

16.02
88

ЧЕЛЯБИНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ИМЕНИ ЛЕНИНСКОГО КОМСОМОЛА

На правах рукописи

Кудрин Николай Антонович

УДК 669.184.244.66.012.1

ОПТИМИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ КОНВЕРТОРНЫМ ПРОЦЕССОМ И ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ
ВЫБРОСОВ НА ОСНОВЕ ИНФОРМАЦИИ О ДИНАМИКЕ ВАННЫ

Специальность 05.16.02 - Metallургия черных металлов

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

ЧЕЛЯБИНСК
1988

Работа выполнена во Всесоюзном научно-исследовательском институте охраны труда и техники безопасности черной металлургии и на Челябинском металлургическом комбинате

Научный руководитель — кандидат технических наук
В. Д. Уидков


Официальные оппоненты: лауреат Ленинской премии,
доктор технических наук,
профессор А. Н. Морозов,
кандидат технических наук
Г. И. Фугман.

Ведущее предприятие — Нижне-Тагильский металлургический комбинат.

Защита диссертации состоится " _____ " _____ 1988 г.
на заседании специализированного совета (шифр К 053.13.03)
в _____ часов в Челябинском политехническом институте им.
Ленинского комсомола по адресу: 454044, г. Челябинск, проспект
им. В. И. Ленина, 76.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.
Автореферат разослан " _____ " _____ 1988 г.

Ученый секретарь
специализированного совета,
кандидат технических наук,
доцент

 О. К. Токковой

Актуальность работы. Прогресс черной металлургии СССР во многом связывает с развитием и совершенствованием кислородно-конверторного процесса, обусловленным, наряду с общеизвестными преимуществами, возможностями его автоматизации, расширения сортамента выплавляемой стали и улучшения ее качества. Однако кислородно-конверторные процессы не свободны от недостатков, одним из которых, общим для всех является выбросы расплава при продувке. Выбросы ухудшают технико-экономические показатели процесса, являются основным сдерживающим фактором интенсификации продувки, увеличения производительности конверторов и представляют опасность для технологического персонала.

Анализ современных представлений о природе образования выбросов, борьбе с ними, а также существующих средств контроля конверторной плавки, показал, что выбросы являются следствием аномального хода процесса, обусловленного несовершенством: с одной стороны, представлений о динамике уровня расплава при продувке и влиянии на нее технологических параметров, с другой стороны - существующих для этих целей средств контроля и режимов управления уровнем. В связи с изложенным работа, направленная на решение названных проблем, является актуальной.

Цель работы. Исследование и уточнение качественного и количественного влияния технологических параметров кислородно-конверторного процесса на частоту выбросов расплава; исследование взаимодействия гамма-излучения с расплавом и газопылевой средой конверторного процесса, обоснование и разработка радионейтрального способа и устройства контроля уровня расплава в конверторе; исследование и установление закономерностей динамики уровня расплава от основных параметров конверторного процесса; разработка оперативной системы управления конверторной плавкой и предотвращения выбросов.

Научная новизна работы. В промышленных условиях исследована частота выбросов расплава из конвертора при продувке, уточнено качественное и определено количественное влияние отдельных технологических параметров конверторного процесса на частоту выбросов. Впервые исследовано взаимодействие гамма-излучения с расплавом и газопылевой средой применительно к конверторному

процессу и определены характеристики рассеяния гамма-квантов в зависимости от основных параметров конверторного процесса. Впервые разработаны способ и устройство контроля уровня расплава, в которых в качестве носителя информации использовано гамма-излучение. Способ защищен а.с. СССР, патентом ГДР, а.с. ЧССР, устройство - а.с. СССР. С помощью разработанных способа и устройства получены новые знания о конверторном процессе, выражающиеся в установлении качественного и количественного влияния технологических параметров процесса на изменение уровня расплава, уточнении представлений о гидродинамике конверторной ванны, механизме и закономерностях шлакообразования и выбросов. Разработана оперативная система управления конверторным процессом и предотвращения выбросов, отличающаяся от известных применением управляющих воздействий не в фиксированные моменты времени плавки, а в зависимости от конкретного значения уровня расплава.

Практическая значимость работы. Практике кислородно-конверторного процесса предложены новые, одинаково пригодные для любых способов конвертирования средства контроля уровня расплава. Получены закономерности динамики уровня расплава в зависимости от различных технологических параметров процесса, которые могут быть использованы научно-исследовательскими институтами и предприятиями при разработке новых и совершенствовании существующих технологий конверторного процесса. На их основе разработана оперативная система управления конверторной плавкой и предотвращения выбросов, позволяющая увеличить выход годной стали, уменьшить расход плавикового шлата и повысить уровень безопасности процесса.

Результаты работы могут быть использованы предприятиями Минчермета и Минцветмета при производстве металлопродукции в конверторах, а также при разработке систем управления технологическим процессом плавки в конверторах, в том числе автоматизированных.

Публикация и апробация результатов работы. Результаты работы должны на Всесоюзной и республиканской научно-технической конференциях. По теме диссертации опубликовано 5 статей и получено два авторских свидетельства СССР, патент ГДР, авторские свидетельства ЧССР и НРБ.

Объем работы. Диссертационная работа изложена на 149 стр. машинописного текста, состоит из 5 глав, введения, приложений и списка использованных источников. В тексте содержится 60 рисунков и 7 таблиц. Библиографический список включает 138 наименований.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КОНВЕРТОРНОГО ПРОЦЕССА НА ЧАСТОТУ ВЫБРОСОВ

Исследования проводили в конверторных цехах Челябинского (ЧМК), Новолипецкого (НЛМК), Криворожского ("Криворожсталь") и Карагандинского (КарМК) металлургических комбинатов. Объем исследований составил по 400 плавов на каждом предприятии. Данные исследований были обработаны по стандартным методикам на ЭВМ ЕС-1020 с целью получения зависимостей частоты выбросов от отдельных технологических параметров плавки и связи между ними. При этом частоту выбросов определяли по выражению:

$$n'_i = \frac{n_i}{N} \cdot 100\% \quad , \quad (1)$$

где n'_i - частота выбросов, %;

n_i - количество плавов с выбросами в выбранном интервале исследуемого параметра;

N - общее количество плавов в том же интервале.

Установлено, что наибольшая частота выбросов наблюдалась на конверторах Криворожского и Челябинского металлургических комбинатов. Поскольку удельный объем конверторов этих комбинатов наименьший, то при прочих равных условиях именно он определяет повышенную частоту выбросов.

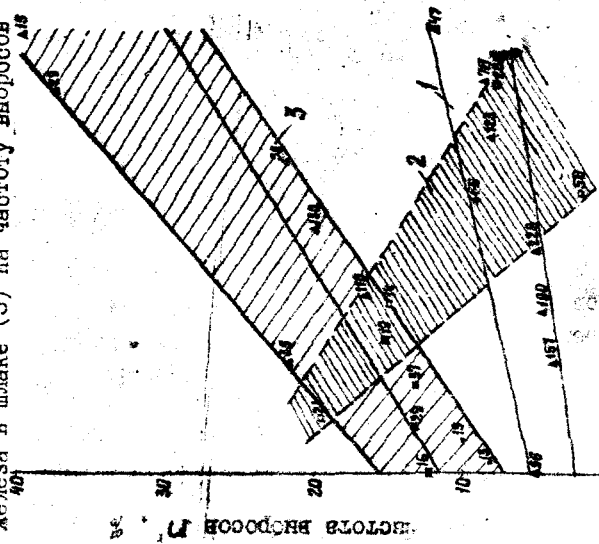
На рис. 1, 2 показана зависимость частоты выбросов от важнейших параметров конверторного процесса. Видно, что с увеличением окисленности шлака, т.е. содержания в нем окислов железа, частота выбросов растет. Полученная зависимость достаточно надежно описывается линейным уравнением

$$n'_i = 2,663 + 0,891X \quad (2)$$

$$r = 0,96$$

$$\sigma_2 = 0,024,$$

Влияние высоты фурмы (1) над расплавом, температуры чугуна (2) и содержания окислов железа в шлаке (3) на частоту выбросов



Содержание в шлаке FeO, %

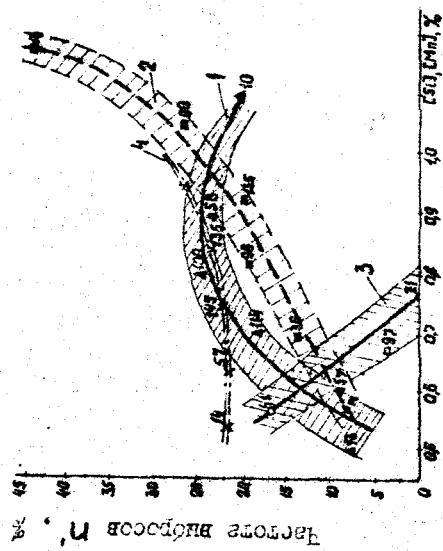
Высота фурмы над расплавом H_f , м

Температура чугуна t_{ch} , °C

Числы у точек - количество плавков

Рис. 1

Влияние основности шлака (1), расхода кислорода (2), содержаниия кремния (3) и гартанца (4) на частоту выбросов



Расход кислорода KO_2 , м³/т

Основность шлака λ_B

Содержание кремния λ_{Si} , %

Содержание марганца λ_{Mn} , %

Рис. 2

Числы у точек - количество плавков

где n_i' - частота выбросов, %;
 X - содержание окислов железа в шлаке, %.

В свою очередь, окисленность шлака зависит от дутьевого режима плавки, что подтверждается данными исследований, а именно с увеличением высоты фурмы над расплавом и расхода кислорода частота выбросов возрастает. Действительно при продувке высоко поднятой фурмой и большим расходе кислорода усиливается движение верхних слоев ванны, накопление окислов железа в шлаке, разбрызгивание металла и приток корольков металла в шлак, что способствует вспениванию последнего и увеличению частоты выбросов.

Подтверждено существенное влияние на частоту выбросов шлакового режима плавки, в частности количества шлака. С увеличением количества шлака частота выбросов растет, что объясняется повышением уровня ванны и снижением удельного объема агрегата.

Получена количественная оценка частоты выбросов от основности шлака. С увеличением основности шлака до определенного предела его вспениваемость, а следовательно, и частота выбросов возрастают, дальнейший же рост основности сопровождается некоторым снижением частоты выбросов. Влияние основности шлака (рис.2) в интервале 2,5-4,8 (по данным КарлМК) на частоту выбросов описывается уравнением:

$$n_i' = -77,5568 + 49,0011X - 5,9581X^2, \quad (3)$$

$$\eta = 0,94, \quad \sigma_{\eta} = 0,049,$$

где n_i' - частота выбросов, %;
 X - основность шлака.

С целью снижения частоты выбросов необходимо уменьшать основность шлака до значений ниже критических, однако в практике предъявляются жесткие требования к рафинирующей способности шлака, которая зависит от его основности и активности. Величины основности, окисленности и активности шлака во многом определяются параметрами чугуна, заливаемого в конвертор, особенно температурой, содержанием кремния и марганца. С увеличением температуры чугуна частота выбросов снижается, т.к. сокращается период разогрева ванны до начала интенсивного обез-

углероживания, а также уменьшается окисленность шлага. Фактором, действующим в противоположном направлении, является увеличение расхода лома на плавку.

Влияние содержания кремния и марганца в чугуна на частоту выбросов противоречиво. Противоречие объясняется, с одной стороны, влиянием на температурный режим начала процесса и, с другой стороны - на физикохимические свойства шлага. Марганец и особенно кремний, являясь теплоносителями, способствуют сокращению периода разогрева ванны до начала интенсивного обезуглероживания, снижению окисленности шлага и уменьшению частоты выбросов. Наряду с этим содержание окислов кремния в шлаке способствует его вспениванию, а окислов марганца - повышению окисленности, но снижению вспениваемости. Превалирующим, очевидно, является влияние кремния на температурный режим плавки, а марганца на окисленность шлага, вследствие чего с увеличением содержания кремния в чугуна частота выбросов снижается, а с увеличением содержания марганца выше 0,8%-растет.

Таким образом, исследования влияния технологических параметров процесса на частоту выбросов показали их сложную взаимосвязь, сложность борьбы с выбросами посредством контроля и варьирования названных параметров и необходимость в осуществлении непрерывного контроля за уровнем расплава, являющимся интегральным показателем хода плавки и позволяющим прогнозировать и предотвращать выбросы.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ С РАСПЛАВОМ И ГАЗОПЛЕВОЙ СРЕДОЙ КОНВЕРТОРНОГО ПРОЦЕССА, РАЗРАБОТКА СПОСОБА И УСТРОЙСТВА НЕПРЕРЫВНОГО КОНТРОЛЯ УРОВНЯ РАСПЛАВА

Для осуществления прямого непрерывного контроля уровня расплава в конверторе выдвинули идею локации поверхности расплава гамма-квантами. При этом основывались на предположении, что изменение плотности расплава (шлакометаллической эмульсии), ее состава и запыленности конверторных газов по ходу плавки не оказывает существенного влияния на характер рассеяния (отражения) гамма-квантов. Для выяснения правомерности исходных предположений исследовали взаимодействие гамма-излучения с расплавом и газоплевой средой конверторного процесса методом математического моделирования (метод Монте-Карло).

Принимаем, что источник гамма-излучения и детектор находятся над поверхностью расплава и оси их параллельны. Поток гамма-квантов с энергией $E_0 = 0,662$ МэВ и угловым расхождением $\theta = 6$ град. направляется на поверхность расплава в конверторе и рассеивается им. Детектор же регистрирует количество провазаимодействовавших с ним гамма-квантов в расчете на один испущенный источником гамма-квант.

Моделирование траекторий гамма-квантов проводили методом прямой имитации (аналоговое моделирование), при котором траектории строятся в точном соответствии с реальными сечениями взаимодействия гамма-квантов с веществом. Моделирование свободного пробега гамма-кванта в гетерогенной среде осуществляли с использованием дельта-рассеяния на границах зон, например, газ-расплав.

Среднее число гамма-квантов, провазаимодействовавших с детектором, определяли из выражения:

$$A = \int d\epsilon \int d\vec{z} \int d\vec{\Omega} \cdot \Phi(\vec{z}, \vec{\Omega}, \epsilon) \cdot (\vec{\Omega}, \vec{n}) \cdot J_{\Delta\Omega}(\vec{z}, \vec{\Omega}) \cdot J_{S_d}(\vec{z}) \cdot \delta(\epsilon) \cdot P(\epsilon), \quad (4)$$

где E - энергия гамма-кванта (частицы);

\vec{z} - радиус-вектор положения частицы;

$\vec{\Omega}$ - направление движения частицы;

Φ - поток гамма-квантов (частиц);

J - линейная характеристика поля частиц;

$\Delta\Omega$ - телесный угол, под которым виден чувствительный элемент детектора из точки \vec{z} ,

S_d - круг в плоскости торца коллиматора, образуемый отверстием коллиматора чувствительного элемента детектора;

$\delta(\epsilon)$ - дельта-функция;

$P(\epsilon)$ - эффективность регистрации детектора.

Описанный метод реализован в универсальной программе расчета линейных характеристик полей гамма-квантов в многослойной рассеивающей среде, состоящей из двух частей: программы подготовки констант и моделирующей программы. Программа написана на языке Фортран-ЕС и реализована на ЭВМ ЕС-1061.

Расчеты проводили для плотностей шлакометаллической эмульсии $\rho_{\text{шла}} = 2,4,6$ г/см³, составов шлака, соответствующих началу, середине и концу продувки. Химический состав газа и шли над расплавом принимали: газ - CO, шль - Fe₂O₃. Плотность газа принимали равной 200 г/м³, содержание шли изменяли в пределах от 0 до 1000 г/м³.

Уровень расплава изменялся в интервале 3–17 м. Варьирование одного из параметров производили при средних значениях остальных. Статистическая погрешность результатов расчетов не превышала 1,5% при доверительной вероятности 0,95.

Исследованиями установлено, что интенсивность регистрируемого детектором гамма-излучения функционально зависит от расстояния между источником гамма-излучения и расплавом по закону обратной пропорциональности и практически не зависит от плотности шлакометаллической эмульсии. Химический состав шлака не оказывает существенного влияния на величину интенсивности рассеянного гамма-излучения (неопределенность "сигнала" детектора, обусловленная химическим составом шлака, не превышает 6%). Газопылевой слой (ПЭС) влияет на величину регистрируемого детек-

Блок-схема УКУР

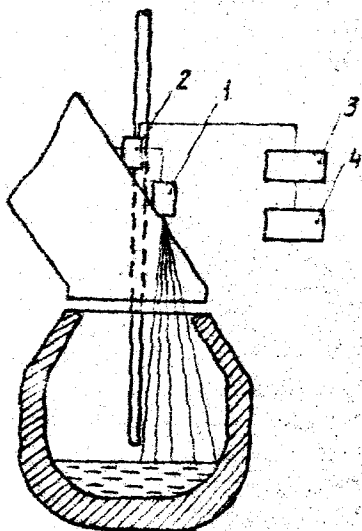


Рис. 3

тором рассеянного гамма-излучения, однако для интервала высот 3–13 м неопределенность "сигнала", обусловленная наличием ПЭС, не превышает 7%. После теоретического обоснования применимости радиоизотопного способа для контроля уровня расплава в конвертере разработали устройство контроля уровня расплава (УКУР), блок-схема которого представлена на рис. 3.

Основными элементами УКУР являются: 1 - блок гамма-источника; 2 - блок детектирования; 3 - блок обработки информации; 4 - блок отображения информации. В качестве источника гамма-излучения был выбран радионуклид ^{137}Cs активностью $2 \cdot 10^{14}$ Бк, поставляемый в защитном контейнере БИМ-90А, в качестве детектора - сцинтилляционный блок детектирования типа БИСГ-2-23 или 693Г-20.

В ходе создания УКУР были решены проблемы: термомеханической защиты источника и детектора гамма-излучения, расположенных над конвертером, определения интервала энергий рассеянного гамма-излучения, преобразования выходного сигнала блока обработки информации в линейно зависящий от уровня расплава, компенсации постоянной составляющей рассеянного гамма-излучения, регистрируемого детектором, корректировки показаний блока отображения информации при колебаниях интенсивности рассеянного гамма-излучения в ходе кампании.

После решения названных проблем УКУР было смонтировано на конвертере Челябинского металлургического комбината и передано в опытно-промышленную эксплуатацию. Опытно-промышленная эксплуатация в основном подтвердила расчетные характеристики УКУР и его преимущества в контроле динамики уровня расплава по сравнению с используемым акустическим способом контроля. Таким образом, впервые в СССР был создан инструмент, с помощью которого появилась возможность исследовать динамику уровня расплава в конвертере при продувке и влияние на нее основных параметров технологического процесса.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ КОНВЕРТОРНОЙ ШЛАКИ ПРИ ПРОДУВКЕ, РАЗРАБОТКА ОПЕРАТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПЛАВКОЙ И ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ВЫБРОСОВ

Исследования проводили в конвертерном цехе Челябинского металлургического комбината на конвертере № 1 номинальной садкой 160 т и удельным объемом $0,84 \text{ м}^3/\text{т}$ садки. Шихта состояла на 73% из жидкого чугуна, остальное — металлургический лом средней плотностью $1,73 \text{ т}/\text{м}^3$. Температура чугуна колебалась в пределах $1290\text{--}1330^\circ\text{C}$, содержание углерода 3,0–4,5%, кремния 0,72–1,0%, марганца 0,62–0,98%, серы 0,021–0,042%, фосфора 0,008–0,018%. В качестве шлакообразующих использовали свежемолотую известь с содержанием CaO 85–93% активностью 60–85%, известняк по ОСТ 14-64-80, плавиковый шпат по ГОСТ 76-18-83 и доломит по ТУ 14-8-222-77.

Для продувки применяли технически чистый кислород (99,5% O_2), интенсивность продувки составляла 350–450 $\text{л}/\text{мин}$. Уровень расплава непрерывно контролировался с помощью УКУР. При этом

информация одновременно выдавали оператору на прибор отображения информации и записывали в виде диаграмм динамики уровня расплава. Синхронно с ходом процесса фиксировали параметры режима продувки, время и количество присаживаемых материалов. Информацию о режиме продувки и присадки шлакообразующих материалов наносили на диаграммы динамики уровня расплава. Данные исследований с 259 плавов подвергли математической обработке методом интегральной регрессии. При рассмотрении зависимости изменения уровня расплава от отдельных параметров процесса за начало отсчета принимали начало воздействия этого параметра при неизменных прочих. Для формализации зависимостей рассчитывали уравнения регрессии и коэффициенты корреляции. Соответствие аппроксимирующих уравнений экспериментальным данным устанавливали по критерию Пирсона χ^2 (хи-квадрат) при доверительном уровне $\alpha = 0,05$.

Исследованиями установлено, что уровень расплава в начале продувки повышается относительно первоначального, затем на 4-6-й минутах поднимается до отметки 4-5 м и несколько снижается к окончанию продувки. Отмечено также, что повышение уровня расплава с последующим выбросом происходит не мгновенно, т.е. не имеет взрывного характера, а длится 20-30 с.

Известно, что в процессе эксплуатации конвертора происходит износ футеровки, сопровождающийся увеличением его объема, понижением уровня спокойной ванны и снижением частоты выбросов. Рассмотрение зависимости изменения среднего уровня расплава от изменения геометрии рабочего пространства конвертора по ходу кампании показало, что она довольно надежно описывается уравнением:

$$H_{p.cр} = 1,8 + 0,08 W_{\phi} + 1,9/W_{\phi}, \text{ м}, \quad (5)$$

где W_{ϕ} - "возраст" футеровки конвертора, плавов 10^{-2} .

Дана количественная оценка изменения уровня расплава в зависимости от содержания марганца и кремния в чугуна, а также его температуры.

Так, с увеличением содержания марганца и кремния в чугуна, а также с повышением его температуры средний уровень расплава за плавку снижается:

$$H_{p, \text{cp}} = 3,37 - 1,0[Mn], \text{ м} \quad \chi^2 = 21,4 \quad (6)$$

$$H_{p, \text{cp}} = 2,9 - 0,14[Si], \text{ м} \quad \chi^2 = 27,95 \quad (7)$$

$$H_{p, \text{cp}} = 17,0 - 0,01(T_{\text{дуг}}, ^\circ\text{C}), \text{ м} \quad \chi^2 = 2,2 \quad (8)$$

Зависимости (7,8) подтверждают существующие представления. Кажущееся противоречие влияния марганца на уровень расплава объясняется действием его окислов, уменьшающим вспенивание шлака. С этих позиций низкий уровень расплава в начале процесса, обусловленный высоким содержанием окислов марганца в шлаке, побуждает оператора к принятию мер по подъему уровня, что в итоге приводит к выбросам.

Для решения проблемы управления плавкой необходимо четко знать реакцию расплава на управляющие воздействия, важнейшими из которых являются положение фурмы и интенсивность дутья. С этой целью в период интенсивного обезуглероживания (при неизменных прочих параметрах) изменяли интенсивность продувки.

Влияние изменения интенсивности продувки на приращение уровня расплава описывается уравнениями:

при увеличении интенсивности дутья

$$H_p = 0,10 - 0,22z + 0,003z^2, \text{ м} \quad \chi^2 = 3,3, \quad (9)$$

при уменьшении интенсивности дутья

$$H_p = 0,10 + 0,003z - 0,0002z^2, \text{ м} \quad \chi^2 = 7,0, \quad (10)$$

где z - количество пятнадцатисекундных интервалов с момента изменения интенсивности дутья.

Попытка таким же образом проследить реакцию расплава на изменение положения фурмы не увенчалась успехом. Причиной этого является мотивированное изменение положения фурмы (в ответ на наметившуюся негативную тенденцию) и инерционность механизма воздействия (более 2 мин.). С учетом сказанного была рассмотрена связь между средним положением фурмы ($H_{f, \text{cp}}$) в период интенсивного обезуглероживания и приращением уровня расплава относительно его значения до завершения периода наведения шлака.

Полученная связь достоверно описывается уравнением:

$$H_{\text{р.л}} = -8,6 + 16,16H_{\text{ф.ср}} - 9,36H_{\text{ф.ср}}^2 + 1,9H_{\text{ф.ср}}^3 \cdot m \cdot X^2 = 0,38 \quad (II)$$

Механизм влияния данных параметров на изменение уровня расплава связан с изменением окисленности ванны. Действительно, чем глубже опущена фурма, тем глубже проникает струя в металл, тем больше путь окислительных включений наверх, время контакта с металлом, интенсивность перемешивания ванны, подвод восстановителя, а следовательно, меньше окисленность шлака и его склонность к возмущению. В практике конверторного производства для управления шлаковым режимом пользуются присадками шлакообразующих.

Изменение уровня расплава после присадки шлакообразующих материалов

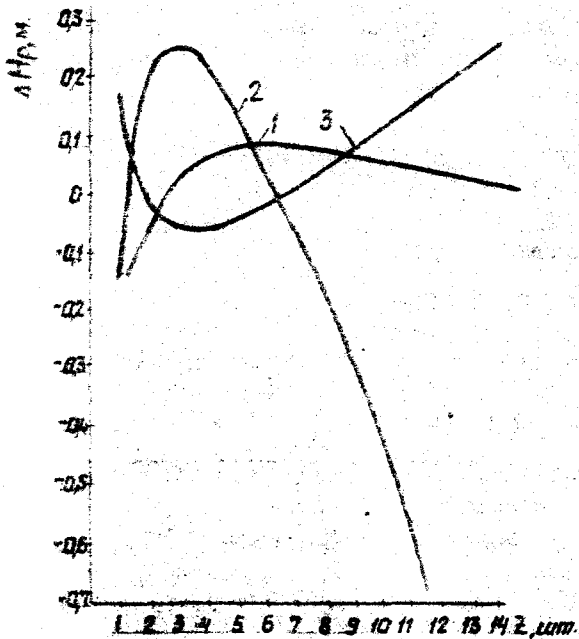


Рис. 4

В ходе исследований установлена зависимость изменения уровня расплава при присадке доломита (1), известняка (2) и плавикового шпата (3) (рис. 4).

Количественно их влияние на изменение уровня расплава описывается уравнениями:

$$H_{\text{р.л}} = 0,18 - 0,01Z - 0,32Z^{-1}, \text{ м} \quad (12)$$

$$H_{\text{р.л}} = 0,95 - 0,13Z - 0,97Z^{-1}, \text{ м} \quad (13)$$

$$H_{\text{р.л}} = -0,32 + 0,04Z + 0,42Z^{-1}, \text{ м} \quad (14)$$

где Z - количество пятнадцатисекундных интервалов от начала воздействия.

Видно, что присадка известняка и доломита в первые секунды вызывает повышение уровня расплава за счет увеличения объема газовой фазы, вызванного диссоциацией минералов, в дальнейшем же уровень расплава снижается вследствие их охлаждающего действия на шлак. Более сильное действие известняка связано с тем, что он повышает основность и вязкость шлака, в то время как содержащаяся в доломите MgO действует в противоположном направлении. Присадка плавикового шпата резко понижает вязкость шлака, увеличивает его газопроницаемость и понижает уровень расплава. Однако в дальнейшем за счет повышения активности окислов железа шлака, обусловленного присутствием иона фтора, интенсифицируется обезуглероживание корольков, вспенивание шлака и повышение уровня расплава. Приведенные парные зависимости динамики уровня расплава от ряда параметров процесса и их аналитические выражения получены впервые.

Однако для эффективного управления уровнем расплава требовалось оценить комплексное влияние управляющих воздействий на его динамику. Учитывая данное обстоятельство и обоснованность деления конверторной планки на три периода, а также зная характер процессов, происходящих в конверторе в эти периоды, формализовали значение H_p , вводя в уравнения только управляющие параметры и время.

Для периода шлакообразования (с 1-ой по 7-ую минуты):

$$H_p = 27,3 + 0,56 Z - 0,069 Z^2 - 3,08H_2 - 0,047 U_{O_2} - 0,132Q_{ш} - 1,758Q_2 + 6,267Q_{ш} - 3,313Q_3 \quad (15)$$

$$x^2 = 0,0 \quad R = 0,99$$

Для периода интенсивного обезуглероживания (с 7-ой по 13-ю минуты):

$$H_p = -16,1 + 0,07 Z - 2,67 H_2 + 0,059 U_{O_2} - 0,035 Q_2 - 2,447 Q_{ш} - 2,60 Q_3 \quad (16)$$

$$x^2 = 0,0 \quad R = 0,99$$

Для окончания продувки (с 13-й по 19-ю минуты):

$$H_p = -17,3 - 1,41 \zeta + 0,046 \zeta^2 + 2,20H_{\text{ш}} - 0,009 J_{O_2} + 3,19 Q_u + 4,20 Q_d - 7,07 Q_m + 1,82 Q_z \quad (17)$$

$$x^2 = 0,0 \quad R = 0,99$$

В уравнениях (15, 16, 17):

ζ - время продувки, мин,

$H_{\text{ш}}$ - положение фурмы относительно уровня спокойной ванны, м,

J_{O_2} - интенсивность продувки, мл/мин,

Q_u, Q_d, Q_m, Q_z - количество отданных извести, доломита, шпата и известняка, т.

Полученные уравнения позволяют рассчитать количественные значения уровня расплава для любого момента продувки плавки в 160 т конверторе. Используя приведенные зависимости можно прогнозировать значения уровня расплава.

По результатам исследований была разработана и внедрена оперативная система управления конверторной плавкой и предотвращения выбросов, суть которой заключается в применении управляющих воздействий в зависимости от конкретного значения уровня расплава в текущий момент, а не в фиксированные моменты плавки, как предусматривалось технологической инструкцией ранее. Промышленные испытания подтвердили действительность полученных зависимостей динамики уровня расплава от различных параметров процесса и разработанной на их основе оперативной системы управления конверторной плавкой. Внедрение системы оперативного управления плавкой позволяет исключить выбросы расплава и связанные с ними потери металла, а также оптимизировать шлаковый режим и снизить расход плавикового шпата, за счет чего получить эффект в 275,9 тыс. рублей в год на один конвертор. Кроме того, предотвращение выбросов приводит к повышению уровня безопасности процесса на 15,5%.

ВЫВОДЫ

1. Проанализированы современные представления о природе образования выбросов металла и шлака из конвертора при продувке, установлена зависимость их от многих технологических параметров. Качественное влияние технологических факторов на образование выбросов изучено достаточно полно, данные по количественной оценке этого влияния малочисленны и противоречивы.

Известны способы предотвращения выбросов, однако их эффективность всецело зависит от надежности и оперативности информации о ходе процесса. Применяемые для этих целей в СССР способы и устройства контроля основаны на использовании косвенных параметров конверторного процесса и не обеспечивают необходимых надежности и оперативности. Показаны преимущества способов и устройств прямого контроля конверторного процесса, особенно уровня расплава, и актуальность разработки отечественных способов и устройств этого класса.

2. В условиях Челябинского, Новолипецкого, Криворожского и Карагандинского металлургических комбинатов исследовано влияние технологических параметров плавки на частоту выбросов. Установлено, что увеличение окисленности шлака, расхода кислорода, высоты фурмы над расплавом и удельного расхода извести (шлакообразующих) способствует увеличению частоты выбросов. В обратном направлении действует увеличение температуры чугуна, его доли в завалке и содержание кремния в чугуне. Увеличение основности шлака до значения, равного 4, увеличивает частоту выбросов. При дальнейшем увеличении основности частота выбросов уменьшается. Рассчитаны уравнения регрессии, позволяющие количественно оценить частоту выбросов в зависимости от окисленности и основности шлака.

3. Методом статистического моделирования исследованы основные закономерности взаимодействия гамма-излучения с рассеивающей средой применительно к конверторному процессу. Установлено, что интенсивность рассеянного гамма-излучения и обусловленная ею величина сигнала, регистрируемого детектором, возрастает с уменьшением расстояния между осями источника и детектора и расстояния до поверхности расплава. Плотность и

химический состав шлака не оказывают существенного влияния на величину сигнала. Также несущественно влияние газошлевого слоя в интервале высот 3-13 м.

4. На основе проведенных исследований впервые в СССР разработан прямой способ контроля уровня расплава в конверторе посредством регистрации рассеянного поверхностью расплава гамма-излучения. Способ защищен а.с. СССР № 908834, патентом ГДР № 230265 и а.с. ЧССР № 244548. Разработано устройство контроля уровня расплава (УКУР), реализующее названный способ. В процессе разработки осуществлены: выбор радионуклида и рассчитана его активность, выбор детектора гамма-излучения и рассчитана его защита, линеаризация выходного сигнала радиометра, разработка блока отображения информации. Устройство защищено а.с. № 1154336. Сравнительные испытания показали более высокую надежность и информативность его по сравнению с акустическим методом контроля.

5. С помощью устройства контроля уровня расплава исследована динамика уровня расплава при продувке, а также влияние на нее ряда технологических параметров и управляющих воздействий. На основе фактических данных впервые в СССР показано изменение уровня расплава в конверторе по ходу продувки, определено влияние технологических параметров и управляющих воздействий (изменение положения фурмы, загрузка шлакообразующих материалов и т.д.) на характер поведения расплава. Полученные данные позволяют определить конкретные меры по предотвращению аномальных явлений конверторного процесса.

6. Впервые получены уравнения регрессии, позволяющие рассчитать уровень расплава для трех периодов продувки, а также эмпирические зависимости изменения уровня расплава от положения фурмы, интенсивности продувки, "возраста" футеровки, содержания кремния и марганца в чугуна и его температуры.

7. На основе новых сведений о влиянии технологических параметров и управляющих воздействий на характер поведения расплава разработаны рекомендации по управлению конверторной плавкой с использованием устройства контроля уровня расплава. Существо рекомендаций заключается в применении управляющих воздействий не по времени продувки, а в зависимости от конкретных значений уровня расплава.

Пересмотрены также диапазон изменения и дозирование управляющих воздействий в целях управления уровнем.

8. Способ непрерывного контроля уровня расплава в конвертере, устройство для бесконтактного контроля уровня расплава и рекомендации по управлению конверторной плавкой внедрены в конверторном цехе ЧМК. Названные технические мероприятия под общим названием "Система управления конверторной плавкой" экспонировались на ВДНХ СССР "Охрана труда-84" и были удостоены серебряной медали.

9. Использование устройства контроля уровня расплава в конвертере и рекомендаций по управлению плавкой позволяет в условиях КИЦ ЧМК исключить выбросы расплава и связанные с ними потери металла в скрап, снизить расход плавикового шпата, сделать конверторный процесс более безопасным.

Улучшение названных показателей позволяет получить социальный и экономический эффект. Ожидаемая величина последнего на один конвертор составляет 275,9 тыс.руб. в год, повышение уровня безопасности конверторного процесса за счет предотвращения выбросов составит 15,5%.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ РАБОТЫ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ
ИЗДАНИЯХ:

1. Исследование выбросов расплава из конвертора и пути их предотвращения/ Шидков В.Д., Кудрин Н.А., Янина Л.К.// Пути снижения производственного травматизма и профессиональной заболеваемости в черной металлургии: Науч. тр./ ВНИИТЧермет. М.: Металлургия, 1982. - С.6-9.
2. Радиационное устройство для контроля уровня расплава при конверторной плавке/ Шидков В.Д., Кудрин Н.А., Бухенко В.В. и др.// Черная металлургия. Бюллетень-га "Черметинформация". М., 1983. - № 8. - С.50-51.
3. Контроль уровня расплава в конверторе как средство предотвращения выбросов/ Шидков В.Д., Кудрин Н.А., Янина Л.К., Соколов В.И.// Безопасность технологических процессов и оборудования в черной металлургии: Науч.тр./ ВНИИТЧермет. М.: Металлургия, 1984. - С.10-13.
4. Повышение безопасности процесса выплавки стали в конверторах/ Шидков В.Д., Кудрин Н.А., Соколов В.И., Янина Л.К.// Безопасность труда в промышленности. - 1986. - № 9. - С.31-34.
5. Динамика уровня расплава в конверторе при продувке/ Шидков В.Д., Соколов В.И., Кудрин Н.А. и др.// Сталь. - 1987. - № 6. - С.22-24.
6. А.с. 908834 СССР, МКМ с21с 5/30. Способ непрерывного контроля уровня расплава в конверторе/ Шидков В.Д., Кудрин Н.А., Васильев Г.А. и др. (СССР). № заявки 2839354. Заявл. 13.11.79, Опубл. 28.02.82.// Открытия. Изобретения. Промышленные образцы. Товарные знаки. - 1982. - № 8.
7. А.с. 1154336 СССР, МКМ с21с 5/30. Устройство для измерения уровня расплава в конверторе/ Драчук Э.Ф., Клугерман И.И., Умрихин В.Г., Шидков В.Д., Кудрин Н.А. (СССР) - № заявки 3665785. Заявл. 06.10.83., Опубл. 07.05.85.// Открытия. Изобретения. Промышленные образцы. Товарные знаки. - 1985. - № 17.

