je tudi prikaz, kako se s časom spreminja temperaturna porazdelitev v steni ponovce (slika 4). Debelejša črta označuje vrednosti, ki so navedene v poročilu².

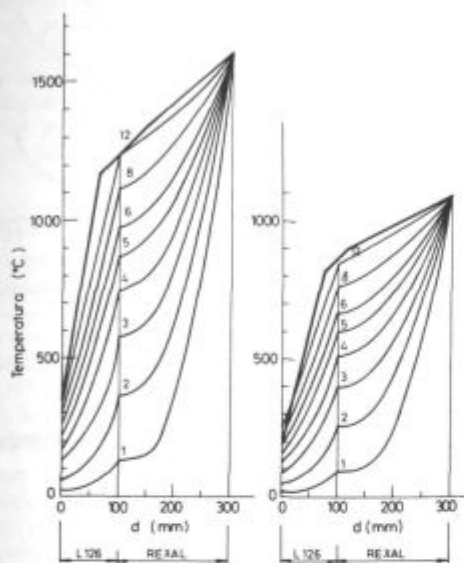
Pri praktičnem delu naj bi toplotna vsebnost ponovce nihala nekje med prvim in drugim stacionarnim stanjem. Ko namreč vanjo vlijemo jeklo, se toplotna vsebnost obloge močno zveča in zaželeno bi bilo, da si posamezne šarže sledijo čim hitreje. Tako bi se potem jeklo tudi najmanj ohladilo. Če bi vlili 32 ton jekla v to ponovco, bi se talina ohlajala po izračunih približno 25°C/h , kar se tudi lepo ujema s praktičnimi podatki.

Tako smo se na osnovi teh podatkov prepričali o pravilnosti našega modela in poiskali tudi vzroke za manjša odstopanja.

Naše ponovce

Z omenjenim programom smo simulirali tudi ogrevanje v 80-tonskih ponovcah, ki se uporabljajo v Železarni Jesenice. V tabeli so navedene debeline posameznih plasti v steni in njihove lastnosti: gostota v kg m^{-3} , toplotna prevodnost v $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ in debelina v mm. Poleg tega navajamo tudi maso celotne obloge in maso jekla, katerega gladina sega do 650 mm pod zgornji rob ponovce. Kot četrta je v tabeli navedena ponovca z oznako DIDIER — to bi bila 80-tonska ponovca, ki bi bila obzidana tako, kot prej 32-tonska ponovca.

Ponovca	Prva plast			Druga plast			Masa obloge	Masa jekla
	d	ρ	λ	d	ρ	λ		
I.	220	2000	1,5				14,3 t	77,6 t
II.	64	2000	1,5	160	3000	2,8	19,7 t	76,9 t
III.	64	2000	1,5	192	3000	2,8	21,9 t	72,8 t
DIDIER	100	800	0,4	200	3000	2,8	19,7 t	66,1 t

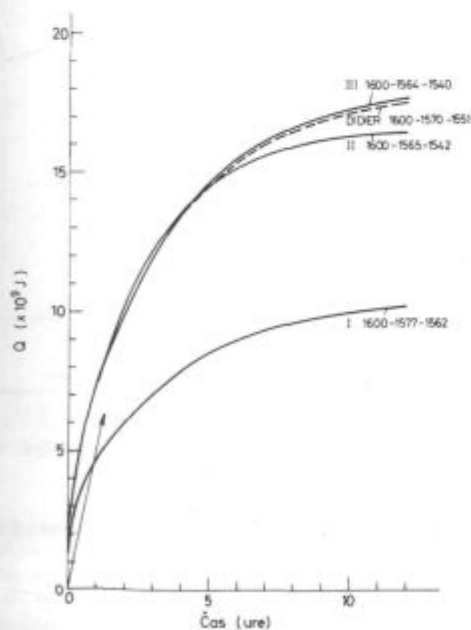


Slika 4

Temperatura v steni 32-tonske ponovce (DIDIER) po različnih časih ogrevanja, če je temperatura na notranji strani stalno 1100°C oziroma 1600°C

Fig. 4

Temperature in the wall of the 32-ton ladle (DIDIER) as a function of time when the inner temperature is held constant 1100°C and 1600°C



Slika 5

Toplotna vsebnost 80-tonskih ponovc z različno obzidavo

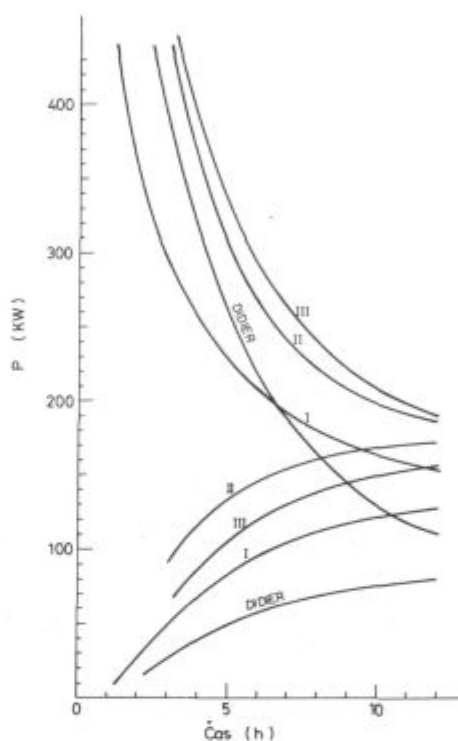
Fig. 5

Heat content of the 80-ton ladles with different refractory

Pri vsaki od teh ponovc smo predpostavili, da ima notranja stena temperaturo 1100°C in da to traja 12 ur. Na sliki 5 je prikazana količina toplote, ki bi jo spravili v oblogo posameznih ponovc v tem času. Na koncu vsake krivulje so navedene temperature, ki bi jih imela talina po takem ogrevanju po 1 uri in 2 urah zadrževanja v ponovci.

Očitno je najmanjša toplotna vsebnost pri šamotni ponovci (I) in tudi jeklo bi se v njej najmanj ohladilo.

Poleg tega ni posebno velikih razlik v doseženi toplotni vsebnosti med ponovcami II, III in DIDIER.



Slika 6

Toplotni tokovi pri ogrevanju 80-tonskih ponovc

Fig. 6

Heat flux by heating of 80-ton ladles

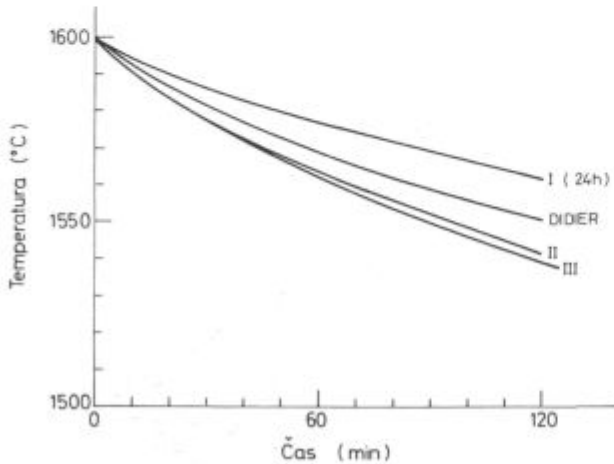
Precej bolj zanimiva pa je slika 6, ki prikazuje toplotne tokove v ponovcah. V primeru ponovce, ki bi bila obzidana z oblogo, ki jo predlaga firma DIDIER, bi bilo treba za vzdrževanje stacionarnega stanja skoraj dvakrat manj moči, kot pa v ostalih enakovrednih ponovcah II in III. Celo šamotna ponovca zahteva za vzdrževanje maksimalne toplotne vsebnosti v oblogi večjo moč. Med ponovcami II, III in DIDIER gre za pomembno razliko: izolacijska masa L 126 je tista, ki omogoča, da je za vzdrževanje tople ponovce treba dvakrat manj energije. Zato bi bilo iz ekonomskih razlogov nujno nadomestiti v naših ponovcah II in III zunanjo šamotno plast (64 mm) z neko vrsto penastega šamota ali kakšnega drugega boljšega izolacijskega materiala.

Kar se tiče ohlajanja jekla, lahko pričakujemo, da se bo talina bolj ohladila, če uporabljamo obzidavo iz krommagnezitne opeke (slika 7), kot pa iz šamota. Vendar je pri tem tudi pomembno, da imamo v prvi zunanji plasti dober izolacijski material.

Slika 8 in 9 kažeta temperaturno porazdelitev v steni za vse 4 ponovce (po 1, 3, 5 in 12 urah ogrevanja).

PRIMER, KI GA PRIČAKUJEMO V PRAKSI

Oglejmo si še primer ogrevanja in ohlajanja ponovce, ki ga tudi lahko simuliramo z našim programom. Predpostavljamo, da imamo opravka z 80-tonsko ponovco, ki je obzidana samo s šamotom (I). Najprej jo ogrevamo s temperaturo 1100°C 6 ur in potem vlijemo vanjo jeklo s temperaturo 1600°C, ki naj ostane v ponovci 2 uri. V tem času se jeklo ohladi od začetnih 1600°C na 1575°C oziroma 1557°C. Po dveh urah izlijemo jeklo ven in pustimo, da se ponovca hladi na zraku. Matematično simuliramo skrajno neugodno situacijo.

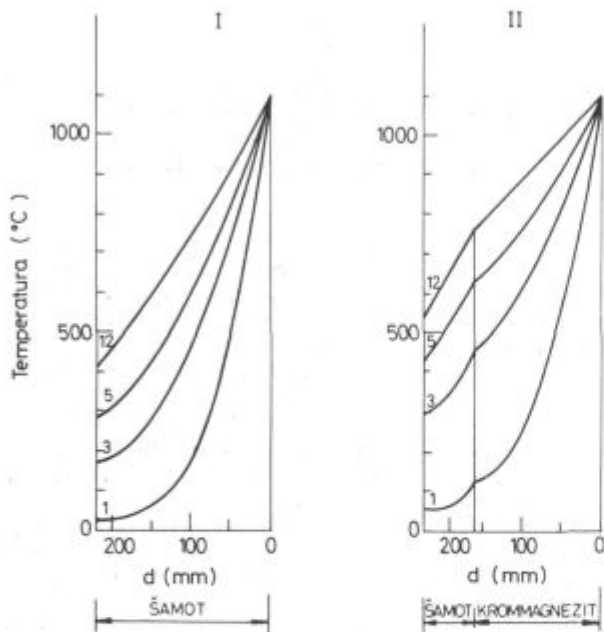


Slika 7

Ohlajanje taline v ponovci, ki smo jo predhodno ogrevali 12 ur (primer I — 24 ur)

Fig. 7

Cooling of liquid steel in the ladle that was previously heated 12 hours (case I — 24 hours)

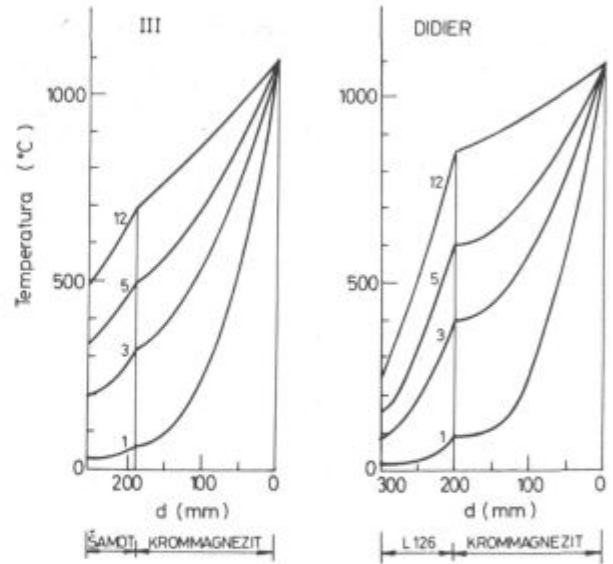


Slika 8

Temperatura v steni ponovc (I. in II.) po različnih časih ogrevanja

Fig. 8

Temperature in the wall of the ladles I. and II. as a function of the heating time

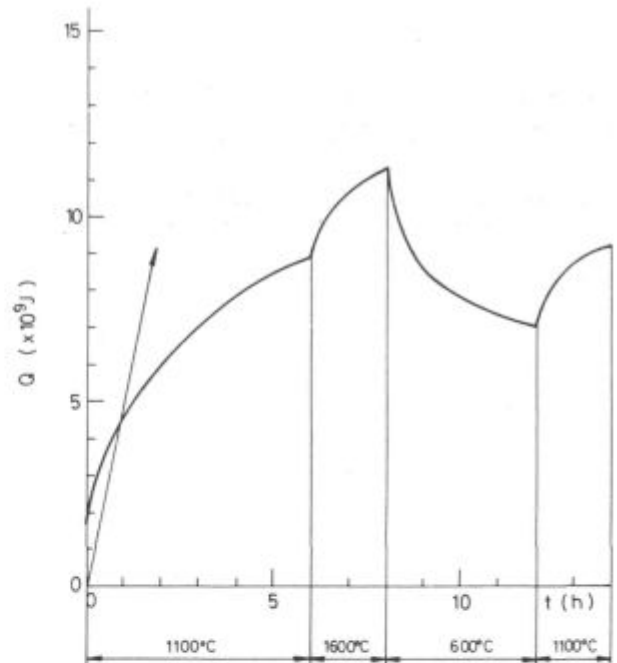


Slika 9

Temperatura v steni ponovc (III in DIDIER) po različnih časih ogrevanja

Fig. 9

Temperature in the wall of the ladles III. and DIDIER as a function of the heating time



Slika 10

Toplotna vsebnost 80-tonske ponovce (I) pri različnih toplotnih razmerah

Fig. 10

Heat content of the 80-ton ladle (I) as a function of different heating conditions.

Predpostavljamo, da se notranja stena obloge v trenutku ohladi na 600°C in tolikšna tudi ostane 4 ure. Po 4 urah takšnega ohlajanja si mislimo, da ponovco ponovno ogrevamo s temperaturo 1100°C 2 uri. S slike 10 se vidi, da bi po 2 urah ogrevanja praktično skoraj kom-

penzirali izgubo toplote in da bi pri ponovnem vlivanju lahko pričakovali enako ohladitev taline.

IZKORISTEK GORILCEV

Ponovce navadno ogrevamo z gorilci na mazut ali plin, ki pa imajo razmeroma veliko moč. V naši Železarni so v rabi gorilci z močjo 1,4 MW, kar je na slikah Q (t) označeno s puščico. Začetni toplotni tokovi, ki smo jih izračunali po naših predpostavkah, so res zelo veliki, vendar pa je mogoče videti iz diagramov Q (t), da je pri ogrevanju hladne ponovce na približno 80 % maksimalne toplote, ki jo lahko spravimo v oblogo, izkoristek energije gorilcev približno 30 %. Če pa s takim gorilcem ogrevamo ponovco med enim in drugim vlivanjem jekla, je pa izkoristek izredno nizek (7–10 %).

ZAKLJUČEK

Matematični model za prenos toplote v ponovci daje zelo nazorno sliko o toplotni vsebnosti, temperaturnih gradientih v oblogi in v toplotnih tokovih, ki pritekajo na notranji strani in odtekajo skozi zunanjo steno. Rezultati matematične simulacije pri 32-fonski ponovci forme DIDIER se odlično ujemajo z eksperimentalnimi podatki, ki so navedeni v njihovem poročilu.

Glede naših ponovc pa lahko rečemo naslednje:

Šamotna obloga bi se gotovo najboljše obnesla, saj je pri tej ohlajenju taline najmanjše.

Nova tehnologija pa zahteva uporabo krom-magnezitne opeke, ki je težja in ima slabše izolacijske sposobnosti kot šamot. Zato se po pričakovanju tudi talina nekoliko hitreje hladi. Prav zaradi tega je pa toliko pomembnejše ogrevanje ponovce med eno in drugo šaržo. Zaradi slabe ekonomičnosti gorilcev na mazut ali plin bi bilo treba razmisliti o drugih možnostih ogrevanja in ponovno preštudirati možnost uporabe pokrovov.

Brez dvoma pa bi bilo nujno potrebno pri naših ponovcih II in III, ki so obložene z magnezitno opeko, nadomestiti prvo plast šamota z boljšim izolatorjem. Slika 7 nazorno kaže, da bi za vzdrževanje toplote v ponovci, ki bi imela na primer oblogo, ki jo predlaga firma DIDIER, porabili tudi do 50 % manj energije. Poleg tega se s slike 10 vidi, da bi po 4 urah ohlajanja (600°C) zadoščalo le 2 uri ogrevanja (1100°C), da bi dosegli enako toplotno vsebnost, kot pred vlivanjem prve šarže. Veljalo bi lahko splošno pravilo: če med dvema zaporednima vlivanjema mine manj kot 2 uri, ponovce ni treba dodatno ogrevati. Če pa ostaja ponovca na zraku dalj časa, je potrebno polovico tega časa, da jo ogrevamo s temperaturo 1100°C. Zaradi slabe ekonomičnosti gorilca pa naj ne bi ogrevanje trajalo več kot 6 ur, da bi dosegli nekako 80 % možne toplote v oblogi. Daljše ogrevanje se s stališča toplote, ki jo še pridobimo v oblogi, in ogromno količino toplote, ki jo trošijo gorilci, prav gotovo ne splača.

Idealno bi bilo, če bi si zaporedna vlivanja sledila hitreje kot po 1 uri, saj bi bila ponovca takrat najbolj topla in bi se njena toplotna vsebnost gibala nekje med spodnjim in zgornjim stacionarnim stanjem, česar s segrevanjem z gorilci nikdar ni mogoče doseči.

V bodoče bo sicer treba čimveč predpostavljenih parametrov nadomestiti z merskimi rezultati. Tako bo matematični model dal lahko še zanesljivejše in uporabnejše rezultate.

Literatura

1. G. D. Smith Numerical Solution of Partial Differential Equations, Oxford University Press, London 1971
2. Didier Technische Informationen, Stoeko — Hauspost Nr. 4/76D, DIDIER WERKE, VERKAUFSGRUPPE II. STOECKEN & KUNZ, 415 KREFELD-LINN Rheinhafen.
3. Feuerfeste und säurebeständige Erzeugnisse Didier-Werke, Hauptverwaltung Wiesbaden.

ZUSAMMENFASSUNG

Die rechnerische Simulierung der Erwärmung einer Pfanne und der Abkühlung von Stahl in ihr hat folgende interessante Ergebnisse ergeben, die auch für die praktische Arbeit von Wichtigkeit sind. Bei einer besseren Ausmauerung des Dauerfutters in mehreren Schichten und besseren Isolationseigenschaften konnten die Wärmeverluste zur Hälfte reduziert werden. Wenn zwischen zwei Abstichen weniger als zwei Stunden vergehen, braucht die Pfanne nicht zusätzlich erwärmt zu werden. Falls diese Zeit länger ist, ist die nötige Erwärmungszeit gleich der Hälfte der Zeit, die zwischen zwei Abstichen verlau-

fen ist. Das zusätzliche Erwärmen der Pfannen mit dem Schwerölbrenner ist äusserst unökonomisch, da der Wärmegrad sehr klein ist (unter 10 %). Eine entsprechend bessere Art der Pfannenerwärmung sollte angewendet werden.

Anhand der praktischen Versuche müsste noch die These bestätigt werden, dass die Vorwärmung der Pfannen nicht länger als 6 Stunden dauern sollte, da die weitere Vorwärmung sehr teuer ist. Ein Kompromiss unter den Kosten für die weitere Vorwärmung der Pfannen und den Kosten die die Wärmeverluste in der Schmelze darstellen, wird zu finden.

SUMMARY

Computer simulation of heating the ladle and of cooling the steel in it gave the following interesting results which are important also in practical work: If the ladles are more carefully lined and simultaneously more layers with better insulating properties applied, the stationary losses can be halved. If the intervals between single pourings into the ladle do not exceed 2 hours the ladle needs not to be additionally heated. At longer intervals the period of additional heating is equal to the half of period between the two consecutive melts. Additional

heating of ladle with an oil burner is extremely unprofitable since the heat efficiency is very low ($< 10\%$). A more suitable way of heating must be chosen.

Practical experiments must confirm the supposition that heating of ladle should not be longer than 6 hours since further heating is extremely expensive. It is necessary to find optimum between the costs of additional heating of ladle and the costs of thermal losses in the steel melt.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вычислительное моделирование нагрева ковша и в ней охлаждения стали дало следующие достопримечательные результаты, которые значительны также для практической работы. Если тщательнее выполнять обмуровку и при этом употребить больше слоев с лучшими изолирующими способностями, которые бы могли уменьшить стационарные потери на половину. Если между отдельным литьем не пройдет больше чем два часа, то ковш не подлежит добавочному нагреву. Если же пройдет больше чем два часа, то следует подогреть ковш на половину времени, которое было утрачено на две последовательные шихты.

Добавочный нагрев с мазутной горелкой очень неэкономичный, так как теплоиспользование очень незначительно (10%). Надо искать более соответственный способ нагрева.

С практическими опытами надо ещё подтвердить тезис, чтобы нагрев ковша не продолжался больше 6-ти часов, так как дальнейший нагрев очень дорог. Надо искать компромиссное решение между расходами, которые составляют добавочный нагрев ковша с расходами тепловых потерь в расплаве стали.

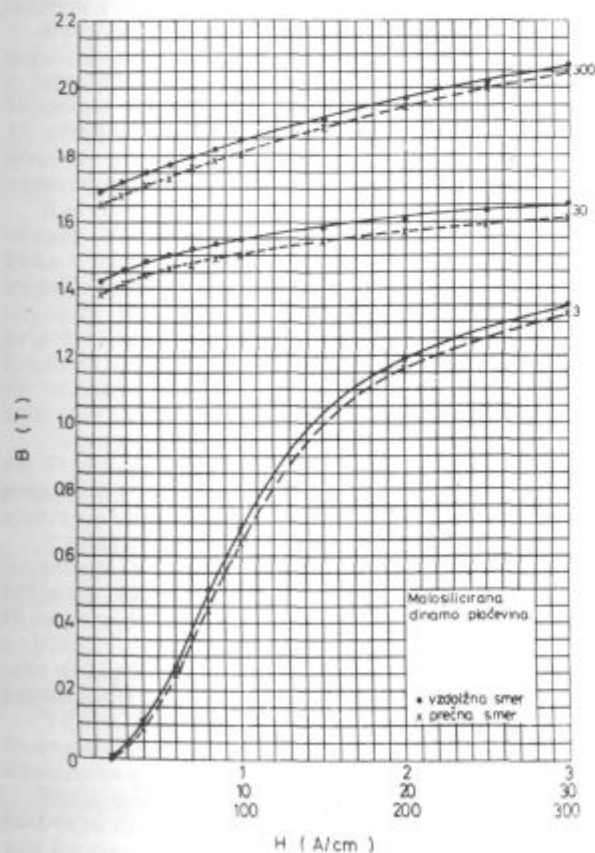
Tehnične novice

Nove elektro pločevine v Železarni Jesenice

Filip Marinšek

Kvalitetne elektro pločevine* pretežno uporabljamo za izdelavo vrtečih se električnih strojev in naprav za jaki tok za izmenično magnetenje. Do nedavnega so za elektro pločevine take vrste večji del uporabljali vroče valjane pločevine. Zaradi zahtev elektrotehnike po bolj-ših magnetnih lastnostih niso bile te pločevine več primerne. Slaba je bila kvaliteta površine, preširoke so bile tolerance debeline in prevelika valovitost. Nujno je bilo bistveno izboljšanje predelavnosti elektromagnetnih pločevin. Tako se je produkcija teh pločevin prenesla na fine pločevinske proge za hladno valjanje.

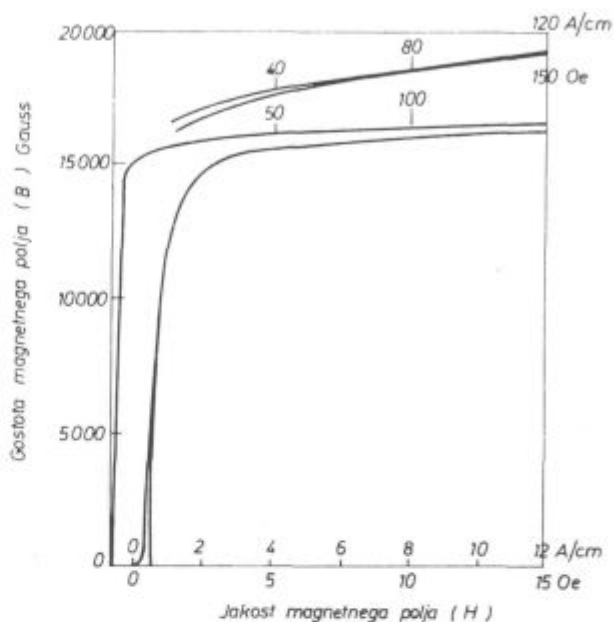
Pri izdelavi hladno valjanih elektro pločevin je vedno odprto vprašanje izbire optimalne sestave jekla. Običajno znaša vsebnost silicija v elektro pločevinah med 0,8 in 3,2%. Učinek silicija je v povečanju električnega specifičnega upora, zmanjšanju izgub zaradi vrtilnih tokov, v zmanjšanju energije kristala in histerezni izgub. Kot zanimivost pa naj zapišemo, da gre splošni razvoj kljub temu v smeri zmanjšanja vsebnosti silicija.



Slika 1
Krivulja magnetenja malo silicirane dinamo pločevine (1% Si)

Fig. 1
Magnetization curves of silicon steel

* — dinamo pločevine



Slika 2
Krivulja magnetenja železa za releje

Fig. 2
Magnetization curves of low-carbon steel

Vzroki za to so v boljši sposobnosti za magnetenje, zboljšanje toplotne prevodnosti, zboljšanje predelavne sposobnosti in sposobnosti za štancanje.

Pričakuječe višje izgube zaradi vrtilnih tokov pa so lahko z boljšo čistočo (manj nekovinskih vključkov, nižja vsebnost ogljika), z manj kristalnimi napakami (dislokacije, meje zrn) in s tem bistveno zmanjšanimi histerezni izgubami skoraj izravnane.

Pogoj za doseganje dobrih lastnosti na elektro pločevinah je dobro razogljčenje, ki ga lahko dosežemo:

- v talini med izdelavo jekla (ponovna metalurgija)
- pri končnem žarjenju HVT (razogljčevalno žarjenje)

Dobro končno žarjene pločevine vsebujejo maksimalno 0,004% C, kar pa je tudi pogoj za dobre magnetne lastnosti in odpornost proti staranju. Da bi dosegli tako dobro razogljčenje v talini jekla, je potrebna vakuumsko obdelava taline, kar pa v industrijskih pogojih ni vedno mogoče. Vendar je način izdelave jekla s ciljem čim bolj znižati vsebnost ogljika v jeklu vsekakor dobrodošel pri kasnejšem razogljčenju trakov.

Železarna Jesenice je z uvedbo VOD (vacuum oxygen decarburization) postopka v jeklarni pričela s proizvodnjo malosiliciranih elektro pločevin. To so pločevine z vatnimi izgubami med 2,6 in 3,6 W/kg pri gostoti magnetnega polja 1 T. Za malosilicirane pločevine je značilna predvsem boljša magnetna indukcija v celotnem območju krivulje B—H. (sl. 1) Optimalne mehanske lastnosti, pomembne za štancanje, smo dosegli z 1e

giranjem fosforja. Po VOD postopku izdelane malosilicirane elektro pločevine se odlikujejo po izredno nizkih vsebnostih žvepla in dušika. Prav nizke vsebnosti dušika pa omogočajo tudi izdelavo teh pločevin z nizko vsebnostjo aluminija. Inačica malo siliciranih elektro pločevin z nizkim aluminijem je primerna za izdelavo polgotovih (semi-finished) elektro pločevin.

Kot že omenjeno, je za malosilicirane elektro pločevine značilna boljša magnetna indukcija. Prav zato so te pločevine zelo primerne za izdelavo manjših motorjev.

Malosilicirane elektro pločevine izdelujemo tudi izolirane z izolacijskim lakom, ki je primerna za varjenje lamel v pakete na avtomatih.

Možnost avtomatičnega varjenja izolirnih lamel v pakete je vsekakor velika prednost za izdelovalce malih

motorjev. Z varjenjem odpade kovičenje, vijačenje ali zalivanje s siluminom.

VOD postopek izdelave jekla nam je omogočil tudi izdelavo maloogljčnih jekel za releje (kotve, mostičke, elektro magnete in podobne dele) za enosmerno magnetenje. To so relejna železa, ki se odlikujejo z nizko koercitivnostjo in visoko permeabilnostjo pri nizkih jakostih magnetnega polja ter zelo dobro odpornostjo proti magnetnemu staranju. Dobre predelovalne lastnosti relejnega železa v dobavnem stanju dopuščajo stiskanje, krivljenje, upogibanje, globoko vlečenje in štancanje pri izdelavi posameznih delov. Železarna Jesenice izdeluje železo za releje kot hladno valjano pločevino in kot vlečene palice z različno koercitivnostjo po končnem žarjenju. (sl. 2)



IN MEMORIAM

Dipl. inž. Miroslav Nikolić
6. XII. 1905—7. II. 1985

Ob vstopu v osemdeseto leto življenja je nenadoma odpovedalo globoko čuteče, vendar pa preutrujeno srce diplomiranega inženirja MIROSLAVA NIKOLIĆA, priljubljenega Mileta, enega prvih domačih inženirjev v jeseniški železarni in dolgoletnega vodja predelovalnih obratov, najbolj zaslužnega strokovnjaka jeseniške železarne za razvoj in rast modernih predelovalnih obratov.

Rodil se je 6. decembra 1905 v Negotinu v Srbiji v oficirski družini, ki se je zaradi očetovih dolžnosti v vojski večkrat selila in tako je po prvi svetovni vojni prišla najprej v Ljubljano in kasneje v Maribor, kjer je leta 1924 opravil veliko maturo na realni gimnaziji, leta 1930 pa je maturiral na elektrostrojnem odseku Tehnične fakultete v Beogradu. Po nekajmesečni praksi v Nemčiji in odsluženju vojaškega roka se je 15. oktobra 1931 zaposlil v takratni Kranjski industrijski družbi na Jesenicah, najprej kot asistent v predelovalnih obratih, po opravljenem državnem izpitu za pooblaščenega elektroinženirja pa je leta 1934 postal odgovorni namestnik šefa obratov, septembra 1940 pa šef predelovalnih obratov.

Kot rezervni artilerijski poročnik je bil 1. aprila 1941 mobiliziran v jugoslovansko vojsko, 14. aprila pa skupaj z divizijo zajet od Nemcev in odpeljan v vojno ujetništvo v Nemčijo, od koder se je vrnil junija 1945. Toda v ujetništvu, že »zastrupljen« z železarstvom ni miroval. Njegov nemirni duh je bil ob velikem optimizmu in veri, da tretji rajh ni nepremagljiv, uprt v nadaljnji razvoj jeseniških predelovalnih obratov. Z znanjem, pridobljenim na študiju, s samoizobraževanjem in na delovnih mestih, je v ujetniškem taborišču pripravil in v miniaturni izvedbi izdelal vse načrte, izračune in raspored strojev za izgradnjo novih predelovalnih obratov na Jesenicah. Njegovo teoretično in praktično znanje ter spremljanje strokovne literature so bili osnova, da je obnovo in povečanje predelovalnih obratov lahko zasnoval na sodobnem in v perspektivo usmerjenem principu.

Na osnovi njegovih miniaturnih skic, ki jih je lahko skrival pred Nemci in varno hranil, je po osvoboditvi Projektantski zavod Slovenije izdelal ustrezne načrte za gradnjo novih predelovalnih obratov. Nove proizvodne hale so bile v letih 1952 in 1953 postavljene in pripravljene za preselitev strojev in naprav iz starih obratov.

Z brežhibno organizacijo in koordinacijo preseljevanja strojev in naprav, kar je hkrati že z uvajanjem proizvodnje vodil osebno, so v letu preseljevanja dosegli načrtovano proizvodnjo, in sicer 5.500 hladno valjanih trakov in 18.300 ton vlečene žice. Njegova sodobna koncepcija razporeditve in postavitve strojev in naprav je bila potrjena s skoraj 100 % povečano proizvodnjo v letu 1957, ko so dosegli 10.000 ton hladno valjanih trakov in 36.600 vlečene žice. Doseženi uspeh je bil še toliko večji in pomembnejši, ker so te rezultate dosegli na zastarelih, preseljenih strojih in napravah iz starega obrata. Ob preselitvi sta bili namreč postavljeni samo nova lužilnica in pocinkovalnica.

V času, ko sta izgradnja in preseljevanje obratov zahtevala od inž. Miroslava Nikolića največje napore in angažiranje časa, je vodil skupino za izdelavo projekta za novo hladno valjarno v Železarni Nikišič, ki je naj sodobnejše projektirana.

Svoje bogato znanje in izkušnje je prenašal tudi na svoje sodelavce ter vzgojil več strokovnjakov na področju hladne predelave jekel, ki še danes uspešno delajo na področju hladne predelave in uresničevanju njegovih zamisli.

Proizvodnja, ki jo je vodil in usmerjal, je iz leta v leto naraščala. Njegova skrb je bila usmerjena tudi v kvalitetno rast in v tem času je bilo osvojenih več novih kvalitet hladno valjanih trakov in vlečene žice iz ogljičnih, nizko in visoko legiranih jekel. Za modernizacijo in obnovo obrambne industrije SFR Jugoslavije je bilo pod njegovim strokovnim vodstvom osvojenih več novih kvalitet hladno valjanih trakov oziroma vlečene žice.

Vedno večje potrebe tržišča so narekovale razširitev in povečanje proizvodnje, zato je vodil in ustvarjal novi projekt za razširitev oziroma povečanje proizvodnje hladno valjanih trakov, ki je z novim valjčnim

ogrodjem postopoma naraščala in leta 1966 dosegla 26.000 ton. Prav tako je sodeloval pri projektu zamenjave in modernizacije žičarskih strojev in naprav. Modernizacija in obnova strojnega parka je ob njegovi prisotnosti potekala vsa leta in bila v glavnem zaključena v letu 1965. Vse to je pogojevalo povečanje proizvodnje vlečene žice od 18.300 ton letno na 46.100 ton v letu 1966.

Razvoj dveh osnovnih obratov — hladne valjarne in žičarne je bila dobra osnova za nadaljnji razvoj izdelkov iz žice in hladno valjanih trakov. Povečana proizvodnja žice je omogočila povečanje proizvodnje elektrod od skromnih 285 ton v letu 1946 na 8.500 v letu 1966.

Njegovo delo je povezano z vsem nadaljnjim razvojem izdelkov iz vlečene žice in hladno valjanih trakov. Razvoj proizvodnje hladno predelanih izdelkov v Železarni Jesenice od skromnih 40.000 ton do približno 240.000 ton, lahko ocenjujemo kot življenjsko delo in zaslugo inž. Miroslava Nikolića. Od leta 1950 do 1960 je bil šef predelovalnih obratov, nato pa do upokojitve 31. oktobra 1957, šef delovne enote predelovalni obrati.

Inž. Nikolić pa je bil tudi izjemno zagret in ustvarjalno prisoten občan jeseniške občine in s svojo kritično-ustvarjalno mislijo veliko prispeval k razvoju mesta, predvsem v pogledu komunalne in hortikulture ureditve. Njegovo globoko čuteče srce je 54 let prizadeto in ustvarjalno utripalo za jeseniško železarno in jeseniško občino, vendar pa je bilo s svojimi koreninami vedno v svojem rojstnem Negotinu in pri svoji rodbini, katero je neverjetno spoštoval in cenil. Čeprav se je šolal v treh jezikih — bolgarščini, srbohrvaščini in slovenščini, in ob tem tudi spoznaval bogato kulturo in kulturno dediščino vseh jugoslovanskih narodov in narodnosti, je bil neverjetno občutljiv za čistost in lepoto slovenskega jezika in velik ljubitelj slovenske kulture, kateremu razvoju je sledil od železarskih Jesenic do vrhunske slovenske kulture in ustvarjalnosti. Nobeno kulturno umetniško področje mu ni bilo tuje, najsibo da je šlo za klasiko ali sodobno umetnost, za literaturo, glasbo, likovno umetnost, gledališče ali arhitekturo. Zato je bil tudi na vseh teh področjih prisoten, ne samo kot pasivni občudovalec, temveč kot kritično-spodbujevalni soustvarjalec, spoštljivo pozoren do vseh kulturnih prizadevanj v občini.

Občudovali smo njegovo izredno široko razgledanost, ne samo na njegovem strokovnem področju — hladni predelavi jekla — temveč na vseh področjih človeške ustvarjalnosti. Presenečal je s svojim znanjem in poznavanjem zgodovine. Zaradi svoje aktivnosti in pripadnosti so ga sprejeli za častnega člana likovnega kluba DOLIK DPS Svoboda Tone Čufar in amaterske gledališke skupine, gledališča Tone Čufar.

Aktivno je deloval v krajevni samoupravi, stanovanjskem gospodarstvu, na področju varstva okolja in drugje.

Za svoje delo v jeseniški železarni je bil odlikovan z redom dela tretje stopnje, za svoje življenjsko delo na področju hladne predelave jekla pa je prejel Lambert Pantzovo nagrado. Bil je tudi nosilec srebrnega priznanja Osvobodilne fronte slovenskega naroda.

Inženir Miroslav Nikolić je bil velika, humana osebnost širokega obzorja, pravi živi leksikon, ki ga je tako nesebično razdaljal mlajšim rodovom. Ker so bile njegovo zadnje branje pred smrtjo Prešernove poezije naj z njegovimi verzi, ki jih je napisal v nemščini, sklenemo ta spominski zapis:

Človek mora umreti, človeštvo ostane,
in z njim bo ostalo, kar je napravil zanj.

Mirislav Nikolić pa je za človeštvo naredil veliko in zato bo s svojimi deli tudi ostal med nami.

Joža Varl

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 : 669.183.184

ASM/SLA: SS-e, D7a, D8m

Metalurgija — nerjavna jekla — EO peč — VOD postopek

J. Arh, J. Triplat

Izkušnje Železarne Jesenice pri izdelavi nerjavnih jekel po dupleks postopku EO peč — VOD naprava.

Železarski zbornik 19 (1985) 2 s 17—22

Prispevek obravnava izdelavo avstenitnih nerjavnih jekel po dupleks postopku EO peč — VOD naprava. Podan je opis VOD naprave in naprave za legiranje. Opisana je izdelava jekla v EO peči od sestave vložka do izpusta iz peči. Vsebnost C v talini pred izpustom znaša od 0,60 do 0,80 %. Cr, Ni in Mn so v analizi mejah. Redukcijske reakcije se v veliki meri izvršijo med izlitjem jekla in mešanjem jekla in žlindre v ponvi. Žlindro posnamemo iz ponve, talino po potrebi dolegiramo in ohladimo na potrebno začetno temperaturo. Oksidacijo vršimo s plinastim kisikom skozi 1/4 »shinto« cevi, ki ga pihamo na talino. Proces oksidacije kontroliramo s pomočjo analizatorja odvodnih plinov. Oksidaciji sledi razoglicenje z v talini raztopljenim kisikom. Po redukciji odžveplanju in degazaciji korigiramo kemijsko sestavo in temperaturo taline, če je potrebno tudi z dodajanjem hladilnih odpadkov. Pri jeklih legiranih s Titanom pred dodatkom Ti posnamemo žlindro.

VOD ponve so obzidane bazično, s krommagnezitnimi ali dolomitnimi materiali. Za prepihovanje z argonom uporabljamo oplakane argonske kamne po sistemu Didier, ki so nameščeni v dnu izven središča, kar pa za obrabo obzidave ni najboljšje.

Prednosti so tako na ekonomski kot na kvalitetni strani, zlasti visoka je stopnja odžveplanja, ki v povprečju znaša 85 %, najnižje dosežene vsebnosti žvepla pa so pri 0,001 % S.

Avtorski izveček

UDK: 669.183.184 : 669.14.018.5

ASM/SLA: D7a, D8m, TSn

Metalurgija — jeklarstvo

J. Triplat, J. Arh

Dosežki pri izdelavi dinamo jekel v VOD napravi v Železarni Jesenice

Železarski zbornik 19 (1985) 2 s 25—29

Podan je opis tehnologije izdelave dinamo jekel po duplex postopku (EP in VOD), ki je osvojena v Železarni Jesenice. Prednosti vakuumske tehnologije so v glavnem v nižji koncentraciji C v izdelavnem jeklu, cenejših surovinah in zanesljivosti izdelave jekel. Doseženi rezultati so potrdilo pravilnosti tehnološkega postopka v novi Jeklarni II, kjer bo stala enaka naprava.

Avtorski izveček

UDK: 669.15-194.56-669.187.2

ASM/SLA: SS-e, 1-73

Metalurgija — vakuumska oksidacija — nerjavna jekla — termodinamika.

N. Smajič

Optimiranje EOP — VOD postopka proizvodnje nerjavnih jekel

Železarski zbornik 19 (1985) 2 s 31—38

Probleme, ki nastopajo pri dupleks postopku EOP — VOD proizvodnje nerjavnih jekel lahko razdelimo v tri osnovne skupine:

— problemi povezani z vzdrževanjem časovno usklajenega dela EOP in VOD,

— problemi tehnološko vsklajenega dela EOP in VOD ter

— problemi v zvezi oz obstojnostjo obloge VOD ponovce.

Opisane so možnosti nadaljnje optimizacije tega postopka z neposredno aplikacijo termodinamičnih zakonitosti, ki jo omogoča matematično modeliranje in uporaba računalnika.

Avtorski izveček

UDK: 621.746.32:536

ASM/SLA W19b, D11k, U4j

Metalurgija — jeklarstvo — toplota — ponovce — ogrevanje — ohlajanje jeklene taline

B. Brudar

Matematični model toplotnega stanja livne ponovce pri ogrevanju in vlivanju

Železarski zbornik 19 (1985) 2 s 39—46

Računalniška simulacija ogrevanja ponovce in ohlajanja jekla v njej je dala naslednje zanimive rezultate, ki so pomembni tudi za praktično delo. Če bi bolj skrbno obzidali ponovce in pri tem uporabili več plasti z boljšimi izolacijskimi lastnostmi, bi lahko zmanjšali stacionarne izgube na polovico. Če med posameznimi vlivanji v ponovco mine manj kot 2 uri, ponovce ni treba dodatno ogrevati. Če mine dalj časa, je potreben čas dogrevanja enak polovici časa, ki je minil med dvema zaporednima šaržama. Dodatno ogrevanje ponovce z mazutnim gorilcem je izredno neekonomično, ker je izkoristek toplote tako zelo majhen (< 10 %). Poiskati bi bilo treba ustrežnejši način ogrevanja.

S praktičnimi poskusi bi bilo treba še potrditi tezo, da naj bi ogrevanje ponovce ne trajalo več kot 6 ur, ker je nadaljnje ogrevanje izredno drago. Poiskati bo treba kompromis med stroški, ki jih predstavlja dodatno ogrevanje ponovce in med stroški, ki jih predstavljajo toplotne izgube v jekleni talini.

Avtorski izveček

INHALT

UDK: 669.183.184.669.14.018.5

ASM/SLA: D7a, D8m, TSn

Metallurgie — Stahlherstellung

J. Triplat, J. Arh

Erfolge bei der Erzeugung von Dynamostahl in der VOD Anlage im Hüttenwerk Jesenice

Železarski zbornik 19 (1985) 2 S 25—29

Eine Beschreibung der Technologie der Erzeugung von Dynamostahl nach dem Duplexverfahren LB Ofen — VOD, die im Hüttenwerk Jesenice entwickelt worden ist, wird beschrieben. Die wesentlichen Vorteile der Vakuummetallurgie sind tiefe Endkohlenstoffgehalte im fertigen Stahl, billigere Rohstoffe, zuverlässige Herstellungsweise. Die erzielten Ergebnisse sind eine Bestätigung der richtigen Technologieentwicklung. Das ist von besonderer Wichtigkeit auch für das neue Stahlwerk 2, wo eine gleiche VOD Anlage aufgestellt wird.

Auszug des Autors

UDK: 669.15-194.56.669.183.184

ASM/SLA: SS-e, D7a, D8m

Metallurgie — nichtrostende Stähle — LB Ofen — VOD Verfahren

J. Arh, J. Triplat

Erfahrungen des Hüttenwerkes Jesenice bei der Erzeugung nichtrostender Stähle nach dem Duplexverfahren LB Ofen — VOD Anlage

Železarski zbornik 19 (1985) 2 S 17—22

Im Beitrag wird die Erzeugung nichtrostender Stähle nach dem Duplexverfahren LB Ofen — VOD Verfahren behandelt. Im kurzen werden die VOD Anlage und die Legierungsanlage beschrieben. Die Einsatzzusammensetzung wird angegeben und die Arbeitsweise im LB Ofen wird beschrieben. Der Kohlenstoffgehalt in der Schmelze vor dem Abstich beträgt von 0,60 bis 0,80 %, Cr, Ni und Mn Gehalte sind in den Analysengrenzen. Die Reduktion der Schlacke erfolgt in grossem Masse während des Abstiches und dem nachträglichen Mischen von Stahl und Schlacke in der Pfanne. Die Pfanne wird abgeschlackt, in das Gefäss gesetzt und nach Bedarf zulegiert und bis auf die nötige Anfangstemperatur abgekühlt. Sauerstoff wird während der Frischperiode durch 1 1/4 »Shinto« Rohre auf die Schmelze geblasen. Der Frischprozess wird mittels eines Abgasanalysators überwacht. In der Auskochzeit wird die Schmelze durch das im System gelöste Sauerstoff weiter entkohlht. Nach der Reduktion, der Entschwefelung und Entgasung werden die Zusammensetzung und die Temperatur der Schmelze korrigiert und eingestellt. Wenn nötig wird Kühlschrott zum Kühlen zugegeben. Bei den titanlegierten Stählen wird vor dem Legieren die Pfanne abgeschlackt.

Für die Pfannenzustellung werden Chrommagnesit wie auch direktgebundene Dolomitsteine angewendet. Zur Spülung sind ummantelte Spülsteine nach dem Didier System aussermittigt im Pfannenboden angeordnet, was den Verschleiss der Pfannen negativ beeinflusst.

Die Vorteile dieses Verfahrens sind sowohl an der ökonomischen wie auch an der qualitativen Seite. Besonders hoch ist der Entschwefelungsgrad, im Durchschnitt bei 85 %. Die tiefsten Endschwefelgehalte sind bei 0,001 % S.

Auszug des Autors

UDK: 621.746.32:536

ASM/SLA: W19b, D11k, U4j

Metallurgie — Stahlherstellung — Wärme — Pfannen — Erwärmung — Abkühlen der Stahlschmelze

B. Brudar

Mathematisches Modell des Wärmezustandes einer Giesspfanne beim Erwärmen und Giessen

Železarski zbornik 19 (1985) 2 S 39—46

Die rechnerische Simulierung der Erwärmung einer Pfanne und der Abkühlung von Stahl in ihr hat folgende interessante Ergebnisse ergeben, die auch für die praktische Arbeit von Wichtigkeit sind. Bei einer besseren Ausmauerung der Pfanne bzw. bei einer Ausmauerung des Dauerfutters in mehreren Schichten und besseren Isolationseigenschaften konnten die Wärmeverluste zur Hälfte reduziert werden. Wenn zwischen zwei Abstichen weniger als zwei Stunden vergehen, braucht die Pfanne nicht zusätzlich erwärmt zu werden. Falls diese Zeit länger ist, ist die nötige Erwärmungszeit gleich der Hälfte der Zeit, die zwischen zwei Abstichen verlaufen ist. Das zusätzliche Erwärmen der Pfannen mit dem Schwerölbrenner ist äusserst unökonomisch, da der Wärmenutzungsgrad sehr klein ist (unter 10 %). Eine entsprechend bessere Art der Pfannenwärmerwärmer sollte angewendet werden.

Anhand der praktischen Versuche müsste noch die These bestätigt werden, dass die Vorwärmung der Pfannen nicht länger als 6 Stunden dauern sollte, da die weitere Vorwärmung sehr teuer ist. Ein Kompromiss unter der Kosten für die weitere Vorwärmung der Pfannen und den Kosten die die Wärmeverluste in der Schmelze darstellen, wird zu finden.

Auszug des Autors

UDK: 669.15-194.56.669.187.2

ASM/SLA: SS-e, 1-73

Metallurgie — Vakuumfrischen — nichtrostende Stähle — Thermodynamik

N. Smajič

Die Optimierung des LBO — VOD Verfahrens der Erzeugung von nichtrostenden Stählen

Železarski zbornik 19 (1985) 2 S 31—38

Die Probleme welche bei der Erzeugung der nichtrostenden Stähle nach dem Duplexverfahren LBO — VOD auftreten, können in drei Grundgruppen eingeteilt werden:

— Probleme die mit der Aufrechterhaltung der zeitlich abgestimmten Wirkung zwischen LBO Ofen und VOD Anlage verbunden sind

— Probleme der technologisch abgestimmten Arbeit zwischen LBO Ofen und VOD

— Probleme mit der Haltbarkeit der feuerfesten Zustellung der VOD Pfannen

— Die Möglichkeiten für eine weitere Optimierung dieses Verfahrens mit der unmittelbaren Applikation der thermodynamischen Gesetzmässigkeiten werden beschrieben, die durch die mathematische Modellierung und Anwendung eines Rechners ermöglicht wird.

Auszug des Autors

CONTENTS

UDK: 669.15-194.56.669.183.184
ASM/SLA: SS-e, D7a, D8m

Metallurgy — Stainless Steel — Electric Arc Furnace — VOD process

J. Arh, J. Triplat

Experiences of Jesenice Ironworks in Manufacturing Stainless Steel by the Duplex Process: Arc Furnace — VOD Equipment
Železarski zbornik 19 (1985) 2 P 17—22

The paper presents the manufacturing austenitic stainless steel by the duplex process: arc furnace — VOD set-up. The VOD and alloying equipment are described. The steel manufacturing in the arc furnace from the charge composition to the tapping is presented. Carbon content in the melt before tapping is between 0.60 to 0.80 %. Chromium, nickel and manganese are in the limits of analytical regulations. Reduction reactions occur to a great extent during the tapping, and the stirring of melt and slag in the ladle. Slag is skimmed from the ladle, melt is additionally alloyed if necessary and cooled to the desired temperature. Oxidation is achieved by gaseous oxygen through 1 1/4 »shinto« tube being blown on the melt. Oxidation process is controlled by analyzing exit gases. Oxidation is followed by the decarburization with the oxygen dissolved in the melt. After the reduction, the desulphurization and the degassing the chemical composition and the temperature of the melt are corrected even with adding cooling scrap if necessary. In steel alloyed with titanium, slag is skimmed before adding Ti.

VOD ladles have basic lining, using chrome-magnesitic or dolomitic materials. For blowing with argon sheathed Didier argon stones placed excentrically in bottom are applied but this procedure is not the best for the lining wear.

Advantages are economic and in improved quality mainly as a consequence of desulphurization degree being in average around 85 % and thus the lowest achieved sulphur contents were about 0.0001 % S.

Author's Abstract

UDK: 669.183.184.669.14.018.5
ASM/SLA: D7a, D8m, TSn

Metallurgy — Steelmaking

J. Triplat, J. Arh

Achievements in Manufacturing Dynamo Steel in the VOD Equipment in Jesenice Ironworks
Železarski zbornik 19 (1985) 2 P 25—29

The manufacturing technology for the dynamo steel by the duplex process (EF and VOD) mastered in the Jesenice Ironworks is described. Advantages of the vacuum technology are based mainly on the lower carbon concentration in the manufactured steel, on cheaper raw materials, and on the reliability of the manufacturing process. The achieved results confirm the correctness in choosing the technology for the new Steel Plant II where the same equipment will be installed.

Author's Abstract

UDK: 669.15-194.56.669.187.2
ASM/SLA: SS-e, 1-73

Metallurgy — Vacuum oxidation — stainless steel — Thermodynamics

N. Smajić

Optimisation of the Arc-Furnace — VOD Process for Manufacturing Stainless Steel
Železarski zbornik 19 (1985) 2 P 31—38

The problems appearing in the duplex arc-furnace — VOD Process can be classified into three groups:

- problems connected with maintaining the temporary harmonized operation of the arc furnace and the VOD,
- problems of technologically coordinated operation of the arc furnace and the VOD, and
- problems connected with the life time of the VOD ladle.

Possibilities for further optimisation of this process by a direct application of thermodynamics is described, which is enabled by mathematical modelling and application of computer.

Author's Abstract

UDK: 621.746.32:536
ASM/SLA: W19b, D11k, U4j

Metallurgy — Steelmaking Heat — Ladle — Heating — Cooling of steel melt

B. Brudar

Mathematical Model of Thermal State of Casting Ladle in Heating and Casting
Železarski zbornik 19 (1985) 2 P 39—46

Computer simulation of heating the ladle and of cooling the steel in it gave the following interesting results which are important also in practical work. If the ladle are more carefully lined and simultaneously more layers with better insulating properties applied, the stationary losses can be halved. If the intervals between single pourings into the ladle are shorter than 2 hours the ladle needs not to be additionally heated. At longer intervals the period of additional heating is equal to the half of period between the two consecutive melts. Additional heating of ladle with an oil burner is extremely unprofitable since the heat efficiency is very low (<10 %). A more suitable way of heating must be chosen.

Practical experiments should confirm the supposition that heating of ladle should not be longer than 6 hours since further heating is extremely expensive. It is necessary to find optimum between the costs of additional heating of ladle and costs of thermal losses in the steel melt.

Author's Abstract

СОДЕРЖАНИЕ

UDK: 669.183.184.669.14.018.5
ASM/SLA: D7a, D8m, TSa

Металлургия — выплавка стали

J. Triplat, J. Arh

Достижения при изготовлении динамной стали в VOD устройстве в металлургическом заводе ЖЕ Железарна Есенице
Železarski zbornik 19 (1985) 2 С 25—29

Дано описание технологии изготовления динамных сталей дуплекс-процессом (EP и VOD) т.е. способа, который усвоен в металлургическом заводе Железарна Есенице. Преимущество вакуумной технологии состоит в том, что изготовленная сталь имеет главным образом более низкое содержание углерода, дает возможность применения дешевого сырья и надёжность изготовленных сталей. Полученные результаты подтвердили правильность применённого технологического способа, который находится в сталеплавильном цехе I. Этот способ будет применяться также в сталеплавильном цехе II, где будет найдено новое, такое же самое устройство.

Автореф.

UDK: 669.15-194.56:669.183.184
ASM/SLA: SS-e, D7a, D8m

Металлургия — нержавеющая сталь — ЭД-печь — способ.

J. Arh, J. Triplat

Опыт металлургического завода Железарна Есенице при изготовлении нержавеющих сталей дуплекс-процессом ДЭ-печь — VOD ustanovka.
Železarski zbornik 19 (1985) 2 С 17—22

В статье рассмотрено изготовление аустенитных нержавеющих сталей дуплекс процессом ДЭ-печь — VOD устройство. Приведено описание — устройства и устройства для легирования. Дано описание изготовления стали в дуговой электрической печи начиная от состава шихты до выпуска из печи. Содержание углерода в расплаве до выпуска составляет от 0,60 до 0,80 %. Элементы хром, никель и марганец находились в аналитических границах. Реакции восстановления выполняются главным образом во время и выпуска стали и в течении перемешивания стали и шлака в ковше. Шлак вычерпывается из ковша, а расплав, по необходимости, легируется и охлаждается на необходимую начальную температуру. Окисление выполняется с газообразным кислородом, которого вдувают в расплав посредством 1 1/4 „Shinto“ трубы. Процесс окисления проверяется на основании анализа уходящих газов. После окисления выполняется обезуглероживание расплава с кислородом, который содержится в расплаве. После восстановления, обессеривания и удаления газа следует корректура химического состава и температуры расплава, если же необходимо, добавка охлаждающего скрапа. При сталях, легированных с элементом титаном надо снять шлак до добавки этого элемента.

Футеровка VOD — ковшевой основной, хромагнетитного или доломитового материала. Для продувания с аргонном в употреблении газопроницаемые камни, изготовленные по системы Didier, они размещены на дне ковша, вне центра, что повышает износ футеровки.

Преимущества — экономические и качественные, главным образом, что касается удалки серы, которое в среднем составляло 85 %. Самый низкий результат содержания серы составлял 0,001 %.

Автореф.

UDK: 621.746.32.536
ASM/SLA: 19b, D11h, U4j

Металлургия — выплавка стали — теплота — ковша — нагрев — охлаждение расплава стали.

B. Brudar

Математическая модель теплового режима разливаемого ковша при нагреве и разлива.
Železarski zbornik 19 (1985) 2 С 39—46

Моделирование нагрева ковша и охлаждения в ней стали при применении счётчика дали следующие достопримечательные результаты, которые имеют значение также в промышленной деятельности. Если бы более добросовестно выполнялась кладка ковша и при этом употреблялось больше слоев с лучшими изоляционными свойствами, то можно было бы уменьшить стационарные потери на половину. Если промежутки между отдельными разливами в ковш меньше двух часов, то ковш не надо подогревать. Если же время между разливами превышает 2 часа, то время подогрева ковша будет составлять половину времени двух прежних последовательно идущих шихтов. Добавочный нагрев ковша с мазутной форсункой очень не экономичен вследствие низкого теплового выхода (10 %). Надо найти более соответствующий способ нагрева.

Практическими опытами надо бы также подтвердить тезис, чтобы нагрев ковша не продолжался более 6 часов, так как последующий нагрев очень дорог. Надо найти компромисс между расходами для доданного нагрева ковша и расходами, которые представляют потери в расплаве стали.

Автореф.

UDK: 669.15-194.56:669.107.2
ASM/SLA: SS-e, 1—73

Металлургия — окисление под вакуумом — нержавеющая сталь — термодинамика.

N. Smajić

Оптимизация производства нержавеющей стали ЭД печь — VOD способом.
Železarski zbornik 19 (1985) 2 С 31—38

Проблемы, которые появляются при производстве нержавеющей стали способом дуплекс ЭД печь — VOD можно разделить на три основные группы:

- проблемы, которые связаны с поддержанием координации времени работы ЭД печь и VOD
- проблемы технологической координации работы ЭД печь и VOD, а также
- проблемы в связи устойчивости футеровки VOD-ковша.

Рассмотрены возможности дальнейшей оптимизации этого способа с непосредственным применением термодинамических закономерностей. Этому способствует математическое формирование и применение счётчика.

Автореф.

