

УДК 621.1:669.184.14

И.Г. ЯКОВЛЕВА, заведующая кафедрой, доктор технических наук
А.А. ПЕТРИК, аспирант

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И ОСОБЕННОСТИ ДУТЬЕВЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ВЕРХНЕЙ ПРОДУВКИ ВАННЫ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО АГРЕГАТА КИСЛОРОДОМ

Запорожская государственная инженерная академия

Выполнен анализ литературных источников в части конструктивных особенностей дутьевых устройств для продувки ванны сталеплавильных агрегатов кислородом. Установлено отсутствие однозначных рекомендаций относительно выбора конструкции и оптимального расхода кислорода, подаваемого на продувку и дожигание оксида углерода, выделяемого из ванны сталеплавильного агрегата. Анализ указывает на необходимость разработки новых конструктивных решений кислородных фурм, которые позволят сочетать достоинства известных конструкций и повысить эффективность дожигания отходящих газов в полости сталеплавильного агрегата с улучшением теплового баланса плавки применительно к реальным производственным условиям.

Ключевые слова: сталеплавильный агрегат, продувка ванны, дутьевые устройства, дожигание монооксида углерода, тепловой баланс, энергоресурсы

Введение. Отечественные и зарубежные исследователи относят к числу важнейших проблем разработки ресурсо-энергосберегающих технологий для процесса выплавки стали вопрос повышения эффективности дожигания монооксида углерода в отходящих газах сталеплавильных агрегатов с целью улучшения теплового баланса плавки при продувке ванны кислородом. В условиях дефицита и высокой стоимости энергоресурсов повышение процесса эффективности дожигания оксида углерода позволяет снизить затраты на выплавку стали, а также перерабатывать большое количество чугуна при дефиците лома.

Основная часть исследований. Многолетняя эксплуатация сталеплавильных агрегатов с верхней продувкой ванны убедительно показала достоинства: высокую производительность, простоту конструкции и эксплуатации оборудования, технологическую гибкость по составам перерабатываемых чугунов. В то же время выявлен и ряд существенных недостатков, к которым можно отнести:

- низкую эффективность перемешивания ванны,
- низкую теплоотдачу от факела к ванне;
- неравномерность теплообмена и температурных полей в объеме ванны;
- низкую эффективность дожигания монооксида углерода в полости сталеплавильного агрегата;
- переокисленность металла и шлака;
- повышенное образование выбросов вредных веществ в окружающую среду;

- ограниченные возможности в плане совершенствования теплового баланса плавки и, как следствие, повышенный расход энергоносителей (природного газа и кислорода) на плавку;
- низкую стойкость дутьевых устройств и футеровки сталеплавильных агрегатов

Конструктивные особенности и характеристики, дутьевые режимы, вопросы совершенствования конструкций и повышения стойкости, подробно рассмотрены в ранних [1,2] и современных [3,4] источниках.

Применительно к конструкциям сводовых кислородных фурм отмечено, что последние должны обеспечивать не только повышение эффективности продувки, но и соответствующие условия дожигания монооксида углерода в рабочем объеме с целью улучшения теплового баланса плавки. Как показывает теория [5], теплота, выделяемая при этом, превышает потери теплоты на нагрев расплава и позволяет выполнить период плавления без дополнительных тепловых затрат.

Использование в данном случае для дожигания монооксида углерода кислородной фурмы обычной конструкции имеет ограниченные возможности.

Одним из основных условий повышения степени дожигания монооксида углерода является организация продувки ванны при так называемом «свернутом» («сухом») шлаке. В этом случае, при пониженном уровне шлакометаллического расплава, обеспечивается увеличение свободного от расплава объема газовой фазы, где и происходит дожигание монооксида углерода. Возможность реализации такого режима продувки связана с организацией перемешивания ванны кислородным дутьем и зависит от ко-

личества и расположения фурм, их конструкции, а также теплового и кислородного режима выплавки стали.

По мнению большинства исследователей, увеличение интенсивности подачи кислорода в ванну приводит к снижению длительности жидкого периода и соответственно к увеличению производительности сталеплавильного агрегата, но и также – значительному износу кислородных фурм, опережающему износу огнеупоров сталеплавильного агрегата и практически не оказывает влияния на увеличение степени дожигания монооксида углерода.

Возможность организации дожигания монооксида углерода как в объеме шлакометаллического расплава, так и в свободном газовом объеме сталеплавильного агрегата, а также результаты изучения процесса дожигания, послужили поводом для создания целого ряда конструкций дутьевых устройств, их наконечников, рекомендаций по ведению плавки, что активно продолжается и в настоящее время [6].

В работе [7] к числу основных конструктивных параметров наконечников, определяющих технологические результаты эксплуатации фурм, следует отнести количество, вид, диаметр сопел и угол (углы) их наклона относительно оси фурмы. Число сопел в головке обычно составляет от трех до восьми (чаще шесть). Выполняются они либо в форме цилиндрических каналов, либо имеют профиль сопла Лавалья с диаметрами минимальных сечений 10...18 мм, расположены зачастую симметрично относительно оси фурмы.

Разработка продувочной фурмы с тангенциальным расположением сопел описана в работе [8]. При продувке через фурму такой конструкции улучшается перемешивание металла и шлака в реакционной зоне, особенно с увеличением импульса струй кислорода. Зафиксировано сокращение длительности периодов плавания и доводки.

Авторы работы [5] отмечают перспективность применения для дожигания монооксида углерода до его диоксида двухъярусных, двухконтурных фурм или фурм с использованием специальных сопел. Использование двухъярусной фурмы обеспечивает увеличение содержания диоксида углерода в отходящих газах с 12 до 15...17 %, но теплота, которая выделяется при этом, лишь частично усваивается ванной сталеплавильного агрегата. Вместе с тем, наблюдается значительный локальный износ футеровки агрегата, особенно его сводовой части. Следует учитывать и тот факт, что применение

двухъярусных фурм сопряжено с модернизацией фурменных стенов и значительным увеличением мощности привода перемещения фурмы, что требует дополнительных затрат.

В работе [9] указано, что применение кислородных фурм с двойным углом наклона сопел за счет тангенциальной составляющей импульса дутьевых струй, обеспечивает целенаправленное вращение и интенсификацию перемешивания ванны. Причем, основное преимущество таких фурм заключается не столько в усилении перемешивания ванны в целом, сколько в интенсификации тепло- и массообменных процессов в реакционной зоне, в том числе и увеличении расхода расплава, циркулируемого через нее.

Перспективным направлением при разработке дутьевых устройств в этом случае является расположение сопел для подачи кислорода на дожигание либо непосредственно на срезе головки фурмы, либо вблизи нее [10]. Конструкция головок таких фурм позволяет при помощи центральной группы сверхзвуковых кислородных струй создать объединенную реакционную зону интенсивного выделения монооксида углерода, а направленными дозвуковыми кислородными струями внешнего контура осуществить дожигание монооксида углерода до его диоксида в «свищевом» потоке газов, отходящих из «открытой» реакционной зоны через слой вспененного шлака. Передача теплоты от дожигания монооксида углерода осуществляется непосредственно расплаву без воздействия высокотемпературного факела дожигания на футеровку печи.

В тоже время использование различных конструкций двухконтурных фурм позволяет увеличить содержание диоксида углерода в отходящих газах всего лишь на 3,0...4,5 %, причем низкая технологическая стойкость таких фурм ограничивает широкое их применение в отрасли.

В работе [11] отмечено, что для повышения эффективности продувки и дожигания монооксида углерода возможно использование специальных фурм, совершающих вращательные или циклические поступательные движения по ходу плавки в горизонтальной и вертикальной плоскости за счет специального дополнительного привода фурмы. Интенсификация тепло- и массообменных процессов в ванне в этом случае также обеспечивает передачу теплоты, выделяющейся от дожигания монооксида углерода, непосредственно расплаву без значительного износа футеровки, но это существенно усложняет

ет замену отработанных фурм и требует дополнительного оборудования.

Существует целый ряд дутьевых устройств, позволяющих повысить эффективность дожигания монооксида углерода за счет изменения конфигурации сопел, их специального взаиморасположения в головке для уменьшения скорости истечения потока и увеличения площади контакта с монооксидом углерода [12]. Так, авторами работы [13] при изменении в широких пределах угла воздействия кислородных струй на ванну, опробованы различные конфигурации сопел, в частности постепенно расширяющееся сопло, ступенчатое сопло и сопло с серповидным профилем.

Известны технические решения [10], когда для улучшения условий дожигания монооксида углерода кислород подают вверх по отношению к поверхности ванны под углом $15...75^\circ$ или сопла для дожигания ориентируют, чтобы истекающие из них струи кислорода соударялись над ванной агрегата. Однако результаты исследований, выполненных только в лабораторных и полупромышленных условиях, не могут быть однозначно рекомендованы до промышленного внедрения.

В целом, по мнению авторов работы [5] характер протекания процесса и степень дожигания монооксида углерода зависят как от компоновки продувочных сопел в головке фурмы, так и от высоты расположения фурмы по ходу операции, а также расхода кислорода на дожигание. При этом показано, что коэффициент дожигания ε [$\varepsilon = CO_2 / (CO + CO_2) \cdot 100\%$] зависит от расхода кислорода, а также высоты положения фурмы. Увеличение высоты положения фурмы сопровождается ростом коэффициента дожигания до 100 %.

Результаты исследований по изучению процесса дожигания отходящих газов с коэффициентом ε [14,15], показали, что величина данного коэффициента в начале и конце продувки достигает 100 %, а в середине операции составляет ~ 50 %. При этом путем зондирования по сечению потока было установлено резкое снижение концентрации кислорода по мере удаления от оси потока, незначительное возрастание количество монооксида углерода по радиусу ванны, а также монотонное возрастание содержания диоксида углерода особенно в поверхностном слое потока. Увеличение коэффициента дожигания по мере подъема фурмы объясняется тем, что увеличение длины потока приводит к возрастанию

количества инжесктированного потока монооксида углерода.

Несмотря на предпочтительность использования для сталеплавильных агрегатов, работающих при повышенной интенсивности продувки, многоканальных дутьевых устройств с увеличенным количеством сопел, а также всевозможных многоцелевых конструкций двухъярусных и двухконтурных фурм, как правило, в повседневной практике находят применение фурмы с 4...6 соплами из-за простоты их конструкции.

Возможной причиной проявления отмеченных выше недостатков при опробовании и внедрении в условиях отечественных предприятий предлагаемых конструктивных решений является ограниченность условий применения, а также рекламный характер большинства зарубежных данных о достигнутых технико-экономических показателях, обусловленный продажей лицензий на заявленные процессы, а также применимостью заявленных конструкций только к определенным адаптационным условиям.

При этом по данным [15] большинство из разрабатываемых дутьевых устройств (фурм) остаются только в качестве лабораторных образцов, а не внедренного промышленного оборудования.

Заключение. Анализ вышеприведенных литературных источников указывает на отсутствие в настоящее время однозначных сведений относительно оптимальных расходов кислорода и природного газа [7], нет однозначных рекомендаций относительно выбора конструкции, оптимального расхода кислорода, подаваемого на продувку и дожигание монооксида углерода, который выделяется из ванны агрегата, и рациональной высоты расположения сводовых кислородных фурм. При этом следует отметить, что тип дутьевого устройства оказывает существенное влияние на тепловую работу агрегата.

Анализ материалов известных исследований подтверждает необходимость разработки новых конструкций кислородных фурм. При этом ожидается, что комбинирование уже известных конструктивных решений позволит сочетать достоинства известных конструкций и повысить эффективность дожигания отходящих газов в полости агрегата при улучшении теплового баланса плавки применительно к реальным производственным условиям при минимальных потерях металла без снижения стойкости футеровки сталеплавильных агрегатов.

Бібліографічний список

1. **Глинков, Г. М.** Исследование способов отопления мартеновских печей природным газом [Текст] / Г. М. Глинков // Черная металлургия. – 1965. – № 13. – С. 30-32.
2. **Калошин, Н. А.** Результаты моделирования мартеновских печей, отапливаемых холодным высококалорийным и горячим смешанным газом [Текст] / Н. А. Калошин, Г. М. Глинков, Е. А. Капустин // Известия Вузов. Черная металлургия. – 1961. – № 2. – С. 138-147.
3. **Смирнов, А. Н.** Развитие конвертерного производства стали в мире [Текст] / А. Н. Смирнов // Металл. – 2006. – № 11. – С. 18-27.
4. **Mazumdar, D.** Modeling of steelmaking processes [Text] / D. Mazumdar, J. W. Evans. – Boca Raton, London, New York: CRS Press, Taylor and Francis Group. – 2010. – 463 p.
5. **Меркер, Э. Э.** Физические процессы в конвертере и энергоэкологические показатели производства: монография [Текст] / Э. Э. Меркер, Г. А. Карпенко. – 2-е изд. – Старый Оскол : ООО «ГНТ», 2008. – 328 с.
6. **Лесовой, В. В.** Итоги работы и перспективы технического перевооружения сталеплавильного производства в Украине [Текст] / В. В. Лесовой // Труды 9-го конгресса сталеплавыльщиков. – М. : ОАО «Черметинформация», 2007. – С. 61-66.
7. **Бойко, В. С.** Энергоресурсосбережение в мартеновском производстве Мариупольского металлургического комбината имени Ильича [Текст] / В. С. Бойко, А. В. Сущенко, Е. Н. Лещенко и др. – Научно-производственное издание. – Мариуполь, 2008. – 233 с.
8. **Сахно, А. Е.** Кислородная фурма с плоскощелевыми соплами для сталеплавильных печей [Текст] / А. Е. Сахно, Н. Г. Земляной, Н. М. Виноградов // Черная металлургия. – 1980. – Вып. 22. – С. 43-45.
9. **Чернятевич, А. Г.** Кислородно-конвертерные фурмы с двойным углом наклона сопел [Текст] // А. Г. Чернятевич, А. В. Сущенко // Университетская наука-2012 : тезисы докладов междунар. науч.-техн. конф. (Мариуполь, 24-27.04.2012 г.; Мариуполь : ПГТУ, 2012. – Т. 2. – С. 42-44.
10. **Rizescu, C. Z.** Heavy metals dust from furnace [Text] / C. Z. Rizescu, E. V. Stoian // International Conference on Biomedical Engineering and Technology. – Singapore, 2011. – Pp. 137-141.
11. **Черноусов, П. И.** Рециклинг. Технологии переработки и утилизации техногенных образований и отходов в черной металлургии [Текст] / П. И. Черноусов; монография. – М. : Изд. ДомМИСиС, 2011. – 428 с.
12. **Лухтура, Ф. И.** О потерях энергии при течении газа в соплах. Ч. 1 [Текст] / Ф. И. Лухтура // Вісник Приазовського державного технічного університету. – 2004. – Вип. 14. – С. 287-292.
13. **Морозова, Т. Г.** Возможность увеличения степени дожигания СО в конвертере. Часть 3. [Текст] / Т. Г. Морозова // Современная металлургия начала нового тысячелетия: сб. научных трудов. – Липецк : ЛГТУ. 2005. – С. 28-32.
14. **Singh, V.** Optimization of the bottom tuyeres configuration of the BOF vessel using physical and mathematical modeling [Text] / V. Singh. – ISIJ International. 2007. – Vol. 47, No. 11. – Pp. 1605-1612.
15. **Балаба, А. П.** Аналитическое исследование гидродинамики охлаждающей воды в сводовых кислородных фурмах мартеновских печей [Текст] / А. П. Балаба, А. В. Сущенко // Вісник Приазовського державного технічного університету. – 2007. – Вип. 17. – С. 170-173.

ЯКОВЛЄВА ІРИНА ГЕННАДІЄВНА, доктор технічних наук, завідувач кафедри теплоенергетики, Запорізька державна інженерна академія (Запоріжжя, Україна). E-mail: yakovleva@zgia.zp.ua

ПЕТРИК ОЛЕКСІЙ АНАТОЛІЙОВИЧ, аспірант кафедри теплоенергетики, Запорізька державна інженерна академія (Запоріжжя, Україна). E-mail: iternell7@mail.ru

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА Й ОСОБЛИВОСТІ ДУТТЬОВИХ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ВЕРХНЬОГО ПРОДУВАННЯ ВАННИ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО АГРЕГАТУ КИСНЕМ

Виконано аналіз літературних джерел в частині конструктивних особливостей дуттьових пристроїв для продування ванни сталеплавильних агрегатів киснем. Встановлена відсутність однозначних рекомендацій щодо вибирання конструкції та оптимальної витрати кисню, якого подають на продування та допалювання монооксиду вуглецю, що виділяється з ванни сталеплавильного агрегату. Аналіз вказує на необхідність розробки нових конструктивних вирішень кисневих фурм, які дозволять поєднувати переваги відомих конструкцій та підвищити ефективність допалювання газів у порожнині сталеплавильного агрегату з поліпшенням теплового балансу плавки відповідно до реальних виробничих умов.

Ключові слова: сталеплавильний агрегат, продування ванни, дуттьові пристрої, допалювання монооксиду вуглецю, тепловий баланс, енергоресурси

YAKOVLEVA IRINA, Doctor of Technical Sciences, Head of Department of Heat and Power Engineering, Zaporizhka State Engineering Academy (Zaporizhzhia, Ukraine). E-mail: yakovleva@zgia.zp.ua

PETRIK ALEXEY, Aspirant of Department of Heat and Power Engineering, Zaporizhska State Engineering Academy (Zaporizhzhia, Ukraine). E-mail: iternel17@mail.ru

GENERAL CHARACTERISTIC AND FEATURES OF BLOWING DEVICES FOR OVERHEAD BLOWING OUT OF BATH OF STEEL-SMELTING UNIT BY OXYGEN

To analyze the literature in conditions of the constitutive features of blowing devices for scavenging of bath in steel-smelting aggregate by oxygen. Absence of univalent recommendations in relation to the choice and the optimal consumption and optimal expense of oxygen given on scavenging and after-burning of carbon monoxide distinguished from bath of steel-smelting aggregate is set. An analysis specifies on the necessity of development of new structural solutions for oxygen lances which will allow to combine dignities of the known construction and to promote efficiency of after-burning of carbon monoxide in the cavity of steel-smelting aggregate with improvement of heat balance of melting as it applies to the real productive conditions.

Keywords: steel-smelting aggregate, scavenging of bath, blowing devices, after-burning of carbon monoxide, hear balance, power resourctres

Стаття надійшла до редакції 07.02.2017 р.
Рецензент, проф. О.І. Чепрасов

Текст даної статті знаходиться на сайті ЗДІА в розділі Наука
<http://www.zgia.zp.ua>