

Выбросы в конвертерных процессах

Проанализированы продуваемость чугуна различного состава и закономерности возникновения выбросов, обусловленных гидродинамическими процессами в конвертерах донного, верхнего и комбинированного дутья.

Ключевые слова: конвертер, выбросы, гидродинамика, состав чугуна

Чугун

История и состояние вопроса

Выбросы сопровождали конвертерные процессы с момента их появления и всегда были предметом исследования в целях их предотвращения.

Бессемерование

I. L. Bell (Великобритания) выливал в конвертер расплавленную железную руду и чугун. В конце продувки начинались взрывообразные выбросы (1877 г.).

В. Е. Грум-Гржимайло. При холодном начале процесса окисляется много железа, а при повышении температуры и начале окисления углерода начинаются выбросы (1913 г.).

М. М. Карнаухов. С увеличением размера пузырей от дутья окисляется больше железа, что вызывает выбросы (1923 г.).

В. А. Каменский. Увеличение диаметра сопел d_c увеличивает окисленность шлака, что вызывает выбросы (1927 г.). Выбросы возникают при смешении объемов металла ванны, богатых углеродом и кислородом (1934 г.).

А. Е. Нетесин, М. О. Венгринович. Выбросы – это пробой ванны дутьевыми струями (1936 г.).

О. И. Легкоступ. Выбросы вызывают образующиеся и всплывающие пузыри (1949 г.).

L. E. Edwards, США. Для выбросов необходимо достаточно высокое соотношение в чугуне Mn_4/Si_4 , при котором шлак жидкий (1950 г.).

Томасирование

Л. М. Фортунато. Выбросы возникают при продувке чугунов с высоким Si_2 .

M. I. Fersaan, Франция. Выбросы вызывает слишком большой d_c (1925 г.).

N. I. Folkerts, Германия. Тесное расположение сопел вызывает резонансные колебания ванны и выбросы (1925 г.).

R. Eichel, Германия. Кремнезем от окисления Si_4 дает соединение $FeO \cdot SiO_2$, а при вытеснении из него FeO растворяющейся известью образуется вязкий шлак и выбросы (1934 г.).

P. Leroy, Франция. При продувке возникает резонансная волна, которая, ударяясь о стенку конвертера, образует всплеск – выброс (1953 г.).

Верхнее кислородное дутье (ВК)

И. П. Бардин, С. Г. Афанасьев, М. М. Шумов и др.

Выбросы при продувке передельных чугунов возникают при высоких окисленности шлака и содержании углерода в металле в результате их взаимодействия (1959 г.).

K. G. Speith, Германия. При продувке фосфористых чугунов шлак вспенивается при окислении углерода капель металла, эмульгированных в шлаке, с его оксидами железа (1960 г.).

Донное кислородное дутье (ДК)

P. Leroy, Франция. Вероятность выбросов растет с увеличением содержанием кремния в чугуне (1970 г.).

И. В. Белов, А. С. Носков. Выбросы – следствие нарушения гидродинамической устойчивости ванны (1975 г.).

F. Ettienne. При асимметричном расположении фурм выбросы возникают в результате пробоя ванны, а при симметричном – дополнительно вследствие появления волн на поверхности ванны (CRM, 1975 г.).

Предупреждение выбросов

Л. М. Фортунато. Своевременное скачивание томасовского шлака (1906 г.).

Hoesch, Aug. Thys-Hütte, Германия. То же самое (1943 г.).

С. Г. Афанасьев, И. И. Коробов. Скачивание шлака при продувке передельного чугуна сверху предупреждает выбросы, но снижает выход годного на 1,4 % (1957 г.).

Переработку фосфористого чугуна процессом ВК в Японии, Франции, Германии, Люксембурге с 1960 г. осуществляли с промежуточным скачиванием шлака как с применением, так и без порошкообразной извести.

Таким образом, причиной выбросов могут быть разные физико-химические процессы, и методы их предупреждения разрабатываются применительно к конкретным обстоятельствам. В мировой практике используют автоматическое управление продувкой, минимизирующее зависимость результатов конвертерного процесса от способностей оператора, и стандартизацию условий плавки.

Фосфористый чугун

При продувке фосфористого чугуна содержание кремния Si_4 необходимо ограничивать в большей степени, чем в передельном. Для оценки его продуваемости без выбросов целесообразно использовать

отношение $v_{Si} \equiv v/Si_q$, где v – удельный объем конвертера, m^3/t . На рис. 1 представлено обобщение опубликованных данных о допустимой удельной интенсивности продувки (в перерасчете на кислород для воздушного и обогащенного кислородом дутья) i_{O_2} , $m^3/t \cdot \text{мин}$, в зависимости от величины v_{Si} для томасовского чугуна по [1] и [2] (линии 1а и 1б соответственно) в конвертерах донного кислородного дутья (ДК, линия 2) и OLP, LD-AC (линия 3). Несмотря на разнообразие использованных источников кислорода и методов продувки, одинаковый характер зависимости позволяет предположить, что максимизация удельной интенсивности продувки достигается в диапазоне $v_{Si} = 6-8 m^3/t \cdot \%$.

В [1] приведены сведения о работе 20 томасовских цехов Германии, в том числе потери металла при продувке с выбросами В и настылями на горловине Н, $кг/т$. На рис. 2 их величины имеют экстремумы при $v_{Si} \approx 4-6, m^3/t \cdot \%$. Характер зависимостей отвечает механизму, согласно которому выбросы возникают в периоды жидкофазного шлака, а выносы – при его сворачивании. Уменьшение содержания кремния в чугуне и увеличение v_{Si} во всех конвертерных процессах, перерабатывающих фосфористый чугун, уменьшает вероятность выбросов благодаря гетерогенизации шлака, но увеличивается вынос капель металла, намерзающих, в данном случае, на горловину конвертера.

Передельный чугун

Для анализа использованы опубликованные данные о верхней кислородной продувке (ВК) и данные автора при использовании одно- ($n_c = 1$) и многоканальных ($n_c > 1$) фурм и результаты комбинированной донно-верхней кислородной продувки по технологии ИЧМ-ДМК.

На рис. 3 сопоставлены результаты обобщения сведений о влиянии v_{Si} на i_{O_2} для отечественных (линия 1а) и зарубежных (2а) одноканальных ($n_c = 1$) и многоканальных (соответственно 1б и 2б) фурм, использованных в конвертерах ВК. В отечественной практике при одинаковых величинах v_{Si} , i_{O_2} в первом случае влияние больше, чем во втором, потому что переход на многоканальные фурмы осуществляется, как правило, одновременно с увеличением садки конвертера. Достигнутые удельные интенсивности продувки максимизируются в области $v_{Si} = 1,2-1,4 m^3/t \cdot \%$, что значительно меньше, чем при переделе фосфористых чугунов (рис. 1), благодаря меньшей вспениваемости шлака и лучшей продуваемости. Увеличение величины v_{Si} по сравнению с оптимальной – следствие уменьшения содержания кремния в чугуне, количества образующегося шлака и увеличения интенсивности выноса капель металла.

В зарубежной практике использованные удельные интенсивности продувки (линии 2а и 2б) ниже, чем в отечественной, так как производство было ориентировано на минимизацию расходов, а не на производительность. В анализируемом массиве данных экстремумов нет, а удельная интенсивность продувки при переходе на многоканальные фурмы выросла.

Условия, требующие скачивания шлака в связи

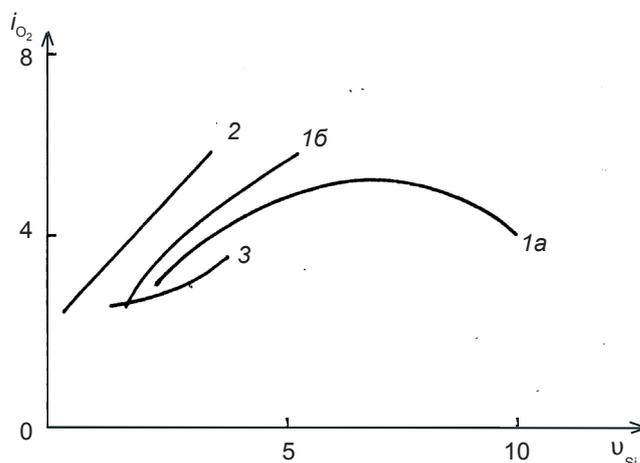


Рис. 1. Допустимая удельная интенсивность продувки в различных процессах переработки фосфористого чугуна

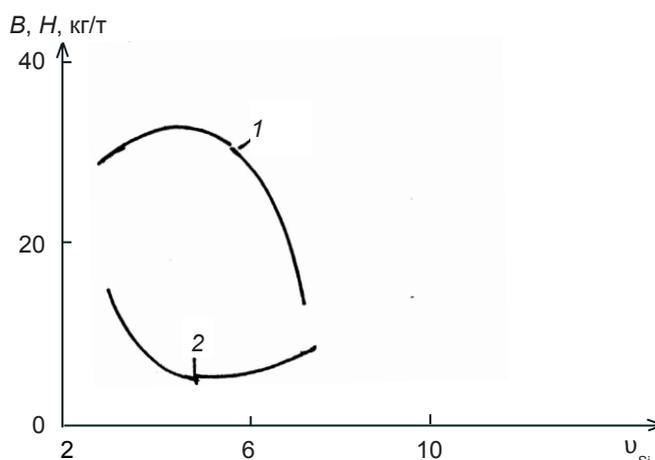


Рис. 2. Потери металла при продувке фосфористого чугуна в зависимости от величины v_{Si}

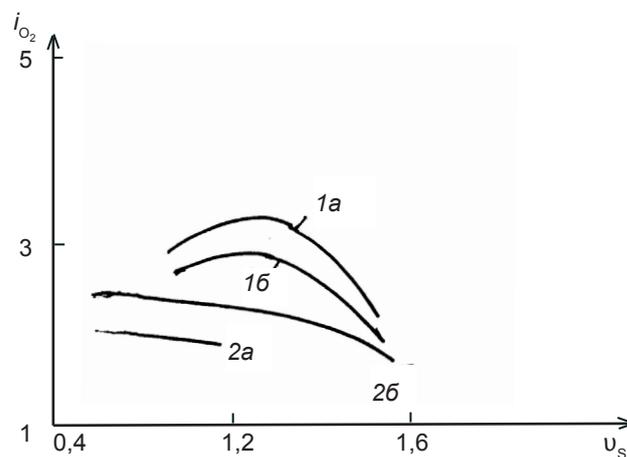


Рис. 3. Допустимая удельная интенсивность продувки передельного чугуна в конвертерах ВК

с выбороопасностью ситуации, проанализированы в одном из отечественных ККЦ в 1996 и 2006 гг. для определения воспроизводимости результатов (рис. 4). Как в первом (линия 1), так и во втором (линия 2) периоде работы минимизация доли плавков со скачивания $C, \%$, приходится на $v_{Si} = 1,0-1,2 m^3/t \cdot \%$. В первом случае она при этом была меньше, чем во втором, в связи с использованием разных дутьевых устройств. Сопоставление оптимальных величин v_{Si} на рис. 4 и 3 показывает, что устранение скачивания возможно при меньших, чем максимальные, величинах v_{Si} .

Левые ветви линий 1 и 2 на рис. 4, хотя и отличаются, но похожи. Правая ветвь линии 2 отвечает более низкой, чем оптимальная, концентрации кремния, росту случаев сворачивания шлака и увеличению оператором высоты фурмы над уровнем ванны h_{ϕ} , вызванной этим ростом окисленности шлака и доли плавков с выбросами и С. Анализ 25 пар рядом стоящих плавков, проведенных со скачиванием и без скачивания шлака, показал, что при полной идентичности среднего химического состава чугуна (%: 0,82 Si, 0,57 Mn, 0,038 S) доля металлолома в первом случае была на 19 отн. % выше, чем во втором, и выбросы, вызвавшие скачивание шлака, возникли вследствие недостатка тепла.

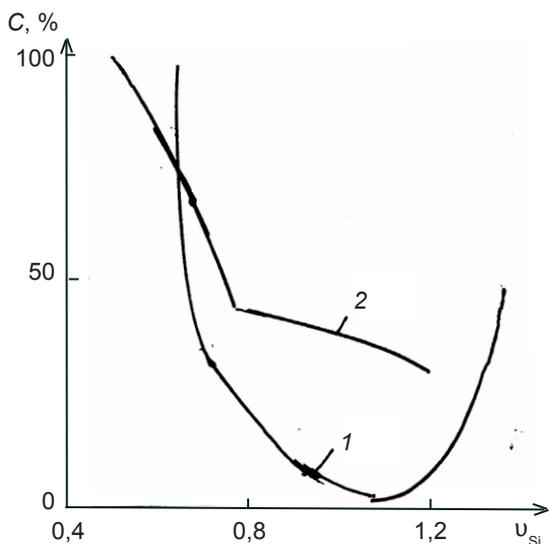


Рис. 4. Допустимая удельная интенсивность продувки в различных процессах переработки фосфористого чугуна

Комбинированная продувка

В [3] приведены все преимущества комбинированной продувки, в частности, для процесса STB – предотвращение выбросов, наиболее полно достигаемое при оптимальной удельной интенсивности донного дутья $i_g = 1,0-1,2$, $\text{м}^3/\text{т}\cdot\text{мин}$, превышение которой вызывает выбросы, переливы через горловину, ухудшение образования шлака. В отечественной практике работы по технологии ИЧМ – ДМК [4] выбросы и выносы возникали при $i_g = 0,68-0,72$ $\text{м}^3/\text{т}\cdot\text{мин}$.

На рис. 5 сравнение этой технологии представле-

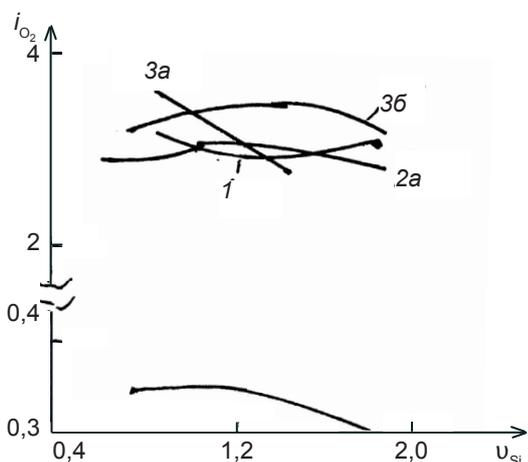


Рис. 5. Допустимая удельная интенсивность продувки в различных процессах переработки фосфористого чугуна

но как зависимость удельного расхода кислорода от v_{Si} при чисто верхней продувке (линия 1) с комбинированной, с удельным расходом верхнего (линия 2а) и донного (линия 2б) кислородного дутья, а также i_{O_2} других отечественных (линия 3а) и зарубежных (линия 3б) ККЦ. Зависимости 2а и 2б максимизируются при v_{Si} около 1,2 $\text{м}^3/\text{т}\cdot\text{мин}$, а 3б – 1,4. В условиях ДМК удельные интенсивности чисто верхней продувки и комбинированной продувки верхнего дутья были приблизительно одинаковы, но во втором случае добавлялась донная кислородная продувка в выбросо-безопасном дутьевом режиме.

Гидродинамика

Состояние вопроса

На возникновение выбросов в конвертерных процессах, помимо химического состава чугуна (в частности содержания в нем кремния и показателя v_{Si} , $\text{м}^3/\text{т}\cdot\%$), влияет окисленность шлака, которая формируется в зависимости от гидродинамики взаимодействия дутья с металлом.

В [5] применительно к промышленному конвертеру верхнего кислородного дутья (ВК) было найдено, что при глубине зоны взаимодействия кислородной струи с металлом L , достигающей глубины ванны $h_{\text{в}}$ ($L \approx h_{\text{в}}$) окисленность шлака становится постоянной величиной.

При комбинированной продувке кислородом (КК) величина отношения $LH \equiv L/h_{\text{в}}$ определяла коэффициент усвоения кислорода η , величину отношения CO_2/CO в отходящих газах, окисленность шлака и интенсивность потерь металла [6].

При донной кислородной продувке (ДК) выбросы содержат в основном металл и небольшое количество шлака, в отличие от ВК, где причиной выбросов является переокисленный шлак [7]. Моделирование выбросов при донной продувке с асимметричным расположением сопел показало [8], что их причиной является пробой ванны дутьевыми струями, а при симметричном, кроме этого, – образование волн, что было впервые исследовано в [9] применительно к донной продувке, а позже развито в работе [10].

Донная продувка

Характерным моментом гидродинамики взаимодействия дутьевой струи, истекающей из сопла с расходом q , с ванной металла глубиной h является пробой последней, когда размер вторичной зоны взаимодействия (пузыря) размера D достигает величины h ($D = h$). С использованием выражений из [11] для кислорода

$$D = 0,34q^{2/5}, \quad (1)$$

где q – $\text{м}^3/\text{мин}$, D – м, а для инертного газа –

$$D = 0,1465q^{2/5}. \quad (2)$$

Оценка степени приближения взаимодействия к пробое выражается отношением $DH \equiv D/h$.

В свое время VDI (Германия) опросила томасовские (Т) цехи относительно параметров работы конвертеров и опубликовала их [1]. На рис. 6, а представлен анализ этих данных, который показывает,

что содержание оксидов железа в конечных шлаках и потери металла с выбросами и настылью на горловине П находятся в противоположной зависимости от DH . Это подтверждает механизм выбросов при донном дутье, когда их вызывает пробой ванны, а не вспенивание шлака, который в томасовском процессе сворачивается [12].

В процессе ДК при пробое содержание оксидов железа в шлаке растет (рис. 6, б), как и при процессе Т (рис. 6, а), так как они не успевают усвоиться в зоне взаимодействия, что разжижает шлак, вспенивает его и уменьшает потери металла П (рис. 6, а). На экспериментальном конвертере [13] при процессе ДК переход с продувки через одну фурму ($DH = 1,52$) на 3-4 фурмы ($DH = 0,89-0,88$) устранил выбросы.

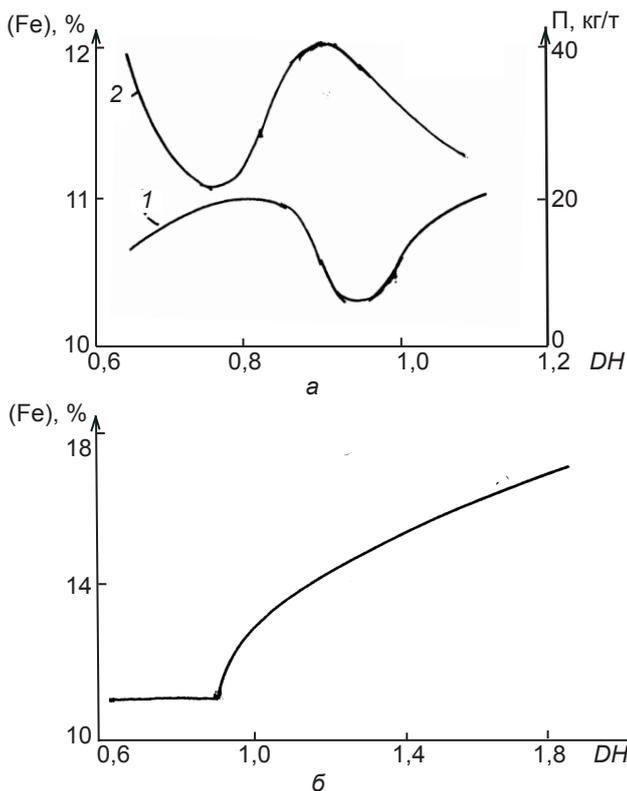


Рис. 6. Окисленность при донной воздушной (а) и кислородной (б) продувках

Параметр DH определяет удельную интенсивность продувки по кислороду i_{O_2} , $m^3 O_2 / t \cdot min$ (рис. 7). В бессемеровском (Б, линия 1) и томасовском (Т, линия 2) процессах его величина ненамного превышала

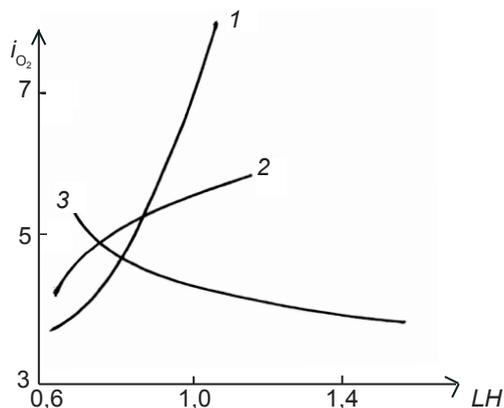


Рис. 7. Допустимая удельная интенсивность донной продувки

$DH \geq 1$ и благодаря инертной составляющей дутья и низкой окисленности шлака, особенно в процессе Б, при котором образуется твердый шлак, величина i_{O_2} в допробойном режиме росла. В процессах ДК успешное шлакообразование обеспечивается вдуванием с кислородом пылевидной извести. В этом случае гидродинамика взаимодействия включает в себя на первом этапе внедрение газопорошковой дутьевой струи в металл, а на втором – образование вторичной зоны взаимодействия размера (1). Используя выражение для первого этапа из [11], получим безразмерную длину струи L при отсутствии в газе извести

$$L \equiv L/d = 5,55K^{1/3}, \quad (3)$$

где $K \equiv \rho w^2 / \rho_1 g d$ – число Казанцева; ρ , w – плотность и скорость газа на выходе из сопла (фурмы); ρ_1 – плотность металла; g – гравитационное ускорение; d – диаметр сопла.

При наличии порошка извести в газе ρ и K увеличиваются.

На рис. 8, а приведено соотношение глубины ванны h_B конвертеров ДК и величины K (линия 1) по опубликованным данным (точки) [6] и полученная моделированием по [14] линия 2. Очевидно, на первом этапе взаимодействия пробоя не будет. В то же время соотношение h_B и q таково (рис. 8, б), что имеют место случаи, когда, величина D , рассчитанная по формуле (1) (линия 1), больше h_B , то есть имеет место пробой. Это является причиной снижения величины i_{O_2} при $DH > 1$ (рис. 7). В отличие от процессов Б

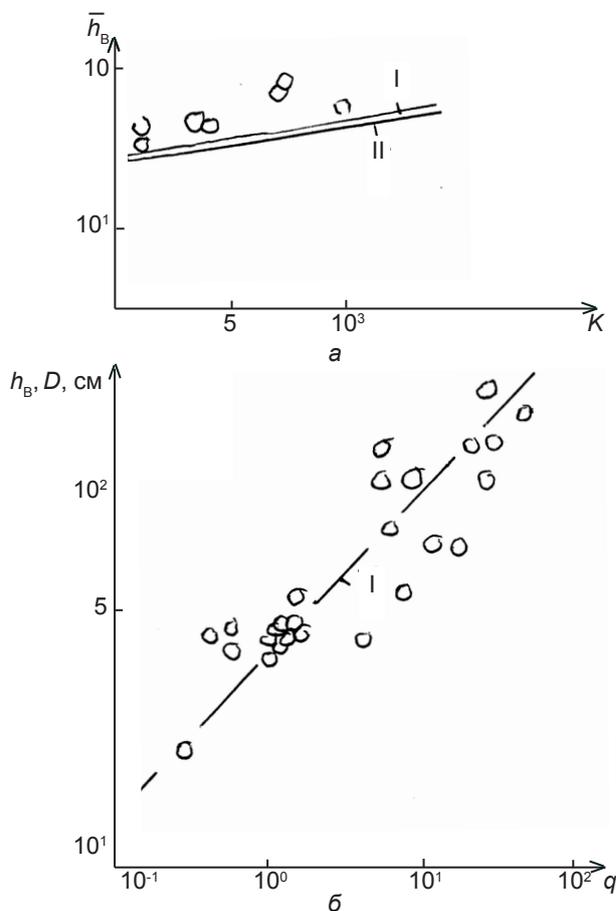


Рис. 8. Соотношение глубины ванны с числом Казанцева (а) и расходом дутья на одно сопло (б)

и Т, широко использовавшихся в прошлом, более современный процесс ДК осуществлялся в основном в период кризиса 1974-1982 гг. и был ориентирован не столько на производительность, сколько на экономию металла.

Обобщение опубликованных отечественных (О) и зарубежных (З) данных для конвертеров донного дутья приведено в табл. 1.

Таблица 1

Величина LH в процессах донного дутья*

Источник	Процессы		
	Б	Т	ДК
О	$\frac{0,68-0,90}{0,79/3}$	$\frac{-}{-}$	$\frac{0,94-1,70}{1,25/3}$
З	$\frac{0,77-1,17}{0,98/3}$	$\frac{0,61-1,11}{0,78/25}$	$\frac{0,74-1,56}{1,11/10}$

*Числитель – диапазон; знаменатель – среднее/количество случаев

В отечественной практике бессемеровские конвертеры (Б) работали в менее жестком режиме по сравнению с зарубежными (США), ориентированными на производительность. То же можно сказать о немецких томасовских конвертерах (Т). Отечественные лабораторные и промышленный конвертер ДК работали в экспериментальном режиме, и, соответственно, несколько большем диапазоне величин LH. Зарубежные, многие из которых были переоборудованы из конвертеров воздушного дутья, тоже не отличались стабильностью из-за кратковременности эксплуатации.

Верхняя продувка

При верхней продувке более высокая, чем при донной, окисленность шлака вызывает его вспенивание, иногда в 20-30 раз, и выбросы. Содержание оксидов железа в шлаке определяется параметром $LH \equiv L/h_b$, с увеличением которого оно уменьшается. Переход на многоканальные фурмы и последующий рост числа сопел n_c сопровождается дальнейшим уменьшением LH. На рис. 9 обобщены данные о степени вспененности шлака $\bar{H}_{ш} \equiv H_{ш}/H_{ш0}$, где $H_{ш0}$ – толщина слоя шлака в невспененном состоянии, при изменении $H_{ш}$ без остановки продувки. Линия 1 получена для 50-килограммового, 1- и 35-тонного конвертеров ВК, при использовании одноканальной, а линия

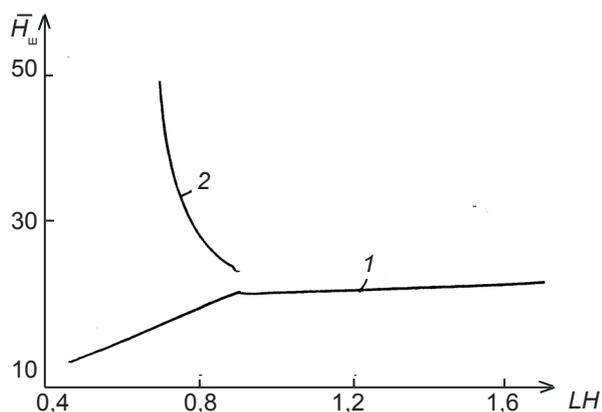


Рис. 9. Зависимость $\bar{H}_{ш}$ от LH для конвертеров ВК

2 – многоканальных фурм: 35-тонного конвертера с $n_c = 3$ и 120-тонного конвертера с $n_c = 3-5$. Для одноканальных фурм характерна стабилизация $H_{ш}$ при $LH \geq 1$, как показано в [5], а для многоканальных она растет с уменьшением $LH < 1$.

Доля плавков с выбросами D_b в 1-, 35- и 120-тонном конвертерах, работавших на основных шлаках, увеличивается с уменьшением величины LH (линия 1 на рис. 10), подобно тому, как в экспериментах [15]

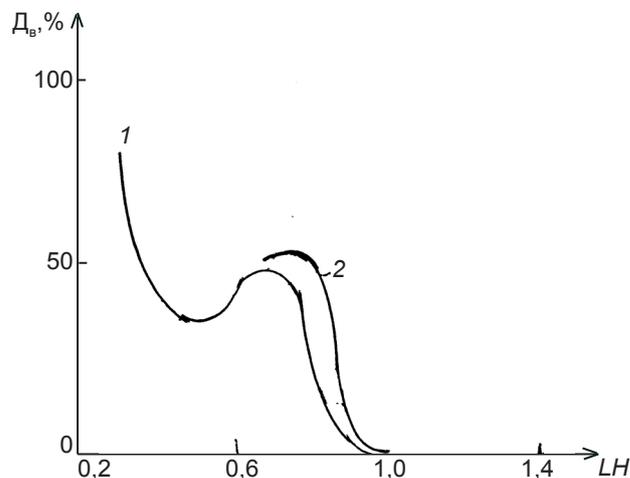


Рис. 10. Доля плавков с выбросами при верхней продувке

на 130-тонных конвертерах (линия 2), а при $LH > 1$ обращается в ноль. На 1-тонном конвертере при начальном положении фурмы 94 и номинальном – 52 калибра, что соответствует величине $LH = 0,44$, после перехода от преимущественного окисления кремния к окислению углерода выбросы не прекращались до конца продувки.

Для опубликованных материалов и данных автора об окисленности конвертерных шлаков при различных параметрах дутьевого режима, обобщенных рассчитанными показателями LH, найдено, что они представляют область, нижняя граница которой описывается зависимостями

$$(Fe) = 10/LH \text{ при } LH \leq 1,0, \quad (4a)$$

$$(Fe) = 10 = \text{const} \text{ при } LH > 1,0, \quad (4b)$$

а верхняя –

$$(Fe) = 16/LH \text{ при } LH \leq 1,0, \quad (5a)$$

$$(Fe) = 16 = \text{const} \text{ при } LH > 1,0, \quad (5b)$$

что вновь подтверждает найденную закономерность [2].

В диапазоне $LH = 10^{-1} - 10^0$ коэффициент использования кислорода приблизительно равен

$$\eta = LH^{0,6}. \quad (6)$$

Такой же анализ применительно к отечественным конвертерам садкой 100-130 т разных ККЦ для выхода годного Y дал зависимости

$$Y = 85,5 + 7,0LH \text{ при } LH \leq 0,9, \quad (7a)$$

$$Y = 89,0 \text{ при } LH \leq 0,9, \quad (7b)$$

а граничная величина $LH = 0,9$ весьма близка к 1.

Величины LH в комбинированных конвертерных процессах*

Источник	Процесс	
	ККО	ККН
0	$\frac{1,44}{1,44/1}$	$\frac{0,67-1,03}{0,81/5}$
3	$\frac{0,78-1,25}{1,05/8}$	$\frac{0,70-1,16}{0,91/14}$

*Числитель – диапазон; знаменатель – среднее/количество случаев

В ходе работы отечественных ККЦ, как и обычно, происходили увеличение садки конвертеров $T_1 \rightarrow T_2$ и соответствующие изменения параметров дутьевого режима. Результаты расчетов изменения при этом $LH_1 \rightarrow LH_2$ приведены в табл. 2.

Таблица 2

Динамика дутьевого режима в отечественных конвертерах ВК*

Параметр	Случаи							
	$\frac{T_1}{T_2}$	20	100	120	130	135	300	300
$\frac{T_1}{T_2}$	60	130	150	160	160	350	350	
$\frac{LH_1}{LH_2}$	0,94	0,74	0,75	0,68	0,74	1,07	1,76	
	1,08	1,12	1,04	0,96	0,95	1,07	1,06	

*Числитель – до реконструкции, знаменатель – после реконструкции

В большинстве случаев $LH_2 > LH_1$ с приближением $LH_2 \rightarrow 1$.

Таким образом, выбирая дутьевой режим для конвертеров ВК, целесообразно стремиться к $LH \approx 1,0$.

Комбинированная продувка

При комбинированной продувке зоны взаимодействия, образованные верхним D_1 и донным D_2 дутьем складываются, а суммарная D во избежание пробоя должна быть

$$D \leq h_B \tag{8}$$

При продувке снизу кислородом D_2 определяется по выражению (1), а нейтральным газом – (2).

Результаты анализа опубликованных отечественных и зарубежных исследований комбинированной продувки кислородом (ККО) и нейтральным газом (ККН) представлены на рис. 11 как область экспери-

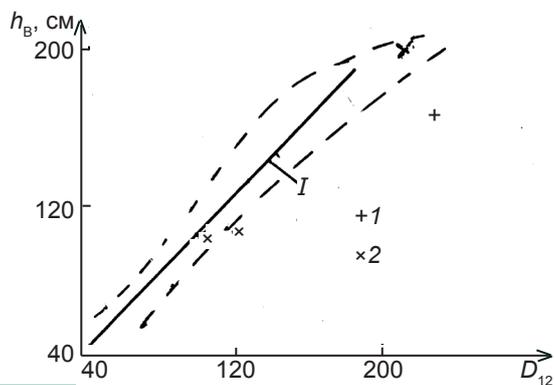


Рис. 11. Условия пробоя ванны при комбинированной продувке

ментальных данных (ограничена пунктирными линиями). Случаи, когда имели место выбросы, обозначены точками. Линия I, соответствующая условию (8), проходит через область, а случаи выбросов располагаются всегда ниже линии I и иногда ниже нижней границы области.

Эти данные представлены в табл. 3 в численном виде.

В процессах ККО величина LH несколько больше, чем в ККН, особенно в отечественной практике. Наоборот, в отечественных экспериментах с ККН она ниже, чем в зарубежной практике, что уменьшало вероятность пробоя.

Результаты комбинированной продувки на рис. 12 оценены зависимостью показателя $\overline{Fe} = Fe_k / Fe_B$ (где Fe_k, Fe_B – содержание оксидного железа в конечных шлаках соответственно для комбинированной и верхней продувки) от доли донного дутья D_d .

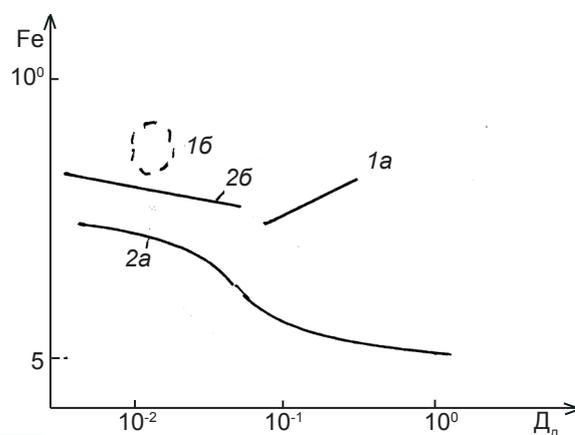


Рис. 12. Зависимость величины показателя \overline{Fe} от доли донного дутья

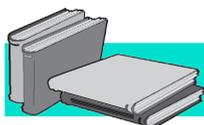
Отечественные данные для ККО (линия 1a), полученные в условиях пробоя (табл. 3), показывают рост величины \overline{Fe} с ростом D_d , а данные ККН (область 1b) расположены выше, чем зарубежные, при одинаковой величине D_d . В зарубежной практике в процессах ККО (линия 2a) величина \overline{Fe} с возрастанием D_d снижается в большей степени, чем в процессах ККН (линия 2b), вплоть до донной кислородной продувки ($D_d = 1$), благодаря большей интенсивности газовой выделению на единицу объема дутья.

Сегодня, когда в РФ на НТМК и НЛМК возрождается комбинированный конвертерный процесс, при выборе его вида (ККО, ККН) и доли донного дутья D_d целесообразно для ориентировочной оценки его параметров использовать имеющийся опыт.

Выводы

Рассмотрены причины возникновения выбросов в конвертерных процессах в зависимости от состава перерабатываемых чугунов.

Проанализированы закономерности гидродинамики продувки в конвертерах донного, верхнего и комбинированного дутья.



ЛИТЕРАТУРА

1. Verein Deutscher Ingenieure // Stahl und Eisen. – 1931. – № 36. – S. 1105-1113; 1931. – № 37. – S. 1136-1148.
2. Leroy P., Gombert M., Trentini B. // Rev. Met. – 1953. – № 6. – S. 433-444.
3. Ueda T., Taga M., Yoshida K. et al. // Rev. Met. – 1981. – № 4. – S. 361-373.
4. Шнееров Я. А., Носов К. Г., Борисов Ю. Н. и др. // Сталь. – 1986. – № 1. – С. 21-24.
5. Де-Грааф Ж. Е. Производство стали с применением кислорода. – М.: Metallurgia, 1966. – С. 150-163.
6. Nakamura Y., Umezawa K., Minami A. // JISI Jap. – 1986. – V. 72. – № 3. – P. 88-95.
7. Арсентьев П. П., Квитко М. П. Конвертерный процесс с донным дутьем. – М.: Metallurgia, 1983. – 128 с.
8. Etienne A. // Met. Rep. CNRM. – 1975. – № 43. – P. 13-21.
9. Leroy P. // Rev. univ. mines. – 1953. – Vol. A 96. – № 85. – S. 512-539.
10. Kato Y., Nakanishi K., Nozaki T., Suzuki K. // JISI Jap. – 1982. – V. 68. – № 10. – P. 1604-1612.
11. Охотский В. Б. Модели металлургических систем. – Днепропетровск: Системные технологии, 2006. – 287 с.
12. Vöge H., Eickworth E. // Ibid. – 1959. – № 23. – S. 1715-1722.
13. Смоктий В. В., Лапицкий В. В., Вышиваний А. Г. // Изв. вузов. Черн. металлургия. – 1977. – № 6. – С. 42-45.
14. Kai T., Okohira K., Higuchi M., Hirai K. // JISI Jap. – 1982. – V. 68. – № 14. – P. 1964-1970.
15. Маринин А. В. Современный кислородно-конвертерный процесс. – Киев: Техніка, 1974. – С. 86-87.

Анотація

Охотський В. Б.
Викиди у конвертерних процесах

Проаналізовано продувність чавуну з різним складом та закономірності виникнення викидів, зумовлених гідродинамічними процесами у конвертерах донного, верхнього та комбінованого дуття.

Ключові слова

конвертер, викиди, гідродинаміка, склад чавуну

Summary

Okhotskii V. B.
Slopping in converter processes

The slopping ability of various compositions cast iron and the mechanism of slopping beginning stipulated by hydrodynamical processes in bottom-blown, top-blown and combined converters are studied.

Keywords

converter, slopping, hydrodynamics, composition of iron

Поступила 05.02.13