

Oksidacija Mn u kiseoničkom konvertoru kod prerade visokomanganskog gvoždja

ASM/SLA: D10, D11n, Mn
UDK: 669.245 LD; 669.046.547

K. Buha, D. Pihura

Problematika izrade čelika sa povišenim sadržajem Mn u kiseoničkom konvertoru. Teoretske osnove oksidacije i redukcije mangana u uslovima proizvodnje čelika u kiseoničkom konvertoru.

Usporedba teoretskih i praktičkih rezultata sa posebnim osvrtom na raspodjelu Mn između metala i troske. Kraći pregled uticaja povišenog sadržaja Mn na tehnološke i ekonomske pokazatelje proizvodnje niskougljeničkog čelika. Proizvodnja čelika u 130 tonskom konvertoru u Željezari Zenica.

Zaključci za praksu koji su proizašli iz analize praćenja većeg broja talina.

UVOD

Sa razvojem konvertorskog postupka pedesetih godina započela je nova epoha u tehnologiji proizvodnje čelika. Mnogobrojna laboratorijska i industrijska istraživanja su omogućila da se savladaju kompleksni tehnološki i metalurški problemi. Kontrola procesa odugljičavanja, odosforavanja, odsumporavanja je posvećena najveća pažnja. Tek u posljednjih deset godina počinje da se posvećuje sve veća pažnja procesima i reakcijama, koje kontroliraju ponašanje ostalih elemenata, kao što su Mn, Si, N i O itd, čiji uticaji imaju sekundarni značaj, ali nisu zanemarljivi.

Od svih spomenutih elemenata mangan ima posebno veliki značaj za našu čeličansku praksu zbog njegovog veoma visokog sadržaja u sirovom gvoždju.

Pregled stručne literature iz ovog područja ukazuje da mangan u sirovom gvoždju ima značajan uticaj na niz tehnoloških parametara u procesu konvertorske proizvodnje čelika, kao što su: brzina oksidacije ugljika, oksidacijski potencijal troske, sposobnost nastanka i količina prve troske, odsumporavanje, potrošnja vatrostalne opeke idr.

Osnovni cilj ovog zadatka je da na osnovu teoretskih saznanja i nekih praktičnih iskustava pri radu sa visokomanganskim sirovim gvoždjem pre-

zentira sve potrebne informacije, koje su neophodne pri razradi tehnologije i optimizacije konvertorskog postupka i da da kraći osvrt na problematiku proizvodnje čelika u konvertoru u Željezari Zenica sa tehnološkom problematikom i odgovarajućim zaključcima.

1. TEORETSKE OSNOVE OKSIDACIJE I REDUKCIJE MANGANA U USLOVIMA PROIZVODNJE ČELIKA U KONVERTORU

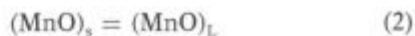
Osnovna karakteristika konvertorskog postupka je kompleksnost fizikalnih i kemijskih reakcija i procesa, koji se odvijaju simultano ili u nekom koherentnom redosljedu. Uprkos toj činjenici, postoji niz veoma značajnih parametara, koji slijedi termodinamičke i kinetičke zakone.

Kod sadašnjih istraživanja mnogi autori su pokušali izgraditi kompleksne modele, koji uzimaju u obzir međusobne reakcije između toplotnog prenosa i prenosa masa na svim reakcijskim površinama: troska — tekući metal — plin. Početkom sedamdesetih godina postalo je jasno da je za bolje poznavanje i razumijevanje fundamentalnih aspekata konvertorskog postupka potrebno pristupiti studiji parcijalnih procesa i reakcija. Utvrđeno je da kod toga igra veoma značajnu ulogu termodinamička analiza reakcija koje se odvijaju između tečnog metala, troske i plinske faze.

1.1. Oksidacija i redukcija mangana

U jednom od dosadašnjih radova autora [1] dati su osnovni podaci o termodinamičkoj reakciji mangana sa kisikom u uslovima konvertorskog postupka, zato bi se na ovom mjestu zadržali samo na nekim osnovnim aspektima.

Osnovnu reakciju između mangana i kisika u tečnom čeliku možemo zapisati u obliku:



gdje Mn i O označavaju sadržaj mangana i kisika u rastopljenom gvoždju, a $(\text{MnO})_s$ i $(\text{MnO})_L$ manganov oksid u čvrstom i tečnom stanju.

K. Buha, dipl. ing. metal., glavni tehnolog u Željezari Zenica
D. Pihura, dipl. ing. metal., samostalni istraživač, Institut Hasan Brkić, Zenica

Tabela 1

Promjene slobodne energije za reakciju				
Slobodna energija reakcije (1), ΔG_1	izraz	K_{Mn} vrijednost	Literatura	
$-68400 + 30,56 T$	$\frac{a_{MnO}}{a_{Mn} \cdot a_O}$	20,08	Chipman	[2]
$-69550 + 31,02 T$	$\frac{a_{MnO}}{a_{Mn} \cdot a_O}$	21,69	Kulikov	[3]
$-64360 + 26,02 T$	$\frac{a_{MnO}}{a_{Mn} \cdot a_O}$	66,67	Vladimirov	[4]
	$\frac{a_{MnO}}{a_{Mn} \cdot a_O}$	22,62	Janke	[5]

Za reakciju (1) postoje u literaturi mnogobrojni podaci, koje navodimo u tabeli 1. Iz tih podataka zaključujemo da se vrijednosti za konstantu K_{Mn} isto tako međusobno razlikuju i da se za temperaturu 1600° C kreću od 20,1 do 66,7.

Na osnovu literaturnih podataka dobijena je za reakciju po jednadžbi (2) vrijednost slobodne energije: $\Delta G_2^\circ = 10\,700 - 5,2 T \frac{10^7}{2,37}$ (J/mol). Kom-

binacija reakcija po jednadžbama (1) i (2) omogućava izvođenje termodinamičkih podataka za sumarnu vrijednost slobodne energije cjelokupne reakcije:

$$\Delta G_3^\circ = \Delta G_1^\circ + \Delta G_2^\circ \quad (3)$$

Izračunata sumarna vrijednost slobodne energije iznosi: $\Delta G_3^\circ = -58\,400 + 25,58 T$ po Chipmanu [2], dok vrijednost konstante te ukupne reakcije:

$$[Mn] + [O] = (MnO)_L \quad (4)$$

na 1600° C iznosi:

$$K_{Mn} = \frac{a_{MnO}}{a_{Mn} \cdot a_O} = 13,70 \quad (5)$$

U početnoj fazi duvanja sa kisikom odgorijeva mangan skupa sa silicijem. Tako nastaje prva troska koja sadrži, pored (MnO) i (SiO₂), još (CaO) i (FeO). Zbog intenzivne reakcije miješanja reakcijskih komponenata i dovoljnog dotoka kisika reakcija mangana teče u veoma povoljnim kinetičkim uslovima. Kod povećanih sadržaja [Mn] u sirovom gvoždju brzina odgora mangana praktično nije ovisna od sadržaja mangana, što možemo definirati jednačinom prvoga reda:

$$V_{Mn} = \frac{d_{Mn}}{dt} = -k \quad (6)$$

odnosno u integralnom obliku:

$$Mn = Mn^0 - k \cdot t \quad (7)$$

Vrijednost konstante $-k$ pada sa porastom temperature, što direktno znači da sa vremenom duvanja pada njena vrijednost. Na taj mehanizam u najvećoj mjeri utiče sadržaj ugljika, kao i nje-

gova brzina oksidacije $-V_c$ (% C/min). Kad vrijednost $-V_c$ dostigne svoj maksimum, naglo se mijenjaju uslovi za oksidaciju mangana. Ponuda kisika je tada najmanja, pošto sa porastom temperature vodeću ulogu preuzima ugljik, dok je kod nižih temperatura glavni konkurent manganu bio silicij. Rezultat toga je da se smjer reakcije praktično okrene: mangan iz troske se počinje reducirati, što vodi povećanju mangana u tečnom metalu.

Za teoretska istraživanja je zanimljiv period oksidacije mangana kao rezultat njegove reakcije sa (FeO) u troski:



$$K_{Mn-Fe} = \frac{a_{MnO}}{a_{Mn} \cdot a_{FeO}} = \frac{(MnO)}{Mn \cdot (FeO)} \cdot \frac{\gamma_{MnO}}{\gamma_{FeO}} \quad (9)$$

Pošto je poznavanje aktivnih koeficijenata uglavnom ograničeno na jednostavnije sisteme, u većini slučajeva koristi se empirijski izraz za konstantu K_{Mn-Fe} [6]:

$$\begin{aligned} \log K_{Mn-Fe} &= \log \frac{N_{MnO}}{[Mn] \cdot N_{FeO}} = \\ &= \log \frac{(MnO)}{[Mn] (\% FeO)} = \frac{6440}{T} - 2,95 \end{aligned} \quad (10)$$

Uticaj SiO₂ na konstantu K_{Mn-Fe} u sistemu MnO-FeO možemo uzeti u obzir sa korelacijskom jednačinom Fujita i Maruhashi [6]:

$$\log \frac{N_{MnO}}{[Mn] \cdot N_{FeO}} = \frac{6400}{T} - 2,30 + 1,056 N_{SiO_2} \quad (11)$$

Po podacima koje daje Fischer i suradnici [7, 8], Al₂O₃ nema praktično nikakvog uticaja na konstantu ravnoteže čak do 20 % Al₂O₃, dok P₂O₅ povećava njenu vrijednost do sadržaja 8 %, a onda sa daljnjim porastom sadržaja P₂O₅ njena vrijednost pada.

Kod analize reakcija koje se vrše izmedju troske i metala moramo uzeti u obzir i reakciju:



Schenck i suradnici [9] su izabrali odnos $N_{\text{MnO}}/[\text{Mn}]$ kao parametar za opis reakcije redukcije (MnO) ugljikom:

$$\log \frac{N_{\text{MnO}}}{\text{Mn}} = 1,37 - \left[\frac{(N_{\text{CaO}})}{(N_{\text{SiO}_2})} \right]^2 \quad (13)$$

U praksi se često upotrebljava odnos (Mn)/[Mn], koji je moguće dovesti u vezu sa jednačinama tipa (11) i (13) kroz upotrebu stehiometrijskih odnosa:

$$(\text{MnO}) = \frac{M_{\text{MnO}}}{M_{\text{Mn}}} \cdot (\text{Mn}) = \frac{70,93}{54,94} (\text{Mn}) = 1,29 (\text{Mn}) \quad (14)$$

Tako na primjer, jednačina (11) izražena u novom odnosu glasi:

$$\log \frac{(\text{Mn})}{\text{Mn}} = \frac{6440}{T} - 2,41 + 1,056 \cdot N_{\text{SiO}_2} + \log (\text{FeO}) \quad (15)$$

Zaključci koji proizlaze iz ove analize su sljedeći:

Na prelaz mangana iz sirovog gvoždja u trosku povoljno utiče:

- visok sadržaj FeO i SiO_2 u troski
- niska temperatura

Praktična iskustva, međutim, pokazuju da je prelaz mangana u trosku dinamična funkcija, koja se mijenja tokom vremena, kao što to jasno ilustrira slika 1, odnosno slika 2. Zato je potrebno u sljedećem poglavlju pažnju usmjeriti na analizu eksperimentalnih uticajnih parametara na mehanizam transporta mangana u trosku, i obratno, u savremenom konvertorskom procesu.

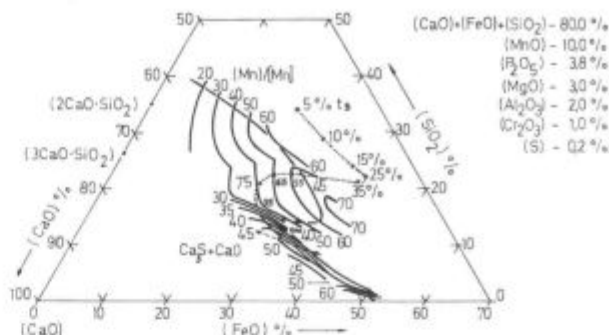
2. PRAKTIČNA ISKUSTVA OKSIDACIJE MANGANA U KONVERTORU

Kao što je rečeno u prvom poglavlju, kod ponašanja mangana u konvertoru opažamo tri karakteristične faze:

- oksidacija mangana u početnom periodu duvanja
- redukcija mangana u fazi maksimalne brzine odugljičavanja
- sekundarna oksidacija na kraju duvanja, kada brzina odugljičavanja postepeno pada

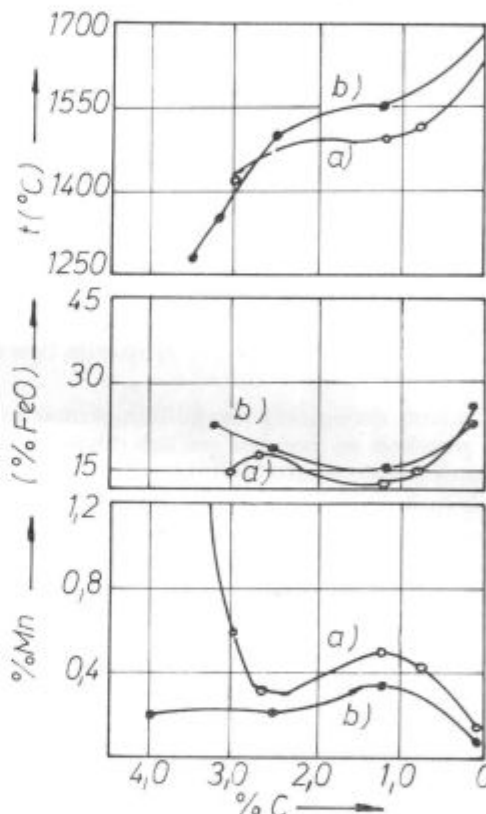
U početnom periodu duvanja kisika ponuda je veoma visoka. U toj fazi silicij ima veći afinitet prema kisiku nego mangan. Međutim, to važi samo za uslove kada je i sadržaj dovoljno visok. Sa porastom temperature sve više i više raste aktivnost ugljika, iako njegov sadržaj postepeno pada. Paralelno sa time počinje i stvaranje CO, a sa tim i intenzivno kuhanje taline. Količina kisika, koja je na raspolaganju za reakciju, zavisi od pritiska kisika u mlaznici i udaljenosti koplja od površine kupke.

Oksidacija mangana, silicija i željeza ima za posljedicu, pored poboljšanja toplotne bilance, procesa, nastanka troske u prvoj fazi.



Slika 1
Put koncentracije Mn kod različitog vodjenja koplja u konvertoru i temperature 1620°C (Bardenheuer et al.)

Fig. 1
Mn content variations with various ways of the lance operation in the converter at 1620°C (Bardenheuer et al.)

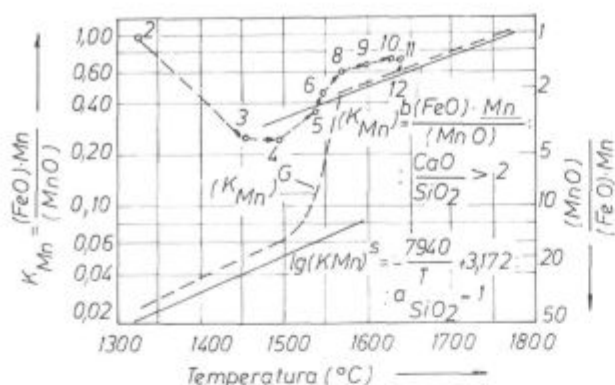


Slika 2
Parametri duvanja sirovog gvoždja u konvertoru, kao funkcija sadržaja C u uložku (temp. (FeO), [Mn])
a) visokomangansko gvoždje sa > 0,8 % Mn
b) niskomangansko gvoždje sa < 0,4 % Mn

Fig. 2
Parameters of blowing through the pig iron in the converter as a function of C content in charge /temp. (FeO), [Mn]/
a) high-manganese iron with > 0,8 % Mn
b) low-manganese iron with < 0,4 % Mn

2.1. Mehanizam nastanka troske u prvoj fazi

Za ovu analizu je od posebnog značaja uloga mangana kod ovoga procesa. Eksperimentalna istraživanja mineraloškog sastava prvih troski su pokazala [10, 11] da je njen sastav tipa: $\text{CaO-MnO-MgO-FeO-SiO}_2$. Kristalizirani oblik troske se pri-



Slika 3
Približavanje raspodjele Mn kod 3-tonskog LD konvertora po Plöckingerovim i Wahlsterovim¹³ podacima. Brojevi označavaju vrijednosti

Fig. 3
Closing of the manganese distribution data by Plöckinger and Wahlster¹³ for a 3 t LD converter (Figures represent the values)

blizava po svome sastavu mineralu monticelit: $\text{CaO} \cdot (\text{Mn}, \text{Mg}, \text{Fe}) \text{O} \cdot \text{SiO}_2$. Prisutnost manganovog oksida u troski povoljno utiče na proces preobrazbe mineralnih faza i pregrupacije iona. Tako se znatno mijenjaju fizikalne osobine troske:

- smanjuje se viskozitet troske
- troska bolje prodire u komade nerastopljivog kreča, odnosno mineralnih grupacija tipa ortosilikata ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$)

Promjena viskoziteta troske ima primarno značenje, posebno za početni period duvanja, pošto je u tom periodu njen viskozitet visok zbog niskih temperatura.

Zanimljivo je da je uloga mangana na kinetiku nastanka troske značajna, prije svega, u prvom periodu duvanja. U kasnijim fazama se razlike u sastavu troske sve više smanjuju.

Prema istraživanjima Baptizmanskog i suradnika [11], moguće je dovesti u direktnu korelaciju količinu nastale troske sa stepenom oksidacije mangana prema jednačini:

$$T_s = \frac{M(\text{SG}) \cdot \text{Mn} + M(\text{S}) \cdot \text{Mn} - M(\text{Č}) \cdot \text{Mn}}{\frac{55}{71}(\text{MnO})} \quad (16)$$

gdje:

$M(\text{SG})$, $M(\text{S})$, $M(\text{Č})$ — označavaju masu sirovog gvoždja, starog željeza i čelika u konvertoru sa odgovarajućim sadržajima mangana;

(MnO) — sadržaj oksida mangana u troski (%)

Mn — sadržaj mangana u komponentama metalnog uloška i čelika (%)

2.2. Uticaj nekih tehnoloških parametara na raspodjelu mangana u konvertoru

Sistematična istraživanja brojnih autora su pokazala da na koeficijent raspodjele mangana — $(\text{Mn})/[\text{Mn}]$ ili $(\text{MnO})/[\text{Mn}]$ utiče veliki broj para-

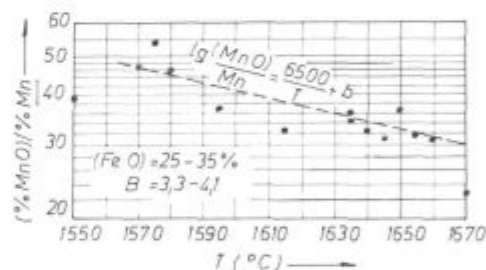
metara. Plöckingerova i Wahlsterova istraživanja u trotonskom konvertoru su pokazala da se u posljednjoj fazi duvanja raspodjela mangana približava ravnotežnim uslovima [13]. Njihovi rezultati su pokazani na slici 3.

$K_{\text{Mn}} = \frac{(\text{FeO}) \cdot [\text{Mn}]}{(\text{MnO})}$ (u različitim vremenskim periodima duvanja od 2 do 12)
 $(K_{\text{Mn}})^b$: $(\% \text{CaO} / \% \text{SiO}_2) > 2$
 $(K_{\text{Mn}})^s$: $\% \text{SiO}_2 = 1$ (troska zasićena sa SiO_2)
 $(K_{\text{Mn}})^e$: teoretska ravnoteža za dati bazicitet i temperaturu.

Te rezultate su potvrdila kasnija istraživanja [11, 14, 15], čiji su rezultati dobiveni u različitim uslovima, zato nije moguće izvući kvantitativne zaključke. Evo nekih od njihovih rezultata.

2.3. Uticaj temperature na raspodjelu $(\text{Mn})/[\text{Mn}]$

Iz slike 3 je moguće zaključiti da temperatura ima odredjen uticaj na raspodjelu mangana između troske i metala. Isto tako, vidimo da je gradijent dK_{Mn}/dT približno isti u kiselini i bazičnim troskama. To su potvrdila i praktična iskustva kod SM-čeličana, a isti takav odnos je utvrđen i kod konvertorskog postupka.



Slika 4
Uticaj temperature na koeficijent raspodjele Mn u konvertoru (H. von Ende et al)

Fig. 4
Temperature influence on the distribution coefficient of manganese in the converter (H. von Ende et al)

Na slici 4 su dati rezultati H. von Ende i saradnika [11], koji jasno pokazuju da porastom temperature tečnog metala slabi tendencija (termodinamički afinitet) prelaska mangana iz tečnog metala u trosku, odnosno pada vrijednost koeficijentna raspodjele:

$$\log \frac{(\text{MnO})}{[\text{Mn}]} = \frac{6500}{T} + b$$

2.4. Uticaj količine uduvanog kisika na oksidaciju mangana

Praktični rezultati na 40-tonskom konvertoru sa prosječnim uloškom: 4,05 do 4,30 % C, 0,50 do 0,72 % Si, 0,94—1,16 % Mn i visokim sadržajem fosfora (0,175—0,266 % P) su pokazali [11] da po-

stoji direktna korelacija izmedju količine uduvanog kisika (Nm^3/t) i koeficijentata raspodjele mangana (slika 5)

Očigledno da su odnosi izmedju kemijskog sastava troske, količine uduvanog kisika (Nm^3/t), oksidacije mangana i njegovog prelaska u trosku još nedovoljno istraženi. Kompleksnost procesa (npr. rastapanje kreča u troski) i kemijskih reakcija koje se odvijaju simultano je tako velika, tako da danas nije moguće u potpunosti objasniti proces redukcije mangana iz troske.

2.5. Ponašanje sumpora i fosfora kod visokog mangana u ulošku

Prenos fosfora i sumpora iz tečnog metala u trosku i plinsku fazu moramo posmatrati s aspekta oksidacijskog potencijala metala i kemijskog sastava troske.

Neka praktična iskustva su pokazala [10, 11] da je brzina odgora fosfora u početnoj i konačnoj fazi duvanja nešto veća od brzine odgora ugljika. Termodinamična analiza tih reakcija ukazuje na slijedeće odnose:

$$[\text{C}] + [\text{O}] = \{\text{CO}\} \quad (18)$$

$$\frac{1}{5} (\text{P}_2\text{O}_5) = \frac{2}{5} [\text{P}] + [\text{O}] \quad (19)$$

$$[\text{C}] + \frac{1}{5} (\text{P}_2\text{O}_5) = \{\text{CO}\} + \frac{2}{5} [\text{P}] \quad (20)$$

U uslovima kada je $a_{\text{P}_2\text{O}_5} = 1$ i $p_{\text{CO}} = 1$ bar odnos izmedju ugljika i fosfora je:

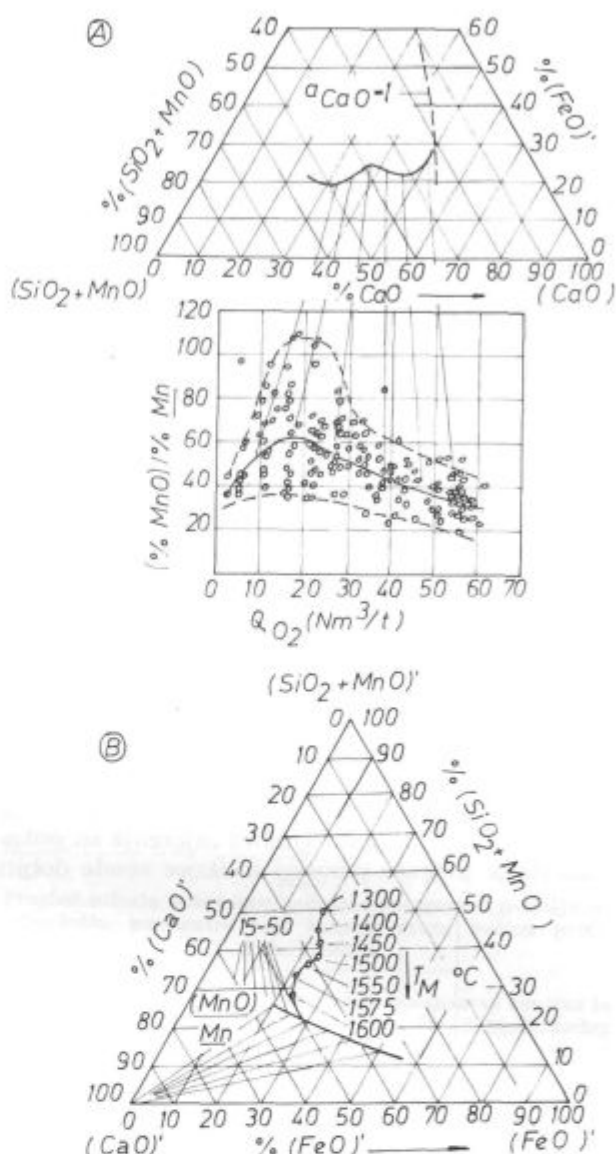
$$\log [\text{C}] = 2/5 \log [\text{P}] - \log k$$

Gradijent izmedju ugljika i fosfora 2:5 je potvrđen u praksi i veoma dobro se slaže sa teoretskim zaključcima [11].

Koeficijent raspodjele fosfora: $(\text{P}_2\text{O}_5)/\% [\text{P}]$ kao funkcija (MnO) u troski nije konkretno određivan, ali po nekim zaključcima možemo pretpostaviti da visok sadržaj $[\text{Mn}]$ u gvoždju nepovoljno utiče na ostvarenje fosfora iz metala. Medjutim, kao što je rečeno, čvrstih eksperimentalnih dokaza za tu tvrdnju nema.

Dosta slična situacija je i sa mehanizmom odsumporenja. U početnoj fazi procesa duvanja temperatura i bazičnosti troske su niski. Medjutim, sa porastom bazičnosti raste i sadržaj (FeO) i (MnO) u troski, što opet vodi do pogoršanja uslova za prenos sumpora iz metala u trosku.

Povećani sadržaj mangana u troski povoljno utiče na viskoznost troske i brzinu rastapanja kreča, tako da poboljšava kinetičke uslove procesa. Općenito možemo zaključiti da mangan u gvoždju nema bitnijeg uticaja na mehanizam odsumporenja u konvertorskom postupku.



Slika 5

Promjena kemijskog sastava troske i koeficijenta raspodjele Mn za vrijeme duvanja u 40 tonskom LD konvertoru (H. von Ende i saradnici¹¹⁾)

A — Uticaj količine uduvanog kisika

B — Put sastava troske i temperature tekućeg metala

Fig. 5

Variation of the chemical composition of slag and the manganese distribution coefficient during the blowing period in a 40 t LD converter (H. von Ende et al¹¹⁾)

A — Influence of the amount of blown oxygen

B — Variation of the slag composition and the temperature of molten metal

2.6. Korelacija izmedju mangana i kisika kod konvertorskog postupka

Iz teoretske analize (jednačina 1) zaključujemo da u ravnotežnim uslovima i konstantnoj temperaturi postoji relacija:

$$[\text{Mn}] \cdot a_0 = \text{konstanta}$$

U literaturi je moguće naći mnogobrojne rezultate istraživanja odnosa izmedju sadržaja mangana i kisika. Ako zaobidjemo istraživanja u labora-

torijskim uslovima i neke starije studije, kod kojih nije bilo moguće mjeriti aktivnost kisika (a_o), onda je vrijedno da spomenemo samo neka od paženijih istraživanja:

Javojski i suradnici [16]

$$[O] = 0,0461 - 0,0425 \cdot [Mn] \quad (r_k = 0,343, u = 3,2)$$

za područje koncentracije mangana: 0,09 do 0,29 % Mn. Ovi autori navode nešto kompleksniju korelaciju:

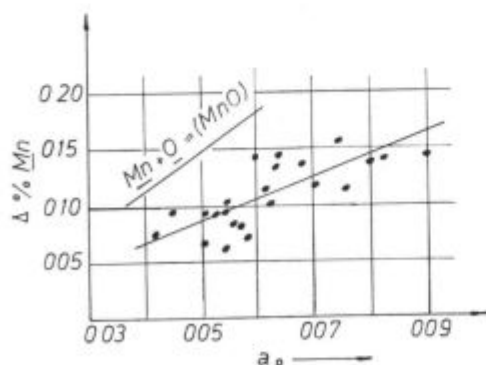
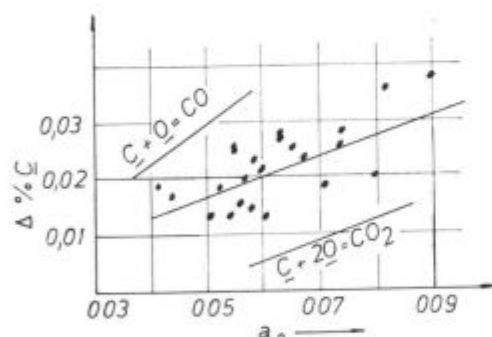
$$[O] = 0,143 \cdot C + 0,00056 (FeO) - 0,023 [Mn] + 0,0427$$

za područje koncentracije ugljika 0,05—0,10 % C sa veoma visokim koeficijentom determinacije ($r_k = 0,92$). Kod nešto viših sadržaja ugljika (0,05 do 0,18 % C) su dobili slijedeću korelaciju:

$$[O] = -0,154 [C] + 0,0006 (FeO) - 0,0181 [Mn] + 12 \cdot 10^{-7} + 0,0392$$

Ph. Catoul, J. Hancart [17]

Autori su mjerili aktivnost kisika u konvertorima različite veličine sa automatskim sistemom, direktno u konvertoru (pred izlivom). Vrijeme mjerenja je iznosilo 20 sekundi i cijela operacija je trajala oko 1 minut. Njihova mjerenja su pokazala da je moguće pomoću kisikove sonde dobiti

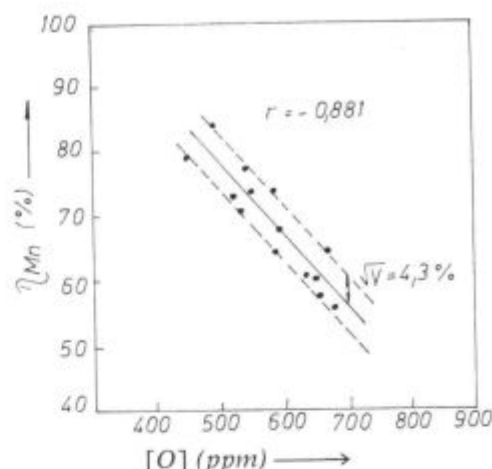


Slika 6

Korelacija između gubitka ugljika i mangana kod legiranja i aktivnosti kisika u tekućem metalu

Fig. 6

Correlation between the carbon and manganese loss during alloying and the oxygen activity in molten metal



Slika 7

Relacija između iskorištenja mangana (legiranje sa Fe-Mn) i sadržaja kisika (aktivnost) kod proizvodnje neumirenog čelika

Fig. 7

Relationship between the manganese yield (alloying with Fe-Mn) and oxygen content (activity) in manufacturing the rimming steel

reproduktivne rezultate i dosta visoku korelaciju između sadržaja mangana i aktivnosti kisika ako je sadržaj ugljika ispod neke kritične granice.

A. Jacquemont i saradnici [18]

Njihova mjerenja su pokazala da postoji korelacija između sadržaja mangana i aktivnosti kisika. Zanimljiva je, međutim, činjenica da postoje korelacije između stepena oksidacije elemenata (% C, % Mn, % Si, %) kod legiranja i aktivnosti kisika (slika 6 — primjer za ugljik i mangan).

T. Saeki i saradnici [19] te Nagtev i saradnici [20]

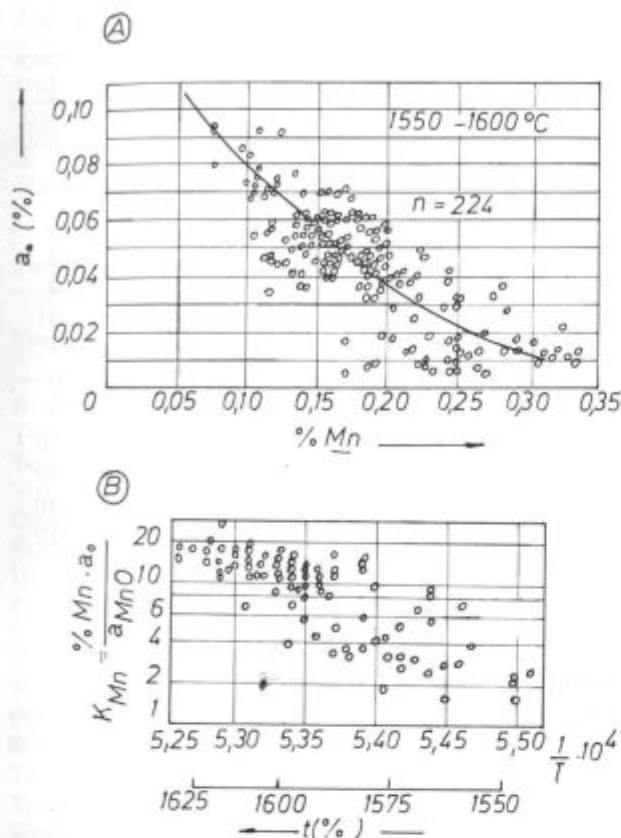
Ovi autori su našli analogne ovisnosti između aktivnosti kisika, određenog kisikovom sondom, i stepena oksidacija mangana:

$$[Mn] = 14,2 + 432 \cdot a_o \quad (r_k = 0,88, u = 7,96)$$

Na slici 7 su pokazani rezultati japanskih istraživača [19] koji su dobiveni kod praćenja odgora mangana u neumirenim čelicima.

Najnovija Boomova i Halbergova istraživanja na 300-tonskom kisikovom konvertoru su pokazala da je aktivnost kisika korelirana sa sadržajem mangana (kod sadržaja mangana u gvožđu: Mn = 0,7 %). Njihovi rezultati su predstavljeni na slici 8. To je ponovni dokaz jedne ranije studije Bardenheura i saradnika, da je koeficijent raspodjele mangana (Mn) [Mn] moguće povezati sa sadržajem kisika u tečnom metalu:

$$\lg O = \frac{2}{3} \lg \frac{(Mn)}{[Mn]} - \frac{8755}{T} + 2,39$$



Slika 8

Eksperimentalni rezultati odnosa mangana i aktivnog kisika u 300-tonskom konvertoru (po Boomovim i Halbergovim podacima (21))

Fig. 8

Experimental data for the ratio between manganese and active oxygen in a 300,t converter (by Boom and Halberg²¹)

Na osnovu sabranog i kritički ocijenjenog eksperimentalnog materijala pokušali smo kvalitativno ilustrirati intenzitet uticaja povećanog sadržaja mangana u gvoždju na pojedine tehnološke parametre. Rezultati su prikazani na slici 9.

3. PROIZVODNJA KONVERTORSKOG ČELIKA U 1978. GODINI

3.1. Ostvarenje proizvodnje

Dinamika porasta proizvodnje konvertorskog čelika u 1978. godini je bila znatna, mada ne u onoj mjeri koja se očekivala. Ostvarena proizvodnja sirovog čelika od 603.931 t veća je za 73,7 %, a očekivano je znatno više. Nedostatak tekućeg gvoždja osjećao se tokom cijele 1978. godine, što je imalo znatnog uticaja kako na ostvarenje planirane proizvodnje tako i na proces izrade čelika u konvertoru.

Ostvarenje proizvodnje sirovog čelika na konvertorima i ostvarenje plana konti odlivaka po mjesecima 1978. godine navedeno je na slici 10. Ostvarena proizvodnja je za 13 % manja od planirane, što nije slučaj sa izvacima koji se približuju predviđenim.

3.2. Sastav tečnog gvoždja

Neujednačenost hemijskog sastava sirovog gvoždja i dalje je aktuelan problem, kome se u dosadašnjem radu malo posvećivala pažnja. Radi ilustracije navodimo kretanje sastava gvoždja u

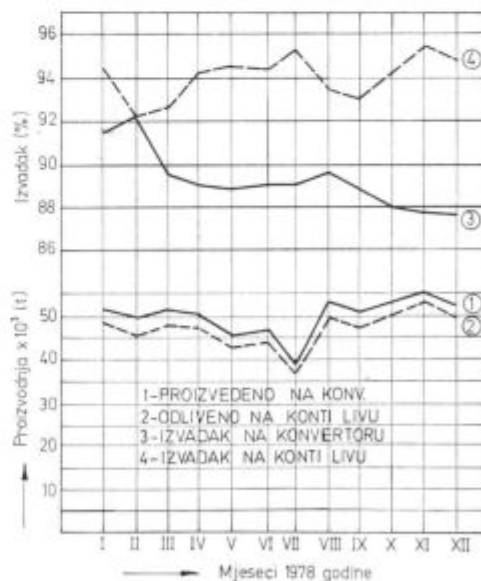
TEHNOLOŠKI PARAMETRI	Kod povećanog [Mn] u gvoždju		
	smalji	nepromijenjeno	poveća
FAZA OKSIDACIJE			
Brzina oksidacije ugljika	↔		
Oksidacijski potencijal troske	↔		
Sadržaj MnO u troski			↔
Sadržaj FeO u troski	↔		
Spasobnost nastanka troske			↔
Količina troske			↔
Bazičnost troske			↔
Odsušenje		↔	
Odstašćenje	↔		
Temperatura tečnog čelika			↔
Talište i viskoznost troske	↔		
Vrijeme duvanja			↔
Potrošnja kisika za duvanje			↔
Erozija ognjesta opeke			↔
FAZA RAFINACIJE			
Sadržaj kisika u čeliku	b) ↔ a)		
Konačni sadržaj mangana			↔
Sadržaj konačnog ugljika			↔
Odgor elemenata Mn, Si, Al	↔		
a) Kod visokog %C (iznad 0.15 %) b) Kod niskog %C (ispod 0.07 %)			

Slika 9

Pregled uticaja povećanog sadržaja mangana u gvoždju na tehnološke parametre kod konvertorskog načina proizvodnje čelika

Fig. 9

Review of the influence of increased manganese content in iron on the technological parameters for manufacturing steel in converter



Slika 10

Proizvodnja konvertorskog čelika u Željezari »Zenica« u 1978. godini

Fig. 10

Steel production data in the converters of Zenica Steelworks for 1978

Tabela 2

Kretanje hemijskog sastava tekućeg gvoždja u mikseru u 1977. i 1978. godini								
Element	Mjere varijacije							
	Godina	N	Aritmet. sred. Mx	Standard. dev. σx	Područje varijacije $Mx \pm 2\sigma x$	Faktor V	Interval	
C	1977	4102	3,67	0,10	3,47 — 3,87	2,72	0,20	
	1978	1974	3,63	0,10	3,43 — 3,83	2,75	0,20	
Si	1977	4078	0,55	0,07	0,41 — 0,69	12,73	0,10	
	1978	1974	0,53	0,06	0,41 — 0,65	11,32	0,10	
Mn	1977	4078	3,02	0,18	2,66 — 3,38	5,96	0,20	
	1978	1974	3,05	0,10	3,08 — 3,48	3,28	0,20	
P	1977	4078	0,102	0,010	0,082 — 0,122	9,80	0,020	
	1978	1974	0,105	0,009	0,087 — 0,123	8,57	0,020	
S	1977	4102	0,040	0,005	0,030 — 0,050	12,50	0,010	
	1978	1974	0,043	0,004	0,035 — 0,051	9,30	0,010	

mikseru za 1977. i 1978. godinu u tabeli 2. Naročito nepoželjne varijacije u hemijskom sastavu su kod silicija i mangana, čije promjene znatno remete tehnološki ciklus proizvodnje konvertorskog čelika. Ne mali problem kod proizvodnje konvertorskog čelika predstavljaju veća količina visokopećne troske koja prati tekuće gvoždje i velike oscilacije u kretanju količine gvoždja u mikseru.

Povećane količine visokopećne troske štetno djeluju na izdržljivost obloge miksera, otežavaju

formiranje troske na početku procesa proizvodnje, povećavaju količine dodatog kreča i remete režim duvanja kod izrade taline. Nedostatak sirovog gvoždja umanjuje zadatak miksera da izjednačuje hemijski sastav gvoždja prije ulivanja u konvertor.

3.3. Izrada čelika u konvertoru

U toku 1978. godine izradjene su i na kontu livu odlivene slijedeće vrste čelika, navedene u tabeli 3. Navedena proizvodnja ostvarena je sa prosječnom težinom taline od 119 tona i vremenom izrade jedne taline od 59 minuta. Ovi rezultati su znatno bolji od rezultata iz 1977. godine.

Isto tako, povećan je udio sirovog željeza u ulošku, tako da je u prosjeku odnos sirovo željezo — staro željezo u 1978. godini iznosio 81,6:18,4. Potrošnja osnovnih i pomoćnih materijala za proizvodnju 1 tone sirovog čelika navedena je u tabeli 4. Prema podacima iz tabele 4 proizlazi da je struktura i potrošnja uloška po toni sirovog čelika znatno povoljnija u 1978. nego u 1977. godini.

Tabela 3

Interna oznaka	Oznaka po JUS	Količina u t
OOT	—	324
OOD	—	113
Z8N	—	83,076
Z10NA	—	16,394
Z10N	—	27,610
Z13N	—	160,716
Z22N	—	119,249
Z22NG	—	28,797
35LU	—	20,612
37ND	Č 0361	3,191
37NT	Č 0361	29,769
VZN	—	460
34N	Č 0261	966
52D	—	5,088
42D	Č 0461	496
42T	Č 0460	649
St3Sp	—	2,607
C15	—	1,815
21Mn4	—	301
15Mn3	—	2,052
ČBR40	ČBR 40	68,631
52BT	—	1,754
52BD	—	912
Ukupno		603,931

Tabela 4

Vrsta uloška	1977 kg/t	kg/t 1978
Tekuće gvoždje	989,93	913,28
Staro željezo	163,82	205,66
Ukupno sirovo + staro	1153,75	1118,94
Bazicitet troske	3,5	3,5
Fe iz rude	1,75	0,48
Ukupno Fe-legura	5,56	5,78
Metalurški kreč	61,56	77,23
Boksit	10,57	4,63
Fluorit	0,99	0,65
Sitni koks	1,02	0,41
Kvarcni pijesak	4,52	2,65

Tabela 5

Red. broj	% C	% Si	% Mn	% P	% S	Primjedba
1.	3,55	0,46	2,2 — 2,8	0,075	0,043	prosječna vrijednost
2.	4,14	0,41	2,8 — 3,5	0,109	0,049	
3.	4,37	0,68	> 3,5	0,105	0,043	

Tabela 7

Vrsta uloška, temperatura, vrijeme, odnosi i izvaci	% Mn u gvoždju		
	2,2—2,8	2,8—3,5	3,5
Broj talina	10	10	10
Težina taline [t]	122	122,6	124
Temp. sirovog željeza [°C]	1288	1300	1300
Sirovo gvoždje [kg/t čelika]	876	882	861
Odnos sirovo/staro željezo	80/20	77/23	76/24
Staro željezo [kg/t čelika]	222	265	269
Ukupno sirovo + staro [kg/t čelika]	1092	1147	1120
Čisto trajanje izrade taline [min]	51	64	74
I doduvavanje [min]	1	1	1,3
II doduvavanje [min]	—	—	1
Bazicitet troske	3,8	4,5	5,5
FeO u konačnoj troski [%]	24,1	20,3	21,6
MnO u konačnoj troski [%]	20,6	19,8	20
Temp. čelika pred izliv iz konvertora [°C]	1657	1640	1653
Temp. čelika u livnom kazanu [°C]	1617	1616	1620
Metalurški kreč [kg/t čelika]	56,2	58,7	68,6
Boksit [kg/t čelika]	—	4,1	4,7
Potrošnja kisika [Nm ³ /t čelika]	50	55,8	58,2
Vučenje troske: da, ne	ne	da	da
Izvadak $\left(\frac{\text{metalni uložak}}{\text{težina taline}} \right)$ [%]	90,0	88,1	86,8

3.4. Problematika izrade konvertorskog čelika zbog visokog sadržaja mangana u gvoždju

Visok sadržaj Mn u sirovom gvoždju u uslovi-
ma proizvodnje konvertorskog čelika u Željezari
Zenica zahtijeva izradu čelika sa vučenjem troske
u toku procesa. Na osnovu literaturnih podataka
[1], prerada takvog tečnog gvoždja u kiseoničkom
konvertoru smanjuje produktivnost konvertora za
15 %.

Za ocjenu uticaja sadržaja Mn na proces izrade
čelika u kiseoničkom konvertoru u našim uslovi-
ma analizirali smo po 10 talina sa nižim, srednjim
i visokim sadržajem Mn u sirovom gvoždju. Dosa-
dašnja praksa izrade čelika pokazala je da se sa
sadržajem Mn do 2,8 % u sirovom gvoždju može
raditi bez vučenja troske u toku izrade. Zbog toga
gvoždje sa sadržajem Mn do 2,8 % možemo sma-
trati optimalnim po hemijskom sastavu u uslovi-
ma Željezare Zenica (tabela 5)

Uticaj povišenog sadržaja Mn u gvoždju (iznad
2,8 %) direktno se odražava na dužinu vremena
izrade čelika u kiseoničkom konvertoru. Na osno-
vu analize vremena izrade čelika talina sa različi-

Tabela 6

Sadržaj Mn u gvoždju %	Vreme izrade			
	čistog duvanja		čistog trajanja taline	
	min	%	min	%
2,2 — 2,8	18	100	51	100
2,8 — 3,5	27	133,3	64	125,5
3,5	27	133,3	74	145,1

tim početnim sadržajima mangana su različita i
navedena u tabeli 6.

Sadržaj Mn iznad 2,8 % zahtijeva za 33 % duže
vrijeme čistog duvanja, odnosno čistog trajanja
taline za 25—45 %. Uticaj sadržaja Mn u gvoždju
na potrošnju metalnog i nemetalnog uloška, tem-
peraturu metala i izrada prikazan je u tabeli 5.
U tabeli su navedene prosječno ostvarene vrijed-
nosti od po 10 talina za tri vrste sirovog gvoždja.

Ako se uzme za bazu gvoždje sa sadržajem Mn
do 2,8 % i uporede ostvarene vrijednosti (tabela
7) sa gvoždjem sa povišenim sadržajem Mn zapa-
žamo slijedeće:

— da je čisto trajanje taline sa povišenim sadržajem Mn znatno duže

— da su izvaci čelika, kod povišenog sadržaja Mn u gvoždju, za 2—3 % niži,

— da je povećan utrošak nemetalnih dodataka po toni čelika

— veći je utrošak kisika po toni čelika.

Prikaz potrošnje metalnog i nemetalnog uložka u kiseoničkom konvertoru, temperatura tekućeg čelika i izvatka u zavisnosti od sadržaja Mn u gvoždju dat je u tabeli 7.

ZAKLJUČCI

Na osnovu analize savremene literature (oko 65 originalnih članaka i studija) u posljednjih 10 godina je kritički pregled o ponašanju mangana u kisikovom konvertoru.

U prvom dijelu su opisani osnovni termodinamički zakoni oksidacije mangana u tečnom čeliku i njegove redukcije iz troske u uslovima konvertorskog procesa.

U drugom poglavlju su analizirani uticaji različitih tehnoloških parametara na mehanizam oksidacije i redukcije mangana.

— Pokazano je da sa porastom temperature tečnog metala pada vrijednost koeficijenta raspodjele mangana ($MnO/[Mn]$);

— Praktična iskustva su pokazala da se vrijednost odnosa, definiranog kao $\frac{(FeO) \cdot [Mn]}{(MnO)}$ u toku

proces duvanja sve više i više približava ravnotežnoj vrijednosti K_{Mn} . Njena vrijednost ovisi od bazičnosti troske.

— Na oksidaciju mangana u tečnom metalu utiče količina uduvanog kisika (Nm^3/t sirovog gvoždja). Odnos $MnO/[Mn]$ kao funkcija količine uduvanog kisika (Q_{O_2}) pokazuje maksimum kod nižih vrijednosti Q_{O_2} .

— Sa porastom sadržaja (FeO) u troski raste raspodjele mangana: $MnO/[Mn]$.

— Na kinetiku svih procesa koji se odvijaju u konvertoru utiče povećani sadržaj mangana u gvoždju neposredno preko ubrzanog procesa nastanka troske. S druge strane, veći sadržaj mangana ima znatan uticaj na sadržaj kisika, posebno kod niskih koncentracija ugljika.

Treba naglasiti da mehanizam reakcija i procesa na koje utiče povećani sadržaj mangana u gvoždju i tečnom čeliku nije još dovoljno izučen. Zato smatramo da ova dokumentalističko-progresivna studija predstavlja solidnu osnovu za daljnja istraživanja konvertorskog procesa.

— Trend porasta proizvodnje konvertorskog čelika u Željezari Zenica može biti usporen ukoliko se ne pridje efikasnijem rješavanju.

— da sadržaj Mn u sirovom željezu ne prelazi više od 3 %. U uslovima izrade sirovog željeza u

Željezari Zenica postoje svi uslovi da se ovo ostvari,

— da se napravi studija sadržaja Mn u sirovom gvoždju na tehničko-ekonomske pokazatelje izrade čelika u Konvertorskoj čeličani Željezare »Zenica«,

— da se empirijsko vođenje procesa izrade talina sve više zasniva na vlastitim istraživanjima, kao što je to navedeno u studiji,

— da organizacija održavanja postrojenja i uređaja zadovolji tražene potrebe uvođenjem nužnih rješenja i iznalaženem drugih prilaza,

— da uvođenje novih vatrostalnih materijala za livne sisteme i kazane mora biti što hitnije izvršeno,

— da se niska izdržljivost vatrostalnog ozida konvertora ozbiljno proučava zbog velikih troškova nabavke vatrostalnog materijala,

— da se problematika konti liva rješava, odnosno uzima kao sastavni dio problematike proizvodnje čelika u konvertoru.

Literatura

1. K. Buha, D. Pihura: Metalurški procesi i kemizam reakcija kod konvertorskog načina izrade čelika (I), Dokumentalističko-progresivna studija, Metalurški institut »Hasan Brkić« — Zenica, Br. 0,35/I, Šifra: DPS/36
2. J. Chipman, J. B. Gero u. T. B. Winkler: J. Metals, Trans., 188 (1959) S. 341/45.
3. I. S. Kulikov: Raskislenje metallov, Izd. »Metallurgija« (1975), Moskva
4. L. I. Vladimirov, et. al.: Žur. Fiz. — Him. 3 (1973) S. 548 do 551
5. O. Janke, W. A. Fischer: Arch. Eisenhüttenwes., Nr. 3 (1976) S. 147—151
6. Y. Kawai, K. Mori: Equilibrium and Kinetics of Slag-Metal Reactions, Transactions ISIJ, Vol. 13 (1973) S. 303—317
7. W. A. Fischer, H. J. Fleischer: Archiv f. Eisenhüttenwes., 36 (1965) S. 791.
8. W. A. Fischer, P. W. Bardenheuer: Archiv F. Eisenhüttenwes., 39 (1968) S. 637
9. H. Schenck, M. G. Froberg, T. El. Gammal: Archiv f. Eisenhüttenwes., 31 (1960) S. 567
10. A. N. Glazov, et al.: Stal 9 (1978) S. 796—800
11. H. von Ende et al.: Arch. f. Eisenhüttenwes., H. 3 (1968) S. 177—185
12. S. V. Kominov et al.: Izv. VUZ Černaja metallurg. 7 (1976) S. 45—50
13. E. Plöckinger, M. Wahlster: Stahl, u. Eisen 80 (1960) S. 407—416 ibid. Tech. Mitt. Krupp. 17 (1959) S. 259—305
14. G. W. Perbix: Journal of Metals 7 (1966) S. 824—831
15. A. F. Miscimov: Stal 10 (1965) S. 897—906
16. V. I. Javojski et al.: Izvestija Akad. Nauk SSSR, Metally, No. 3 (1967) S. 15—22
17. Ph. Catoul, J. Hancart: C. R. M., No. 41, Decemb. (1974) S. 11—18
18. A. Jacquemont et al.: Revue de Metallurgie 7—8 (1976) S. 537—548
19. T. Saeki et al.: Trans. ISIJ, Vol 18 (1978) S. 501—509
20. V. P. Nogtev et al.: Stal 7 (1978) S. 597—599
21. R. Boom, N. Halberg: Stahl u. Eisen, No. 22, 2. Nov. (1978) S. 1133—1138

ZUSAMMENFASSUNG

Auf Grund der Analyse der zeitgenössischen Fachliteratur (rund 65 Artikel und Studien) der letzten zehn Jahre wird eine kritische Übersicht über das Betragen von Mangan im Sauerstoffblaskonverter gegeben.

Im ersten Teil werden die thermodynamischen Gesetze der Oxydation von Mangan im flüssigen Stahl und dessen Reduktion aus der Schlacke unter den Bedingungen des Konverterverfahrens beschrieben.

Im zweiten Teil werden die Einflüsse verschiedener technologischer Parameter auf den Mechanismus der Oxydation und Reduktion von Mangan analysiert.

Es wird gezeigt, dass mit dem Anstieg der Badtemperatur der Wert des Verteilungskoeffizienten für Mangan $(\text{MnO})/[\text{Mn}]$ fällt.

Praktische Erfahrungen zeigten, dass sich der Wert des Verhältnisses, definiert als $\frac{(\text{FeO}) \cdot [\text{Mn}]}{(\text{MnO})}$ im Laufe des Sauerstoffblasens mehr und mehr dem Gleichgewichtswert KMn nähert. Dieser Wert ist von der Schlackenbasizität abhängig.

— Die Oxydation von Mangan im Bad ist von der Menge des eingeblasenen Sauerstoffes Nm^3/t Roheisen abhängig. Das Verhältnis $(\text{MnO})/\text{Mn}$ als Funktion der eingeblasenen Sauerstoffmenge (Q_{O_2}) zeigt sein Maximum bei kleineren Q_{O_2} Werten.

— Mit dem Zuwachs von FeO in der Schlacke wächst der Verhältnis der Manganverteilung $(\text{MnO})/[\text{Mn}]$.

— Der höhere Mangangehalt im Roheisen beeinflusst alle im Konverter verlaufenden Prozesse unmittelbar über die schnelle Schlackenbildung. Andererseits hat ein höherer

Mangangehalt einen starken Einfluss auf den Sauerstoffgehalt besonders bei kohlenstoffarmen Stahlsorten.

Es ist zu betonen, dass der Mechanismus der Reaktionen und Prozesse die von höherem Mangangehalt im Roheisen und Stahlbad beeinflusst werden, noch nicht genügend erforscht ist. Unserer Meinung nach stellt diese Studie eine solide Grundlage für weitere Forschungen des Konverterprozesses dar.

Trend des Produktionszuwachses an Konverterstahl im Stahlwerk Zenica kann verlangsamt werden inwieviel die Probleme nicht wirkungsvoller gelöst werden:

— dass der Mangangehalt im Roheisen die Grenze von 2,8 % nicht übersteigt. Im Hüttenwerk Zenica sind alle Bedingungen für die Erzielung dieses Zieles gegeben,

— eine Studie über den Einfluss von Mangan im Stahlroheisen auf die technisch-ökonomischen Parameter der Stahlerzeugung im Konverterstahlwerk des Hüttenwerkes Zenica ist auszuarbeiten,

— dass die Instandhaltung den Bedürfnissen des Stahlwerkes durch Einführung nötiger Lösungen und anderer Eingriffe genügt,

— die Einführung neuer feuerfesten Stoffe für die Pfannen und Giesssysteme ist so schnell wie möglich zu vollführen,

— die schlechte Halbarkeit der feuerfesten Zustellung von Konverter ist wegen der hohen Kosten für das feuerfeste Material gründlich zu erforschen,

— die Problematik der Stranggiessanlage ist als ein Bestandteil der Problematik der Stahlerzeugung im Konverter zu betrachten und soll mit der zusammen gelöst werden.

SUMMARY

Based on the analysis of the up-to-date references (about 65 original papers and studies) in the last 10 years a critical review of behaviour of manganese in the oxygen converter is presented. The first part treats the basic thermodynamic laws of the oxidation of manganese in molten steel and its reduction from the slag under the conditions of the converter process.

In the second chapter the analysis of the influences of various technological parameters on the mechanism of oxidation and reduction of manganese is given.

— It is shown that the value of the distribution coefficient of manganese $(\text{MnO})/[\text{Mn}]$ is reduced with the increased temperature of molten metal,

— Practical experiences showed that the value of the ratio $\frac{(\text{FeO}) \cdot [\text{Mn}]}{(\text{MnO})}$ is approaching more and more to the equilibrium value KMn during the blowing process. Its value depends on the slag basicity.

— The oxidation of manganese in molten metal is influenced by the amount of blown oxygen (m^3/t raw steel at N. T. P.). $(\text{MnO})/[\text{Mn}]$ ratio as the function of blown oxygen (Q_{O_2}) shows maximum value at low Q_{O_2} values.

— Increased (FeO) content in slag increases the manganese distribution coefficient $(\text{MnO})/[\text{Mn}]$.

— The kinetics of all these processes in the converter is influenced by the increased amount of manganese in iron directly by the accelerated process of the slag formation. On the other hand, the increased manganese content has an essential influence on the oxygen content, especially at low carbon concentrations.

It is necessary to stress that the mechanism of reactions and processes influenced by the increased manganese content in iron and molten steel is not yet enough explained. Thus we are of the opinion that the presented review gives a solid basis for the further investigations of the converter process.

Tendency of the increased production of converter steel in Zenica Steelworks will start to decline if the following problems will not be efficiently solved:

— Mn content in pig iron should not exceed 2.8 %. In the production cycle of pig iron production in the Zenica Steelworks all the conditions exist to achieve this,

— analysis of the influence of manganese content in pig iron must be made in order to clarify the technical and economical parameters for manufacturing steel in the Converter Steel Plant of the Zenica Steelworks,

— the organization of the equipment maintenance must enable the introduction of necessary solutions and other measures,

— the introduction of new refractory materials for the casting systems and ladles must be achieved at the fastest,

— influences on the low life of converter lining must be analyzed in order to reduce the maintenance cost of the refractory material,

— the problematics of continuous casting must be solved or it must be taken as a part of the converter steel-making problematics.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании рассмотрения современной научной литературы (прибл. 65 оригинальных статей и научных трактатов) последних 10-ти лет подан критический обзор о поведении марганца в кислородном конвертере.

В первой части работы описаны основные термодинамические законы окисления марганца в жидкой стали и его восстановление из шлака при условиях процесса в конвертере. В другой части работы рассмотрены влияния различных технологических параметров на механизм окисления и восстановления марганца. Установлено, что с повышением t -ры жидкого металла уменьшается значение коэффициента распределения марганца $(MnO)/[Mn]$. Практические опыты показали, что значение отношения $\frac{(FeO) \cdot [Mn]}{(MnO)}$ во время процесса продувания все больше приближается значению равновесия K_{Mn} .

Это значение зависит от основности шлака.

На окисление марганца в жидком металле влияет количество продутого кислорода $(Nm^3/T \text{ чугуна})$. Отношение $(MnO)/[Mn]$ как функция количества продутого кислорода (Q_{O_2}) максимальное при низких значениях (Q_{O_2}) .

С увеличением содержания (FeO) в шлаке отношение распределения марганца $(MnO)/[Mn]$ увеличивается.

На кинетику всех процессов, которые происходят в конвертере влияет увеличенное содержание марганца в металле непосредственно при ускоренном процессе образования шлака. С другой стороны, более высокое содержание марганца имеет значительное влияние на содержание кислорода в особенности при низких концентрациях углерода. Надо подчеркнуть, что механизм реакции и процесса на которые влияет увеличение содержание

марганца в жидком чугуне и в жидкой стали пока ещё недостаточно исследован. Поэтому можно принять, что этот документально-прогрессивный научный трактат представляет собой солидное основание для дальнейшего исследования процесса расплавления в конвертере.

Может случиться, что направление развития увеличения производства стали в металлургическом заводе Зеница окажется в замедлении, если не будет выполнен переход к более эффективным решениям, а именно:

— содержание марганца в чугуне не должно превышать 2,8 %. Для осуществления этого в металлургическом заводе Зеница, что касается производства чугуна, имеются все условия;

— надо приготовить научное исследование о влиянии содержания марганца в чугуне на технические и экономические показатели изготовления стали в конвертерном сталеплавильном цехе металлургического завода Зеница;

— необходимо, чтобы организация поддержания сооружений и оборудования удовлетворяла требованиям для введения необходимых решений и поощряла к находчивости новых методов;

— для заливочной системы и ковша надо немедленно ввести новые сорта огнеупорного материала;

— из-за высоких расходов на поставку огнеупорного материала надо основательно изучить низкую устойчивость этого огнеупорного материала для футеровки конвертера;

— надо продолжать с рассмотрением проблематики непрерывного литья, т.е. эта проблематика должна считаться как составная часть проблематики производства стали в конвертере.