

В. Б. Охотский /д. т. н./, Л. С. Молчанов /к. т. н./
Национальная металлургическая академия
Украины

А. Д. Зражевский
ОП «Металлурпром»

Динамика расхода сталеплавильной шихты. Влияние выбросов шлакометаллических фаз

Проанализированы возможности контроля и прогнозирования выбросов в конвертерных процессах с целью максимизации выхода годного. (Табл. 9. Библиогр.: 6 назв.).

Ключевые слова: динамика, расход, сталеплавильная шихта, выбросы

The possibilities for control and prediction of emissions in conversion processes in order to maximize yield ratio are analyzed.

Key words: dynamics, consumption, steelmaking stock, emissions

1. Состояние вопроса

Проблема выбросов возникла вместе с массовым применением конвертерных процессов производства стали в силу высокой скорости рафинировочных процессов. Их причины многообразны, как и сами конвертерные технологии. Вспенивание шлака в технологических процессах производства стали с продувкой ванны окислительным газом и без неё, а также всплескообразование жидких фаз при продувке создают картину физико-химических процессов, протекающих в плавильном агрегате. При этом выбросы не только сопровождаются потерями выхода годного (Y), но и дезорганизуют работу агрегатов, снижая их производительность (Π).

При бессемеровании (B) чаще всего причиной выбросов является недостаточно высокое отношение содержаний в чугунах Si_c/Mn_c , что уменьшает вязкость шлака и вызывает увеличение его объема под действием выделяющихся из ванны продуктов окисления углерода. При недостаточном удельном объеме конвертера (V , м³/т) это приводит к выбросам. Доменный шлак, содержащий CaO , Al_2O_3 , K_2O , Na_2O , попавший в полость конвертера, разжижая конвертерный шлак, способствует выбросам.

В малобессемеровском процессе (MB) оксиды железа не полностью усваиваются в зоне взаимодействия дутья с ванной и, попадая в шлак, разжижают его, при этом капли металла, содержащие углерод, взаимодействуют с ними, вызывая вспенивание шлака, образование выбросов и приводят к потере металла. С увеличением содержания Si_c начальный период его окисления (τ_1), в течение которого усвоение ванны оксидов железа от действия дутья неполное, затягивается, приводя к значительному вспениванию шлака. Снижение температуры металла и ско-

рости окисления углерода (V_c) в начальный период приводит к тому же результату.

При томасировании (T) количество образующегося шлака удваивается, и тормозящее окисление углерода действие Si_c проявляется уже при его концентрации $Si_c > 0,4-0,5$ % что приводит к выбросам.

При верхней кислородной продувке (BK) использование в качестве охладителя железной руды более выбросоопасно, чем лома, в силу значительного охлаждающего эффекта, снижающего V_c и увеличивающего поступление в шлак оксидов железа из зоны взаимодействия, дополняемого кислородом руды, и вызывающего выбросы. Известны случаи, когда увеличение Si_c в определенных пределах уменьшает выбросы, благодаря увеличению доли лома (D_n) в шихте. При этом рост доли плавок с выбросами уменьшает выход годного.

В технологии ОВМ при донной кислородной продувке (DK) зачастую используется контроль уровня шума, как и в томасовском процессе, позволяющий фиксировать конец интенсивного окисления углерода и начало передувки, с остановкой продувки через время, достаточное для требуемого окисления фосфора. По уровню шума производится промежуточное скачивание шлака, что уменьшает вероятность выбросов.

В технологиях комбинированной продувки (KK) удельная интенсивность донной продувки ($i_{дон}$) ограничивается различными величинами (от 0,025 до 0,72 м³/т мин), определяемыми технологическими особенностями процесса (содержание Si_c , конструктивные особенности дутьевых устройств и их размещения внутри рабочего пространства сталеплавильного агрегата). При этом содержание Si_c может быть значительным (0,52–0,83 %), а предотвращение выбро-

сов достигается соответствующей $i_{дон}$ (на уровне 0,08–0,20 м³/т мин) и, реже, подбором взаимного расположения зон взаимодействия с ванной верхнего и донного дутья.

2. Конвертер

Для предотвращения выбросов необходимо определенное соотношение интенсивности продувки, диаметра (D_k) и высоты (H_k) рабочего пространства конвертера. В соответствии с [1] рассчитаны диаметр суммарного газового объема (D) при коэффициенте усвоения кислорода дутья на окисление углерода $\eta_0 = 1$ и высоте всплесков металла (h_k). По опубликованным данным определены величины отношений $\bar{D}_k = D/D_k$ и $\bar{H}_k = h_k/H_k$.

Для конвертеров донного и бокового воздушного дутья (B, T, MB) – $\bar{D}_k > 1$, и согласно [1] имеет место пробковый снарядный режим движения газовых объемов в рабочем пространстве конвертера, который при жидком шлаке вызывает его выбросы (B). При $\bar{H}_k < 1$ всплески жидких фаз остаются в пределах рабочего пространства конвертера, а капли, образующиеся при их разрушении, заматалливают горловину конвертера, создавая настывли (H).

При донной кислородной продувке в отечественной (O) не всегда, а в зарубежной (3) практике в среднем во всех случаях $\bar{D}_k < 1$, что предотвращает выбросы. Напротив, чаще $\bar{H}_k > 1$, и всплески достигают горловины и вызывают образование настывлей в кессоне.

При AOD процессе выплавки коррозионно-стойкой стали $D_k < 1$, что предотвращает выбросы дорогостоящего металла. Но в зарубежной практике $\bar{H}_k > 1$, что вызывает образование настывлей на горловине. В отечественной технологии ГКР (ГМетАУ – ДСС) $D_k < 1$, что предотвращает выбросы, но на 60 т конвертере ДСС $\bar{H}_k > 1$ – вызовет унос капель металла и с последующим снижением выхода годного (Y).

Во всех процессах с продувкой под уровень возможен пробой ванны дутьевой струей, если диаметр пузыря, образующегося в режиме волны ускорения [1] D_{1v} больше глубины ванны ($D_1 > h_0$):

$$D_1 = k_1 q^{2/5} \quad (1)$$

где $k_1 = 0,29$ для воздушной и 0,34 – для кислородной струи.

Величина D_1 уменьшается с ростом садки конвертеров в силу соотношения дутьевого режима и конструкции агрегата, и пробой становится менее вероятным (для конвертера садкой 8 т она составляет 0,82, а для садки 60 т – 1,24).

Для верхней кислородной продувки, кроме расчета по [1] \bar{D}_k , \bar{H}_k , и D_{1v} определена глубина погружения кислородной струи в ванну (L_1) и

отношение $\bar{L}_1 \equiv L_1/h_s$. В промышленных конвертерах с верхней кислородной продувкой в отечественной и зарубежной практике продувка в номинальном режиме осуществляется в среднем при $\bar{D}_k < 1$ и $\bar{H}_k < 1$ что предотвращает потери металла с выбросами и выносами.

Для многоканальных фурм $\bar{D}_1 \geq 1$, а для одноканальных $\bar{D}_1 > 1$. При $\bar{D}_1 > 1$ режим глубокого проникновения не реализуется полностью, и частично оксиды железа, образовавшиеся от сгорания в кислороде капель металла в зоне взаимодействия дутья с ванной, попадают в шлак [1]. Для одноканальных фурм \bar{D}_1 больше, благодаря большей высоте фурмы $\bar{h}_\phi = h_\phi/d_c$, где d_c – выходной диаметр сопла. С увеличением \bar{h}_ϕ и \bar{D}_1 содержание оксидов железа в шлаке растет, и он вспенивается, что препятствует выносу капель из конвертера и потерям выхода годного. Регулирование h_ϕ по визуальной оценке этого процесса оператором или с использованием виброакустического контроля и автоматического управления положением фурмы является составной частью системы АСУ ТП прежде всего европейской практики.

Величина приведенной глубины $\bar{L}_1 = L_1/d_c$ как для многоканальных, так и для одноканальных фурм, близка к 1, причем независимо от садки конвертера и количества сопел. Это согласуется с обнаруженной Ж. Е. Де Граафом закономерностью для конвертеров верхнего кислородного дутья (см. сообщение «Агрегаты»).

Величины \bar{D}_k , \bar{H}_k , \bar{D}_1 были определены по материалам опроса VDI 17 томасовских цехов Германии с 25 видами конвертеров (1932 г.) и сопоставлены с величиной потерь металла с выбросами (B , кг/т) и настывлеобразованием на горловине конвертера (H , кг/т), выходом годного металла (Y , %). Оседание капель металла на горловине и образование настывли увеличивается с увеличением высоты всплесков под действием дутья и ростом \bar{H}_k . Увеличение размеров как суммарных (\bar{D}_k), так и для отдельных струй (\bar{D}_1) газовых объемов препятствует оседанию капель металла на горловине, и величина \bar{H}_k уменьшается. Потери металла с выбросами резко растут при соизмеримых высотах всплесков металла и конвертера ($\bar{H}_k > 1,2$). Интенсификация продувки, судя по влиянию на Y , \bar{D}_k и \bar{H}_k , уменьшает потери с оксидами железа, составляющие 19–33 кг/т.

Влияние содержания Si_{qv} параметра \bar{D}_k и продолжительности службы футеровки, скорее всего, максимизируются при 0,25–0,45 % Si_{qv} . Настывлеобразование резко растет при $Si_{qv} > 0,45$ %. При продувке в конвертере со старой футеровкой

СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

выход годного больше на 1 % при низкой и >1 % при высокой интенсивности продувки.

3. Технология

Одной из причин возникновения выбросов является состав чугуна. В табл. 1 приведены сведения о времени возникновения выбросов в трех ККЦ, работавших на чугунах с различной величиной отношения $Mn_{\text{ч}}/Si_{\text{ч}}$. На ДЗП использовался чугун с высоким содержанием $Mn_{\text{ч}}$, а на ЗСМЗ-2 – с низким. Его начальная температура была, соответственно, низкой и высокой. На КМЗ-2 показатели занимали промежуточное положение. Выбросы наступали в различные моменты продувки. Очевидно, что при уменьшении величины $Mn_{\text{ч}}/Si_{\text{ч}}$ и увеличении температуры чугуна ($t_{\text{ч}}$) доля плавов с выбросами ($D_{\text{вб}}$) уменьшается, и они, скорее всего, происходят на более ранних этапах продувки.

Отбор проб из конвертерной ванны без останковки продувки позволил установить существование случаев, когда в последующей пробе Si_2 содержание кремния было больше, чем в предыдущей Si_1 , вследствие неравномерности состава ванны и вымешивания ее периферийных объемов. В табл. 2 приведены данные, по-

лученные при продувке в конвертерах садки (T) 0,05–130 т при удельной интенсивности продувки $i_{O_2} = 2-6 \text{ м}^3/\text{т мин}$, и данные [2] о ходе продувки в 45 т томасовском конвертере. Степень аномальности проб оценивалась по выражению $D_{\text{ан}} = (Si_2 - Si_1) / Si_2$. При этом доля аномальных плавов обозначена $D_{\text{ан}}$, а с выбросами – $D_{\text{вб}}$. С увеличением садки конвертера $D_{\text{ан}}$ увеличивается, и при $D_{\text{ан}} = 0,4-0,7$ доля плавов с выбросами максимизируется.

Анализ данных о выбросах из конвертеров ВК показал (табл. 3), что с ростом отношения $Mn_{\text{ч}}/Si_{\text{ч}}$ доля плавов с выбросами, как правило, увеличивается вследствие увеличения жидкоподвижности шлака в период интенсивного выгорания углерода. Только при $Mn_{\text{ч}}/Si_{\text{ч}} < 0,6$ (ЗСМЗ-2) $D_{\text{вб}}$ выросла вследствие необходимости разжижать шлак, используя подъем фурмы над уровнем ванны ($h_{\text{ф}}$), приводящий к увеличению окисленности шлака. Изменение выхода годного с ростом отношения $Mn_{\text{ч}}/Si_{\text{ч}}$ только в определенной степени воспроизводит влияние $D_{\text{вб}}$, так как на него действуют и другие факторы. Наиболее отчетливо это влияние проявилось в ККЦ, КМЗ-2 (табл. 4). Одним из са-

Таблица 1

Возникновение выбросов при продувке в конвертерах ВК

Завод	$Mn_{\text{ч}}/Si_{\text{ч}}$	$t_{\text{ч}} \text{ } ^\circ\text{C}$	τ , МИН							$D_{\text{вб}}$, %
			4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	>16	
ДЗП	$\frac{1,3-2,8}{1,9}$	1230-1270	7	4	16	35	31	7	-	56
КМЗ-2	$\frac{0,7-2,6}{1,6}$	1250-1320	2	11	37	30	16	2	2	48
ЗСМЗ-2	$\frac{0,6-1,3}{0,7}$	1350-1420	-	-	31	44	19	6	-	35

Таблица 2

Анализ неравномерности конвертерной ванны

T , Т	050	1	28	35	55	130	130	130	45[2]
i_{O_2} , $\text{м}^3/\text{Т МИН}$	6,0	4,0	3,1	3,1	3,7	2,0	2,5	2,9	4,7
$\bar{D}_{\text{к}}$	0,84	0,83	0,78	0,85	0,79	0,79	0,85	0,79	1,06
$D_{\text{ан}}$	0,03	0,09	0,17	0,11	0,70	1,0	0,40	0,03	0,50
$D_{\text{ан}}$	$\frac{0,4}{0,4/1}$	$\frac{0,38 - 0,50}{0,42/4}$	$\frac{0,64}{0,01/1}$	$\frac{0,68 - 0,86}{0,55/3}$	$\frac{0,47 - 1,0}{0,68/7}$	$\frac{0,36 - 0,93}{0,63/8}$	$\frac{0,7 - 0,90}{0,84/4}$	$\frac{0,75}{0,75/1}$	$\frac{1,0}{1,0/5}$
$D_{\text{вб}}$	0,37	0,42	0	0,25	0,60	0,14	0,60	0	0

Числитель – диапазон $D_{\text{ан}}$, знаменатель – среднее/количество случаев.

Таблица 3

Влияние состава чугуна на долю плавов с выбросами в конвертерах ВК

Завод	$Mn_{\text{ч}}/Si_{\text{ч}}$								
	<0,6	0,6-0,9	0,9-1,2	1,2-1,5	1,5-1,8	1,8-2,1	2,1-2,4	2,4-2,7	>2,7
ДЗП	-	-	-	0,25	0,57	0,55	0,67	1,00	0,67
КМЗ-2	-	0,25	0,27	0,36	0,47	0,58	0,50	0,50	-
ЗСМЗ-2	0,67	0,38	0,38	1,00	-	-	-	-	-

мых прагматичных методов устранения выбросов является скачивание шлака. В табл. 5 показано, что выход годного при скачивании ($Y_{ск}$) на 0,1–1 % ниже, чем без скачивания ($Y_{б/ск}$). Тем не менее, существуют обстоятельства, при которых скачивание шлака производится на всех слитках, независимо от необходимости [3], для стандартизации действий оператора.

В табл. 6 показано влияние различных факторов на соотношение выхода годного $Y_{ск}$ и $Y_{б/ск}$. При $Si_{ш} < 0,7$ % он выше при скачивании шлака, а при $Si_{ш} > 0,7$ % – без скачивания в связи с ростом количества шлака. Выход годного выше без промежуточного скачивания практически при любой доле лома в шихте. Существует оптимальный период после начала интенсивного окисления углерода, $\Delta t_{ск} = 5$ –10 мин, при использовании которого для скачивания шлака Y максимизируется.

4. Контроль

Выбросы шлака и вынос металла связаны со шлакообразованием. В [4] был осуществлен акустический контроль хода продувки в томасовском конвертере, показавший, что интенсивность шума ($L_{ш}$) связана со скоростью окисления углерода (V_c). Перед выбросами $L_{ш}$ падает, а затем быстро растет. В [5] проводился акустиче-

ский контроль продувки в 24 т бессемеровском конвертере и фотографирование длины факела, которая выражалась в безразмерной величине $\bar{L}_ф = L_ф/d_г$, где $d_г$ – диаметр горловины конвертера.

В табл. 7 приведены полученные данные. Для шума бессемеровского конвертера:

$$L = 1.3 \bar{L}_ф \quad (2)$$

Продолжительность продувки ($t_{пр}$) в конвертерах донного воздушного дутья зависит от продолжительности начального периода (t_1), в течение которого окисляются кремний и марганец, после чего начинается окисление углерода (табл. 8).

На 50 т конвертере с верхней продувкой по методике оседания выносимых из горловины капель металла на пробнице, введенной в поток отходящих газов, была определена интенсивность выноса (G , кг/мин). В табл. 9 показано нарастание ее на первых трех минутах продувки в связи с начавшимся окислением углерода и спад после 3-й минуты из-за вызванного этим вспениванием шлака.

Если выразить интенсивность шума продувки в долях от максимально достигнутой $L \equiv L/L_{max}$, то интенсивность выноса металла

Таблица 4

Влияние отношения (Mn_i/Si_i) на выход годного в конвертерах ВК

Завод	Mn_i/Si_i								
	<0,6	0,6–0,9	0,9–1,2	1,2–1,5	1,5–1,8	1,8–2,1	2,1–2,4	2,4–2,7	>2,7
ДЗП	-	-	-	89,0	89,5	90,7	88,6	90,9	90,4
КМЗ-2	-	90,9	88,5	88,5	88,6	90,9	85,7	81,8	-
ЗСМЗ-2	90,9	90,7	90,7	-	-	-	-	-	-

Таблица 5

Скачивание шлака из 28 т конвертера ДЗП

$C_{ш}$, %	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12
$Y_{ск}$, %	87,1	87,5	88,8	88,4	89,3	89,3	88,5	89,4
$Y_{б/ск}$, %	87,9	88,3	89,8	88,8	89,4	89,5	90,3	89,9

Таблица 6

Влияние промежуточного скачивания шлака на выход годного (числ. – со ск., знам. – б/ск)

$Si_{ш}$, %	<0,7	0,7–0,9	>0,9	-	-
Y , %	$\frac{90,3}{87,7}$	$\frac{88,3}{88,9}$	$\frac{91,1}{91,4}$	-	-
$D_{ш}$, %	0	<5	5–10	>10	-
Y , %	$\frac{91,1}{92,0}$	$\frac{91,1}{91,1}$	$\frac{85,1}{69,0}$	$\frac{90,4}{31,4}$	-
$t_{ск}$, МИН	7–8	9–10	11–12	>13	0
Y , %	90,5	91,2	90,3	88,7	90,3
$\Delta t_{ск}$, МИН	<5	5–10	>10	-	-
Y , %	87,0	90,3	85,1	-	-

Таблица 7

Интенсивность шума в конвертерах донного воздушного дутья

Б [5]	$\bar{L}_ф$	2–3	3–4	4–5	5–6	6–7	7–8
$f = 125 Гц$	$L_{уст.Е9}$	3,5	4,8	6,0	7,1	9,4	10,4
Т [4]	$\frac{V_c}{\% / МИН}$	0–0,1	0,1–0,2	0,2–0,3	0,3–0,4	-	-
270–350 Гц	$L_{уст.Е9}$	10	12	26	48	-	-

Таблица 8

Влияние t_1 на $t_{пр}$

Процесс	$C_{ш}$, %	Б			Т
t_1 , МИН	-	4–6	6–8	8–10	2
$t_{пр}$, МИН	0,6–1	14	16	16	-
$t_{пр}$, МИН	<0,1	16	18	19	13

Таблица 9

Вынос металла в начале продувки из 50 т конвертера ВК

t , МИН	<0,5	1,5–2	2–2,5	2,5–3	3–3,5
$C_{ш}$, КГ/МИН	8	56	60	67	30

СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

изменяется с увеличением \bar{L} , как показано в табл. 10. В шуме конвертера с верхним кислородным дутьем можно выделить характерные периоды: начальный, в течение которого интенсивность шума уменьшается в связи со вспениванием шлака (τ_1); вспенивания, когда звуковой сигнал остается на низком уровне (τ_2); сворачивания, характеризуемого ростом L_m ; выбросов шлака (при низком L_n) или металла (при высоком L_n) (τ_4).

В течение кампании 130 т конвертеров с верхней кислородной продувкой КМЗ-2 были проанализированы акустические характеристики, и результаты представлены в зависимости от состава чугуна в табл. 11.

Величины τ_1 и τ_4 максимизируются при 0,6–0,7 % Si_4 . При меньшем Si_4 раньше начинается окисляться углерод, оксиды которого вспенивают шлак. При большем – быстрее нарастает количество шлака и его уровень (табл. 11). Кремний в чугуне тормозит переход к окислению углерода, что сопровождается увеличением окисленности шлака, а с началом окисления

углерода – вспениванием шлака и выбросами. В то же время его содержание в доменной печи растет с увеличением температуры чугуна. Поэтому с ростом Si_4 время наступления выбросов τ_n отодвигается и вероятность их наступления уменьшается (табл. 11). Для всех трех аргументов с увеличением продолжительности продувки до создания условий для выбросов их вероятность уменьшается.

В табл. 12 приведено сопоставление Y по ДЗП и КМЗ-2 в зависимости только от продолжительности характерного периода, независимо от состава переработанных чугунов. Существует оптимальная продолжительность каждого из периодов, при которой Y максимизируется. Для τ_1 – это 4–6 (ДЗП) и 6–8 (КМЗ-2) мин; для τ_2 , соответственно, <2 и 2–4 мин; для τ_3 – <2 и 2–4 мин; для τ_4 – 0, возможно 8–10 мин. При акустическом контроле продувки целесообразно вторую добавку неметаллической шихты делать через определенный промежуток времени (Δt) отсчитываемый от конца начального периода, как реперной точки. С увеличением Δt в 50 т ВК уве-

Таблица 10

Акустический контроль выноса металла

\bar{L}	0–0,2	0,2–0,4	0,4–0,6	0,6–0,8	0,8–1
C_{τ} , кг/мин	9	9	27	35	40

Таблица 11

Продолжительность характерных периодов продувки в конвертере ВК КМЗ-2

Периоды, мин	Si_4 , %				
	<0,5	0,5–0,6	0,6–0,7	0,7–0,8	>0,8
τ_1	$\frac{3-7}{5,5}$	$\frac{4-7}{5,1}$	$\frac{4-8}{6,2}$	$\frac{5-8}{6,1}$	$\frac{5-6}{5,6}$
τ_2	$\frac{0-15}{8,8}$	$\frac{0-14}{5,4}$	$\frac{0-16}{8,5}$	$\frac{0-5}{1,8}$	$\frac{0-16}{7,3}$
τ_3	$\frac{0-13}{5,2}$	$\frac{0-14}{9,3}$	$\frac{0-14}{6,9}$	$\frac{7-18}{11,6}$	$\frac{0-12}{8,0}$
τ_4	$\frac{5-11}{8,8}$	$\frac{7-17}{11,0}$	$\frac{7-15}{12}$	$\frac{9-12}{11}$	$\frac{11}{11}$
$D_{\text{ш}}$	100	58	67	40	33

Таблица 12

Влияние продолжительности характерных периодов на Y

Период	Завод	τ , мин.							
		0	2	2–4	4–6	6–8	8–10	10–12	>12
τ_1	ДЗП	-	-	88,6	90,1	89,8	88,9	-	-
	КМЗ-2	-	-	88,1	88,2	88,4	86,5	-	-
τ_2	ДЗП	$\frac{86,0}{87,3}$	$\frac{90,8}{88,2}$	$\frac{90,5}{89,5}$	$\frac{90,0}{88,7}$	$\frac{89,7}{88,9}$	$\frac{89,3}{87,8}$	$\frac{88,5}{87,4}$	-
	КМЗ-2	$\frac{86,0}{85,9}$	$\frac{90,8}{86,1}$	$\frac{90,5}{91,2}$	$\frac{90,0}{88,6}$	$\frac{89,7}{89,4}$	$\frac{89,3}{88,5}$	$\frac{88,5}{88,2}$	-
τ_3	ДЗП	$\frac{86,0}{85,9}$	$\frac{90,8}{86,1}$	$\frac{90,5}{91,2}$	$\frac{90,0}{88,6}$	$\frac{89,7}{89,4}$	$\frac{89,3}{88,5}$	$\frac{88,5}{88,2}$	-
	КМЗ-2	$\frac{91,0}{88,9}$	-	-	$\frac{88,5}{-}$	$\frac{87,7}{87,3}$	$\frac{88,4}{90,0}$	$\frac{89,0}{88,9}$	$\frac{88,5}{88,0}$

личивается продолжительность продувки t_3 под свернувшимся шлаком (табл. 13).

На 250 т конвертере ДМК, работавшем по технологиям ИЧМ ВК и КК и акустическом контроле хода продувки, определено влияние $Si_{\text{ч}}$, $D_{\text{дон}}$ на Y (табл. 14). Максимизация величины последней может быть достигнута сочетанием этих двух аргументов. Наблюдается тенденция увеличения необходимой для этого $D_{\text{дон}}$ с увеличением $Si_{\text{ч}}$.

Таблица 13

Влияние Δt на t_3 в 50+ конвертере ВК

$\Delta t_{\text{доб}}$, МИН	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	6	8
t_3 , МИН	2,7	3,3	4,3	4,7	4,4	4,5	5,0

Таблица 14

Выход годного в 250 т ВК и КК ДМК

$Si_{\text{ч}}$, %	$D_{\text{дон}}$				
	0	<0,1	0,1-0,2	0,2-0,3	>0,3
<0,6	$\frac{89,4}{32}$	$\frac{90,0}{16}$	$\frac{90,0}{10}$	$\frac{90,0}{1}$	-
0,6-0,8	$\frac{90,1}{112}$	$\frac{90,2}{19}$	$\frac{89,8}{16}$	$\frac{89,0}{9}$	$\frac{89,5}{2}$
0,8-1,0	$\frac{88,8}{76}$	$\frac{90,1}{8}$	$\frac{90,2}{15}$	$\frac{90,2}{1}$	$\frac{90,0}{1}$
>1,0	$\frac{90,0}{12}$	$\frac{90,1}{8}$	$\frac{91,0}{5}$	-	-

Выводы

Определены зависимости между параметрами конвертеров и продувки, их влияние на потери металла с выбросами и выход годного. Рассмотрено использование акустического контроля для прогноза технологических показателей процесса.

Библиографический список

1. Охотский В. Б. Модели металлургических систем / В. Б. Охотский. – Днепропетровск: Системные технологии, 2006. – 287 с.
2. Vö de H. Von, Eickwort E. // St. Eis. – 1959. – № 23. – S. 1715–1722.
3. Лаукарт В. Е., Чуквелебе В. О., Добромилов А. А. [и др.]. // Сталь. – 2007. – № 8. – С. 22–24.
4. Klärting J. // Metall. – 1955. – № 17–18. – S. 780–785; 1956. – № 9–10. – S. 405–415.
5. Охотский В. Б., Гаврилов Е. Е., Дразнин А. Э. [и др.] // Произв. стали в кислородно-конв. и март. цехах. – 1978. – № 7. – С. 37–29.
6. Шнееров Я. А., Носов К. Г., Борисов Ю. Н. [и др.] // Сталь. – 1986. – № 1. – С. 21–24.

Поступила 11.08.2015



УДК 669.18:661.65

Производство

Л. В. Камкина /д. т. н./

Национальная металлургическая академия Украины

В. С. Манидин

ПАО «Запорожсталь»

С. В. Пройдак /к. т. н./

Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта

Физико-химические и технологические особенности производства экономнолегированных борсодержащих сталей

Рассмотрены особенности взаимодействия раскислителей с растворенным кислородом в металле. Представлена информация о влиянии концентрации бора на механические свойства стали. Изложены результаты промышленных исследований микролегирования низкоуглеродистой стали бором в условиях ПАО «Запорожсталь». (Ил. 5. Табл. 4. Библиогр.: 7 назв.).

Ключевые слова: бор, низколегированная сталь, механическая прочность, структура

Considered peculiarities of the interaction deoxidants with dissolved oxygen in the metal. Represented the information about the influence of boron concentration on the mechanical properties of the steel. Represented the results of industrial research microalloying low carbon steel with boron at PSC «Zaporozhstal».

Key words: Borium, low-alloy steel, mechanical stress, structure