



Продувочные процессы в сталеплавильных технологиях. Плавка

V. B. Okhotskij /Dr. Sci. (Tech.)/,
A. G. Velichko /Dr. Sci. (Tech.), Liu Tian Yi,
L. S. Molchanov /Cand. Sci. (Tech.)/

National Metallurgical Academy of Ukraine

Blowing processes in steelmaking technology. Melting

Статья посвящена обобщению производственного опыта применения кислородной продувки при выплавке стали в конвертерах и подовых агрегатах. Целью данной работы является комплексный анализ особенностей продувки металлической ванны кислородом и выявление их влияния на основные технологические показатели процесса производства стали. Проведенный анализ базируется на обширной базе производственных данных. Полученные результаты представляют интерес для практики металлургического производства, поскольку позволяют выявить основные тенденции процессов производства стали с применением кислородной продувки в конвертерах различной емкости. (Табл. 11. Библиогр.: 7 назв.)

Ключевые слова: производство стали, подовый плавильный агрегат, кислородный конвертер, продувка, технологические показатели.

1. История и состояние вопроса. В истории продувочных процессов можно выделить несколько последовательных этапов: воздушная продувка в бессемеровских (Б) и томасовских (Т) конвертерах снизу, в малобессемеровских (МБ) сбоку; кислородных сверху (ВК) и снизу (ДК) и комбинированные (КК). Продувочными процессами с применением комбинированной продувки ванны на данный момент выплавляется до 80 % всей конвертерной стали, но в странах СНГ они не вышли на режим постоянной эксплуатации.

Комбинированная продувка процессом VAR с донной продувкой воздухом и азотом при контроле уровня шума позволила повысить долю плавок без выбросов с 17 до 60 % [1]. В ККЦ ДМК с использованием акустического контроля установили, что вспенивающее воздействие углеродсодержащих материалов на шлак увеличивается к концу комбинированной продувки [2], а увеличение их удельного расхода с 4 до 18 кг/т позволяет сэкономить 15–30 кг/т чугуна [3]. В условиях ККЦ МКА с использованием акустической характеристики процесса своевременный перевод кислородной фурмы из начального в номинальное положение позволил снизить долю плавок со скачиванием промежуточного шлака на порядок величины [4].

В работе [5] систематизированы отечественные и зарубежные исследования степени дожигания CO до CO₂ при применении дутьевых устройств различной конструкции. Показана максимизация доли перерабатываемого лома

при оптимальной величине расхода кислорода через верхний ярус двухъярусной фурмы – 18 %. При данной конструкции дутьевого устройства (количество сопел – n_c , их критический $d_{кр}$ и выходной d_{ex} диаметры, расход кислорода на одно сопло q и на фурму $J = n_c \cdot q$) переменной характеристикой, определяющей взаимодействие дутья с ванной, остается только расстояние сопел (фурмы) от уровня спокойной ванны h . Если h измеряется по вертикали, то расстояние до встречи струи с ванной $h_a = h \cdot \cos \alpha$.

В табл. 1 приведена величина h для зарубежных сталеплавильных цехов по литературным данным, где M , m – импульсы расходов J и q ; ρ_m – плотность металла; g – ускорение свободного падения. Все они имеют более или менее выраженный статистический характер. Известный теоретик из Высшей школы в Дельфте (Нидерланды) проф. J. Ede Graaf на Congres International sur Les Acieris a Uoxygen (Франция, 1963) так сформулировал результаты своих поисков: «В пределах ошибок мы всегда находили, что различные комбинации параметров струи..., которые приводят к одному и тому же содержанию железа в шлаке, сопровождаются одинаковой вероятностью затронуть донную часть конвертера».

По выражению (6.112) [6] рассчитана глубина погружения кислородной струи в ванну, а отношение L/h_b представлено в табл. 2 в зависимости от садки конвертера T . Для данной группы конвертеров оно колеблется в определенном диапазоне, причем средняя их величина приближается к 1.

Параметры работы дутьевых устройств

Год	Страна	Выражение	Авторы
1964	USA	$h_{\phi} = 12,95[q_{O_2} / d_{KP}^{0,8}]^{-0,686}$	G. C. Snith, D. A. Duhelow
1978	Отеч.	$h_{\phi} = [4(-4)]^{2/5}$	Р. В. Старов
1980	Отеч.	$h_{min} = 0,785 + 1,35(-3)J - 3,5(-7)J^2$	И. Л. Яновский
1988	India	$h_{\phi} = 2,426(\dot{m} / \rho_{mг})^{1/3}$	S. Koria

Таблица 2

Величина отношения L/h_{ϕ} для конвертеров различной садки

Источник	T, т	0,03-0,10	0,10-0,30	0,30-	1-3	3-10	10-30	30-100	100-300	>300
Отеч. произ.	-	0,7-1,8 1,25/2	-	0,7-0,8 0,75	-	1-1,4 1,2/2	0,9-1,8 1,2/8	0,9-1,5 1,1/6	0,5-1,9 1,0/11	1-1,1 1,05/2
Загран. произ.	-	0,8-1,1 0,95/2	1,0 1,0/1	-	1,6 1,6/1	0,7-1,3 0,9/3	0,8-1,0 0,9/2	0,5-1,2 0,9/5	0,5-1,4 0,81/3	0,7 0,7/1

2. Продувка сверху через вынесенное сопло. При использовании в плавке твердой металлошхты (МШ) ее плавление определяет продолжительность плавки. Авторам в прошлом известны случаи, когда на заключительной повалке конвертера в области днища обнаруживался приварившийся кусок лома, а при выпуске плавки из мартеновской печи МП он обнаруживался на подине.

В табл. 3 приведены литературные данные о динамике плавления лома (Л) и твердого чугуна (ЧТ) в конвертере верхнего дутья (табл. 3а) и мартеновских печей МП (табл. 3б), в том числе при продувке ванны кислородом. Величина числа Фурье ($F_o = \alpha t / t^2$), определялась при теплопроводности плавящегося металла $\alpha = 0,065 \text{ см}^2/\text{с}$ и величине характерного размера - толщины ванны $t = T / \rho_{\text{тв}} S$ ($\rho_{\text{тв}}$ - плотность твердого металла, $\text{кг}/\text{м}^3$; S - площадь ванны, м^2).

Доля расплавленного твердого лома $D_{\text{пл}} = 1$ при величине F_o , уменьшающейся с ростом ин-

тенсивности перемешивания ванны, в частности в результате увеличения интенсивности продувки в конвертере (табл. 3а) и продувки ванны в мартеновской печи МП (табл. 3б).

Анализ закономерностей продувки металла в конвертерах показал, что возможно фиксирование времени от начала продувки до окончания начального периода, по акустической характеристике - τ_1 ; продолжительности достижения минимального содержания оксидов железа в шлаке (FeO_{min}) - τ_2 ; выбросам шлака - τ_3 ; достижению максимальной скорости окисления углерода ($V_{\text{с max}}$) - τ_4 ; достижению максимальной высоты вспененного шлака (h_{max}) - τ_5 . Все эти характерные моменты продувки сегодня могут быть зафиксированы приборными методами, но в данном исследовании зафиксированы в ручном режиме для 28-35-т конвертеров - ДЗП, 55-т - КМЗ-1 и 120-т - КМЗ-2. Моментам τ_1 - τ_4 соответствовала интегральная основность шлака B_1 - B_4 , где $B_i \equiv (\text{CaO} + \text{MgO} + \text{MnO}) / (\text{SiO}_2 + \text{P}_2\text{O}_5 + \text{Al}_2\text{O}_3)$.

Таблица 3а

Динамика плавления МШ в КК

Страна, завод	T, т	Вид МШ	i_{O_2}	Fö				Дпл = 1 при Fö
				<0,01	0,01-0,03	0,03-0,10	>0,10	
КМЗ-1	55	Л	-	-	-	0,25	0,65	0,195
КМЗ-1	55	Л	2,8	-	-	0,34	0,90	0,164
ЧТМЗ	10	Л	4,0	-	0,22	0,64	0,94	0,058
ЧТМЗ	"	"	9,0	0,10	0,37	1,00	-	0,034
ЧТМЗ	"	"	10,0	0,12	0,58	-	-	0,027

Таблица 3б

Динамика плавления МШ в МП

Завод	T, т	Прод. O ₂	F ö					Дпл = 1 при Fö
			<0,1	0,1-0,2	0,2-0,3	0,3-0,4	>0,4	
МКИ	650	-	0,51	0,71	0,94	1,0	-	0,278
ММК	380	-	0,51	0,80	0,92	0,99	1,0	0,450
ММК	380	+	0,74	0,88	0,95	1,0	-	0,230

СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Для высоты вспененного шлака рассчитывались $\bar{h}_1 \equiv h_{\max} / H_K$, $\bar{h}_2 \equiv h_{ex} / H_K$, где h_{ex} – высота шлака и металла при выбросах. В табл. 4 приведены данные параметры для промышленных конвертеров при заметно ограниченном $Si_{\text{ч}}$, тем не менее, это позволяет установить, что с его ростом продолжительность начального периода увеличивается для 1-т конвертера, но аннулируется для больших. Величина $(FeO)_{\min}$ минимизируется позже (τ_2), с увеличением садки конвертера. Соответственно позже наступают выбросы (τ_3). Их доля D_{EX} (знаменатель) с ростом садки стабильно уменьшается при $Si_{\text{ч}} < 0,6\%$, но при $Si_{\text{ч}} > 0,9\%$ они неизбежны. Скорость окисления углерода и высота вспененного шлака максимизируются во вторую половину продувки, и вторая чаще позже, как следствие первой. Основность шлака в характерных точках близка к соответствующей для образования соединения $2CaO \cdot SiO_2$, появление которого в шлаке способствует вспениванию при малых его количествах и сворачиванию – при больших.

Величины \bar{h}_1 и \bar{h}_2 близки между собой, но, как и в лабораторном конвертере, выбросы чаще происходят при $\bar{h}_2 < \bar{h}_1$, так как для этого нужно не только вспенивание, но и неравномерное окисление углерода, возникающее при хо-

лодном процессе, накопление в шлаке оксидов железа и их хаотическое расходование через интервалы времени, соизмеримые с периодичностью образования газовых объемов в зоне взаимодействия дутьевой струи с ванной. На такой «маятниковый» характер процесса окисления углерода указано в работах [7; 8].

В табл. 5 по литературным и данным авторов показано влияние t_b , °C, на коэффициент усвоения кислорода дутья на обезуглероживание η_c . Чаще всего $\eta_c \approx 1$ при температуре 1400 °C, что связано с достижением равновесия в соответствии с реакцией:



3. Продувка под уровень. В табл. 6 представлены процессы с продувкой под уровень. Их коэффициент усвоения кислорода на обезуглероживание достигает $q_c \approx 1$ на границе $t \approx 1400$ °C. Исключение составляет 45-т томасовский конвертер из-за ограниченного количества проб на плавке.

Фактический показатель распределения K для процессов бессемерования, малого бессемерования, томасования и ОВМ соответствует расчетному при $t_b = 1300-1400$ °C, а для бесфлюсового окисления в 0,5-т конвертере – при

Таблица 4

Зависимость параметров продувки в конвертерах верхнего дутья от $Si_{\text{ч}}$

Конвертер	<0,6 $Si_{\text{ч}}$						0,6–0,9 $Si_{\text{ч}}$						>0,9 $Si_{\text{ч}}$					
	τ_1	τ_2	τ_3	B_1	B_2	B_3	τ_1	τ_2	τ_3	B_1	B_2	B_3	τ_1	τ_2	τ_3	B_1	B_2	B_3
1 т	1,1	6,5	$\frac{4,8}{51^*}$	1,6	2,0	2,8	2,3	6,4	$\frac{4,2}{41}$	1,5	1,9	1,9	2,7	6,3	$\frac{4,6}{50}$	1,8	2,1	2,4
28–35 т	0	5,9	$\frac{6,8}{35}$	-	2,0	2,1	0	3,1	$\frac{6,0}{24}$	-	1,9	1,9	-	-	-	-	-	-
55 т	0	3,8	$\frac{10,7}{33}$	-	1,6	2,1	0	5,4	$\frac{9,0}{67}$	-	1,6	1,9	-	-	-	-	-	-
120 т	0	6,9	$\frac{9,6}{14}$	-	1,9	2,0	$\frac{3,9}{11}$	8,1	11,8	1,3	1,9	1,9	-	$\frac{10}{100}$	-	-	1,6	-

Конвертер, т	τ_4	τ_5	B_4	\bar{h}_1	\bar{h}_2	τ_4	τ_5	B_4	\bar{h}_1	\bar{h}_2	τ_4	τ_5	B_4	\bar{h}_1	\bar{h}_2
1	8,7	7,7	2,5	$\frac{0,38-0,67}{0,51}$	$\frac{1,31-0,65}{0,47}$	6,7	6,4	2,1	$\frac{0,37-0,65}{0,54}$	$\frac{0,33-0,65}{0,52}$	5,5	7,7	2,37	$\frac{0,45-0,84}{0,61}$	$\frac{0,51-0,65}{0,59}$
28–35	6,3	10,0	2,2	$\frac{0,42-0,80}{0,62}$	$\frac{0,49-0,62}{0,56}$	8,8	9,6	2,0	$\frac{0,57-0,80}{0,68}$	$\frac{0,51-0,57}{0,54}$	-	-	-	-	-
120	8,4	10,5	2,0	$\frac{0,45-0,97}{0,62}$	-	8,5	10,3	1,8	$\frac{0,50-0,80}{0,61}$	$\frac{0,47-1,20}{0,65}$	9,4	8,5	1,6	$\frac{0,64-0,67}{0,65}$	-

Таблица 5

Усвоение кислорода верхнего дутья (η_c)

Конвертер, т	t_b , °C					
	1100–1200	1200–1300	1300–1400	1400–1500	1500–1600	1600–1700
1	-	0–0,64	0,45–1,04	0,08–2,09	0,23–0,77	0,33–0,73
3	-	0,15–0,72	0,21–0,84	0,21–0,84	1,23	-
28	-	0,29–0,69	0,14–0,95	0,46–2,10	0,38–1,10	0,72–1,00
140	0,08–0,38	0,08–0,98	0,20–1,11	0,85–1,30	0,78–1,70	0,52–0,91

Усвоение кислорода при продувке под уровень (h_c)

Процесс	$t_{br}, ^\circ\text{C}$					
	1100-1200	1200-1300	1300-1400	1400-1500	1500-1600	1600-1700
Б	-	0-0,06	0,04-0,58	0,64-0,95	0,35-1,18	0,49-1,08
МБ	-	0-0,04	0-0,68	0,09-1,00	0,17-1,18	1,00
T(50 кг)	0,11-0,20	0,17-0,73	0,12-1,02	0,26-1,10	-	-
T(45 т)	0,17-0,30	0,24-0,33	0,27-0,43	0,22	-	-

$t_b = 1400-1500$ °С. Экспериментальные данные для процесса АОД находятся при более высоких температурах, и для него вопрос о соответствии остается открытым.

В конвертерах ККЦ ДМК сравнили для верхней и комбинированной продувки параметры дутьевого режима. В табл. 7а ход продувки характеризуется удельным расходом кислорода $V_{O_2}, \text{ м}^3/\text{т}$, для которого усреднены $\bar{h}_{\phi} \equiv h_{\phi}^k / h_{\phi}^b$ и расход кислорода $\bar{J}_1 \equiv J_k / J_b$, где h_{ϕ}^k, h_{ϕ}^b - высота фурмы в номинальном режиме продувки комбинированно и сверху; то же - расход O_2 на форму J (табл. 7а). Если в первой трети продувки \bar{h}_{ϕ} и \bar{J} близки к 1, то в дальнейшем $\bar{h}_{\phi} < 1$, а $\bar{J} > 1$, так как верхняя продувка превосходит комбинированную по тепловыделению.

В табл. 7б представлены данные об изменении содержания углерода в металле C_k и оксидов железа в шлаке в ходе продувки и отношения $\bar{S}_i \equiv S_{ik} / S_{ib}$ и $\bar{M}_n \equiv M_{nik} / M_{niv}$. Окислительные процессы при комбинированной продувке идут быстрее, чем при верхней уже после 20-25 % продутого кислорода. Величина $\bar{S}_i \rightarrow 0$, а $\bar{M}_n - 0,5-1,0$.

4. Дефосфорация. Удаление фосфора из металла идет в соответствии с уравнением реакции:

Таблица 7а

Сравнение дутьевых режимов верхней и комбинированной продувки в ККЦ ДМК

$V_{O_2}, \text{ м}^3/\text{т}$	0	8	16	24	32	40	48
\bar{h}_{ϕ}	0,97	1,06	1,0	0,83	0,78	0,82	0,82
\bar{J}_{O_2}	1,06	1,06	1,17	1,28	1,48	1,42	1,42

$$\bar{h}_{\phi} \equiv h_{\phi}^{\text{комб}} / h_{\phi}^{\text{верх}} \quad \bar{J}_{O_2} \equiv J_{V_2}^{\text{комб}} / J_{O_2}^{\text{верх}}$$

Таблица 7б

Окислительные процессы при верхней и комбинированной продувке в ККЦ ДМК

$V_{O_2}, \text{ м}^3/\text{т}$	0	16	26	36	46	52	56	64
$C_k, \%$	4,4	2,5	1,8	1,0	0,15	-	0,05	0,03
$FeO_k, \%$	-	15	15	15	16	-	25	30
\bar{S}_i	1,02	0,17	0,10	0	-	-	-	-
\bar{M}_n	1,45	0,67	0,59	0,57	0,54	1,0	-	-

$$\bar{S}_i \equiv S_{i, \text{комб}} / S_{i, \text{верх}} \quad \bar{M}_n \equiv M_{n, \text{комб}} / M_{n, \text{верх}}$$



откуда:

$$F_p \equiv L_p / (\text{FeO})^{5/2}, \quad (3)$$

где $L_p \equiv (p) / [p]$.

В 28-т конвертере верхнего дутья ДЗП величина F_p резко увеличивается при 47-49 % CaO, близких к концентрации насыщения и росте суммы кислых оксидов Sa, уменьшающих окисленность шлака.

При передувке фосфористого чугуна на КарМК с разной удельной интенсивностью i_c ($\text{м}^3\text{O}_2/\text{т}$ чугуна · мин) величина L_p максимизируется, чаще всего при 0,05-0,06 % C (табл. 8). В широком диапазоне конечной интегральной основности B_n величина L_p растет с уменьшением окисленности шлака (табл. 9).

В табл. 11 сумма кислых оксидов представляет ход продувки, в процессе которой изменяются CaO и F_p , включая параметры передувки (знаменатель). В приведенных примерах указанная величина изменяется в широком диапазоне порядка величины: 10^{-3} (ДМК) - 10^{-1} (т). Сегодня в

Таблица 8

Зависимость L_p от параметров передувки в ККЦ КарМК

i_c / $10^2 C_1$	3-4	5-6	7-8	9-10	11-12	13-14
<2,6	142	161	134	-	-	176
2,6-2,8	156	171	-	122	-	125
2,8-3,0	144	180	153	209	91	70
3,0-3,2	140	148	151	170	-	-
3,2-3,4	121	166	98	198	136	-
3,4-3,6	148	152	149	-	-	-
3,6-3,8	171	-	155	-	-	-
>3,8	163	140	112	172	166	-

Таблица 9

Зависимость L_p от состава конечного шлака в ККЦ КарМК

B_1 / FeO_1	<15	15-20	20-25	25-30	30-35	>35
<3	166	165	194	145	195	-
3-3,5	171	159	138	126	-	-
3,5-4	175	148	134	138	143	194
4-4,5	-	156	107	105	119	-
4,5-5	-	164	114	119	-	-
>5	-	134	-	-	-	-

СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

сталеплавильных технологиях возникает проблема фосфора в связи с рефосфорацией, особенно при доводке в ковше. Поэтому нецелесообразно значительно передувать металл в конвертере, а останавливать продувку на достаточно высокой величине F_p , как это сделано, например, в 15-т конвертере LD-AC (Германия) (табл. 10).

5. Десульфурация. Десульфурация может быть описана уравнением:



откуда показатель распределения будет:

$$F_s \equiv L_s(Fe). \quad (5)$$

Изменение величины F_s в ходе продувки в конвертерах ряда ККЦ Украины в зависимости от $\sum a$ представлено в табл. 11, составленной по данным, имеющимся у авторов. Уменьшение содержания кислых оксидов увеличивает концентрацию анионов кислорода (O^{2-}) и сдвигает равновесие реакции:



вправо, что увеличивает F_s (табл. 11).

6. Подовые агрегаты. Данные о параметрах продувки в подовых агрегатах (МП, ДСПА, ЭДП) представлены в табл. 12 (числитель - про-

Таблица 10

Закономерности дефосфорации в конвертерных процессах

Агрегат	Параметр	$\sum a, \%$							
		>40	35-40	30-35	25-30	20-25	15-20	10-15	<10
Т	CaO	<u>41</u>	<u>42</u>	<u>39</u>	<u>42</u>	<u>42</u>	<u>53</u>	<u>69</u>	-
	Fp	<u>0,027</u>	<u>0,047</u>	<u>0,028</u>	<u>0,039</u>	<u>0,021</u>	<u>0,060</u>	<u>0,117</u>	-
НКК ДМетИ	CaO	-	-	27	33	40	-	-	-
	Fp	-	-	0,060	0,030	0,026	-	-	-
8т КК НТМЗ	CaO	-	<u>40</u>	<u>39</u>	-	-	-	-	-
	Fp	-	<u>0,040</u>	<u>0,030</u>	-	-	-	-	-
28-35-т КК ДЗП	CaO	-	<u>40</u>	<u>37</u>	<u>38</u>	<u>39</u>	<u>50</u>	<u>45</u>	-
	Fp	-	<u>0,065</u>	<u>0,042</u>	<u>0,047</u>	<u>0,058</u>	<u>0,055</u>	<u>0,033</u>	-
55т КК КМЗ-1	CaO	-	38	42	41	45	51	-	-
	Fp	-	0,017	0,034	0,059	0,038	0,032	-	-
120тКК КМЗ-2	CaO	-	31	39	40	61	51	-	-
	Fp	-	0,016	0,032	0,038	0,080	0,040	-	-
30т LD Austria	CaO	-	-	-	-	-	<u>47</u>	<u>46</u>	-
	Fp	-	-	-	-	-	<u>0,079</u>	<u>0,063</u>	-
200 тLD G	CaO	-	-	-	-	-	<u>45</u>	<u>51</u>	<u>62</u>
	Fp	-	-	-	-	-	<u>0,039</u>	<u>0,045</u>	<u>0,004</u>
250тКК ДМК	CaO	-	-	-	38	30	-	36	-
	Fp	-	-	-	0,016	0,003	-	0,003	-
15 т LD-AC G	CaO	-	-	24	50	45	44	-	-
	Fp	-	-	0,127	0,211	0,130	0,094	-	-

Числитель - продувка, знаменатель - передув $F_p = L_p/Fe^{5/2} F_c = L_s(FeO)$.

Таблица 11

Величина F_s в ходе продувки в конвертере

ККЦ	$\sum a$					
	>35	30-35	25-30	20-25	15-20	<15
ДЗП	40	41	71	97	159	239
КМЗ-1	27	34	39	88	152	-
КМЗ-2	37	39	42	70	115	151

$F_s = L_s(FeO)$.

дувка, знаменатель – передув). Несмотря на разницу в порядок величины скорости рафинирования, величины F_p и F_s одного порядка в подовых агрегатах и конвертерах. В ходе плавки с уменьшением S_a содержание оксида кальция в шлаке растет не всегда, что вызывает отклонения и в поведении F_p и F_s .

Таблица 12

Параметры рафинирования в подовых агрегатах

Агрегат	Параметр	$\sum a, \%$				
		>35	30–35	25–30	20–25	<20
МП GBr	CaO	-	<u>49</u>	<u>49</u>	<u>48</u>	<u>47</u>
	Fp	-	-	-	<u>48</u>	<u>44</u>
	Fs	-	-	<u>0,576</u>	<u>0,403</u>	<u>0,269</u>
ДСПА RSA P-чугун	CaO	-	-	-	<u>0,080</u>	<u>0,104</u>
	Fp	-	-	<u>55</u>	<u>68</u>	<u>88</u>
	Fs	-	-	-	<u>146</u>	<u>112</u>
МП ММК Б/02	CaO	-	-	31	36	40
	Fp	-	-	40	114	59
	Fs	-	-	39	-	-
ДСПА ММК	CaO	-	39	42	-	-
	Fp	-	0,073	0,069	-	-
	Fs	-	7	12	-	-
МП ДГЗ с O ₂	CaO	-	-	27	33	-
	Fp	-	-	0,045	0,046	-
	Fs	-	-	30	33	-
ЭДП P-чугун с O ₂	CaO п.з. о.в.	-	-	<u>40</u>	<u>36</u>	<u>39</u>
	Fs п.з. о.в.	-	-	<u>40</u>	<u>38</u>	<u>39</u>
		-	-	<u>14</u>	<u>22</u>	<u>18</u>
ЭДП P-чугун с O ₂	CaO	47	-	-	-	-
	Fp	0,235	-	-	-	-

Числитель – продувка, знаменатель – передув.

Выводы. Проведен комплексный анализ различных технологических способов производства стали в конвертерах и подовых агрегатах с применением кислорода. Установлены основные закономерности протекания рафинировочных процессов при продувке металлической ванны кислородом в и сталеплавильных агрегатах различной садки.

Определено, что к наиболее значимым факторам, влияющим на технологическую эффективность процессов производства стали, можно отнести изменение состава исходного сырья (шихтовых материалов) и условий окончания продувки (конечной температуры расплава и содержания в нем углерода).

Библиографический список / References

1. Baker R., Nortmonton A. S., Spencely G. P., Atkinson R. Bath agitation in basic oxygen steel-making // Ironmaking and Steelmaking. 1980, no. 5, pp. 227-238.
2. Охотский В. Б. Влияние добавок углеродсодержащих материалов на вспенивание конвертерного шлака / В. Б. Охотский, А. Д. Зражев-

ский, Л. М. Учитель, В. В. Рубан // Металлургия и горнорудная промышленность. – 1989 – № 2. – С. 14-15.

Ohotskiy V. B., Zrazhevskiy A. D., Uchitel L. M., Ruban V. V. Vliyaniye dobavok uglerodsoderzhaschih materialov na vspenivaniye konverternogo shlaka. Metallurgiya i gornorudnaya promyishlennost. 1989, no. 2, pp. 14-15.

3. Зражевский А. Д. Выплавка стали в конвертерах с пониженным расходом чугуна / А. Д. Зражевский, В. В. Смоктий, Л. М. Учитель [и др.] // Сталь. – 1989. – № 2. – С. 27-29.

Zrazhevskiy A. D., Smoktiy V. V., Uchitel L. M. et al. Vyiplavka stali v konverterah s ponizhennym rashodom chu-guna. Stal. 1989, no. 2, pp. 27-29.

4. Охотский В. Б. Скачивание шлака из конвертера / В. Б. Охотский, А. С. Плискановский, В. С. Харахулах [и др.] // Сталь. – 1988. – № 5. – С. 21-23.

Ohotskiy V. B., Pliskanovskiy A. S., Harahulah V. S. et al. Skachivaniye shlaka iz konvertera. Stal. 1988, no. 5, pp. 21-23.

5. Смоктий В. В. Комбинированные процессы выплавки стали в конвертерах / В. В. Смоктий, В. В. Лапицкий, Э. С. Белокуров. – Киев: Техніка, 1992. – 163с.

Smoktiy V. V., Lapitskiy V. V., Belokurov E. S. Kombinirovannyye protsessyi vyiplavki stali v konverterah. Kiyiv, Tehnika, 1992. 163 p.

6. Охотский В. Б. Модели металлургических систем / В. Б. Охотский. – Днепропетровск: Системные технологи, 2006. – 287 с.

Ohotskiy V. B. Modeli metallurgicheskikh sistem. Dnepropetrovsk: Sistemnyie tehnologi, 2006. 287 p.

7. Костенецкий О. Н. Влияние характера окисления углерода в кислородном конвертере на выход годного / О. Н. Костенецкий, Ю. С. Решетняк, Б. М. Бойченко // Металлургия и коксохимия. – Киев.: Техніка, 1965. – № 2. – С. 16-22.

Kostenetskiy O. N., Reshetnyak Yu. S., Boychenko B. M. Vliyaniye haraktera okisleniya ugleroda v kislorodnom konvertere na vyihod godnogo. Metalurgiya i koksohimiya. Kiev, Tehnika, 1965, no. 2, pp. 16-22.

The article is about the generalization of industrial experience of oxygen blowing application for the steel melting in BOF and open-hearth units. The aims of this work are a comprehensive analysis of the features of bath blowing by oxygen and identify their influence on the basic technological parameters of steel production process. The carried out analysis is based on a large basis of production data. The achieved results could be interesting for the practical metallurgy, as they allow identifying the main trends in steel production processes with the use of oxygen blowing in the BOF of various capacities.

Key words: steelmaking, open-hearth melting unit, basic oxygen furnace, blowing, technological parameters.

Поступила 02.09.2016