

**СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ IX ВСЕРОССИЙСКОЙ,
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ
С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ
«РОССИЯ МОЛОДАЯ»**

18-21 апреля 2017 г.

Конференция проходит при поддержке
Российского фонда фундаментальных исследований

Кемерово 2017

© КузГТУ, 2017

ISBN 978-5-906888-86-0

Редакционная коллегия:

Костюк Светлана Георгиевна – ответственный редактор, проректор по научной работе, д.т.н.;
Останин Олег Александрович – начальник научно-инновационного управления;
Хорешок Алексей Алексеевич – профессор, директор горного института, д.т.н.;
Семькина Ирина Юрьевна – доцент, директор института энергетики, к.т.н.;
Голофастова Наталья Николаевна – доцент, директор института экономики и управления, к.э.н.;
Черкасова Татьяна Григорьевна – профессор, директор института химических и нефтегазовых технологий, д.х.н.;
Стенгин Дмитрий Владимирович – директор института информационных технологий, машиностроения и автотранспорта, к.т.н.;
Покатилов Андрей Владимирович – профессор, директор строительного института, к.т.н.;
Бобринков Валерий Николаевич – профессор, декан факультета фундаментальной подготовки, д.п.н.;
Бородин Дмитрий Андреевич – заместитель начальника научно-инновационного управления.

Сборник материалов IX Всерос. научно-практической конференции с международным участием «Россия молодая»,
18-21 апр. 2017 г., Кемерово [Электронный ресурс] / ФГБОУ ВО «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева»; редкол.:
Г. Костюк (отв. ред.) [и др.]. – Кемерово, 2017.

В сборнике представлены материалы по результатам научных исследований и тематические обзоры, которые
представили на научно-практической конференции молодые ученые – школьники, студенты, магистранты, аспиранты и
соискатели.

Цель проведения конференции – формирование компетенций будущих специалистов, бакалавров и магистров,
привлечение студентов и школьников к научной деятельности, формирование навыков выполнения научно-
исследовательских работ, развитие инициативы в учебе и будущей деятельности в условиях рыночной экономики.

Конференция ежегодно проводится с 1955 г. для школьников, студентов, молодых ученых и преподавателей вузов
России и ближнего зарубежья.

УДК 669.184.125.046.58.001.76

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ВЫПЛАВКИ СТАЛИ В КИСЛО- РОДНЫХ КОНВЕРТЕРАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫСОКОМАГНЕ- ЗИАЛЬНЫХ ФЛЮСОВ

Калиногорский А.Н., ст. преподаватель каф. металлургии черных металлов
Научный руководитель: Протопопов Е.В., д.т.н., профессор
Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк

В настоящее время при выплавке стали в конвертерах широко используются высокомагнезиальные флюсы для увеличения стойкости футеровки агрегатов и снижения расхода огнеупоров на выплавку стали. Вместе с тем некоторыми исследователями отмечается ухудшение показателей шлакообразования и снижение рафинирующей способности конвертерных магнезиальных шлаков [1].

Стойкость футеровки большегрузных конвертеров АО «ЕВРАЗ ЗСМК» при использовании высокомагнезиального флюса ФОМИ для выплавки стали и нанесения огнеупорных покрытий составляет в среднем 4500 плавов, а расход конвертерных огнеупоров – 3,5 – 4,0 кг/т стали. Однако формирование огнеупорного покрытия на основе конечного конвертерного шлака не всегда обеспечивает устойчивые результаты. Часто приходится использовать специальные технологические приемы формирования гарнисажа для обеспечения его стойкости [2 – 7].

Для исследования технологических параметров продувки металла в большегрузных агрегатах рассмотрели особенности шлакообразования и изменения химического состава шлака по периодам конвертерной плавки. С этой целью были проанализированы данные [6, 7] опытно-промышленных плавов с дополнительными повалками агрегата в характерные периоды продувки металла.

На опытных плавках формирование шлака обеспечивали за счет присадки извести (не менее 88,5 % CaO), алюминиевой выбойки (50 % Si, 35 % CaF₂, 12 % Al₂O₃) и высокомагнезиального флюса ФОМИ (не менее 66 % MgO). Присадку флюса в конвертер (15 – 18 кг/т) выполняли вместе с известью в завалку на металлический лом до его нагрева для ускорения процесса шлакообразования.

Химический анализ отобранных проб шлака показал, что при использовании флюса растворение извести протекает медленнее: содержание CaO в течение всей продувки на 5 – 10 % ниже обычных значений, при этом наблюдается быстрое увеличение содержания MgO в шлаке при его повышенной окисленности. При этом в конце продувки в шлаке содержится 12,3 % MgO; его основность – 3,11; а коэффициенты распределения фосфора и серы – 146 и 4,25, соответственно.

Выполненный теоретический анализ фазовых превращений в шлаке по ходу продувки конвертерной ванны на основе диаграммы четырехкомпонентной оксидной системы $\text{CaO}'\text{-MgO}'\text{-FeO}'\text{-SiO}_2'$ показал, что оксидные системы, соответствующие шлакам начала продувки, содержащие большое количество SiO_2 , как правило, кристаллизуются с образованием различных силикатов, вюстита и незначительного количества периклаза. В оксидных системах, соответствующих шлакам середины продувки, возрастает содержание периклаза [8, 9]. В заключительный период продувки магниезиальные шлаки кристаллизуются с образованием двухкальциевого силиката – $(\text{CaO})_2 \cdot \text{SiO}_2$, извести и твердого раствора магнизовюстита.

Количество извести в шлаке связано с величиной основности $(\text{CaO}/\text{SiO}_2)$ последнего, а количество магнизовюстита – с величиной основности и содержанием MgO и FeO в шлаке. Состав силикатов зависит от соотношения между содержанием CaO , MgO и FeO_x . При возрастании количества магнезии в шлаке увеличивается содержание мервинита – $(\text{CaO})_3 \cdot \text{MgO} \cdot (\text{SiO}_2)_2$ и монтчеллита – $\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$. При увеличении окисленности шлака возрастает содержание кирштинита – $\text{CaO} \cdot \text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$.

Присадка высокомагниезиального флюса при подготовке шлака к раздувке, в соответствии с расчетным соотношением равновесных фаз, сопровождается увеличением содержания извести и магнизовюстита при уменьшении содержания двухкальциевого силиката. При этом происходит изменение состава магнизовюстита: увеличивается содержание тугоплавкой составляющей – периклаза и уменьшается содержание легкоплавкой составляющей – вюстита.

По ходу продувки конвертерной ванны, происходит перераспределение MgO между фазами шлака: в начале продувки MgO преимущественно находится в составе силикатов, а в конце продувки – в виде периклаза магнизовюстита.

При этом для «шлаков» начала продувки характерна высокая концентрация насыщения MgO (20 – 25 %) и, таким образом, в соответствии с рисунком 1, такие оксидные системы способны дополнительно растворить еще 8 – 14 % оксида магния. В середине продувки обеспечивается формирование «шлаков» с концентрацией MgO близкой к области насыщения, а в конце продувки – в области пересыщения магнизовюститом (до 9 %).

Отмечено, что в начальный период продувки, при низкой основности шлака, содержание MgO не оказывает влияние на величину насыщения шлака оксидом магния. При повышенном содержании MgO отмечается также пониженная величина основности, в результате разница между фактическим содержанием магнезии и ее концентрацией насыщения не изменяется. Следовательно, наличие огнеупорного гарнисажного слоя в начале продувки конвертерной ванны является необходимым условием для защиты футеровки агрегата от разрушения. В середине продувки конвертерной ванны концентрация MgO определяет разрушающее действие шлака на

огнеупорную футеровку агрегата. При повышенном содержании оксида магния в расплаве, шлак находится вблизи области насыщения магнием. При низком содержании MgO , шлак оказывает агрессивное воздействие на футеровку. В конце продувки содержание магнезии определяет степень пересыщения шлака MgO .

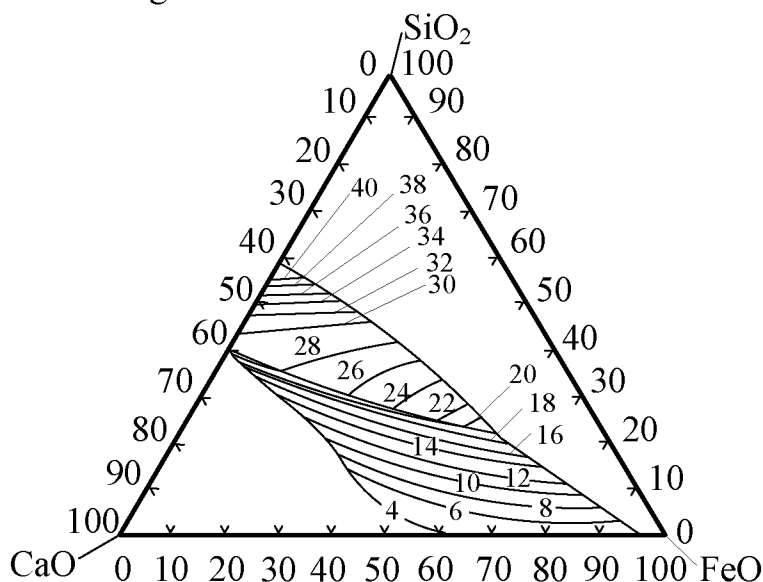


Рисунок 1 – Схема диаграммы состояния системы $CaO-MgO-FeO_x-SiO_2$, равновесной с железом, в проекции на тройную краевую диаграмму при температуре $1600\text{ }^{\circ}C$

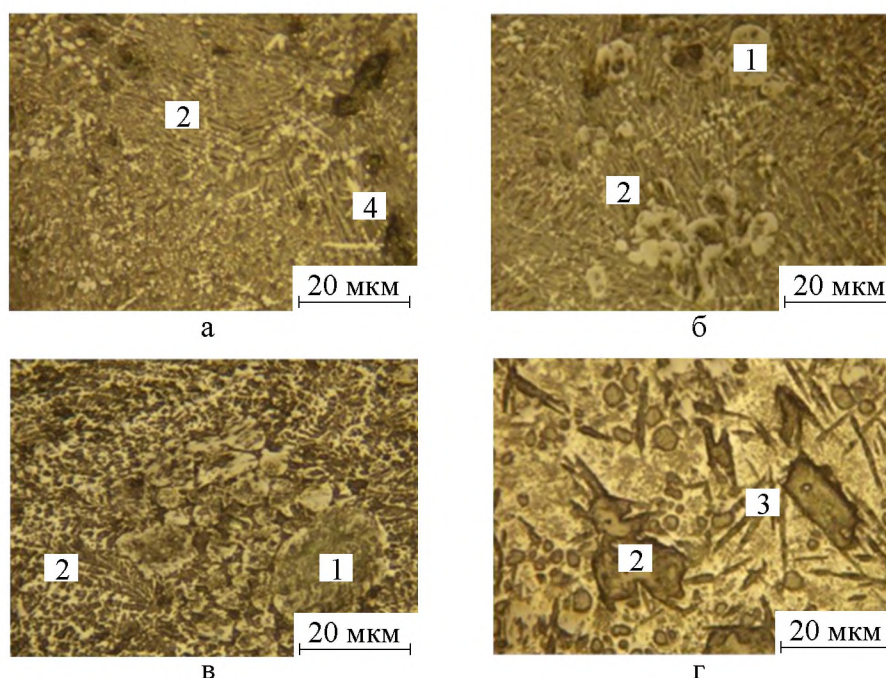
Для уточнения установленных закономерностей выполнили экспериментальное исследование изменения минерального состава, текстурно-структурных, кристаллохимических и кристаллофизических характеристик шлака по периодам конвертерной плавки. Минералографические исследования проводили в поляризованном отраженном свете на исследовательском металлографическом микроскопе. Выделение реликтового периклаза и извести наблюдали во всех опытных образцах. Таким образом, конвертерный шлак в течение продувки имеет гетерогенный состав, где тугоплавкие частицы периклаза и извести находятся в расплаве более легкоплавких составляющих (см. рисунок 2).

Кристаллизация шпинелидов на этих реликтовых центрах увеличивает содержание в шлаке твердофазных частиц и способствует загущению шлака, причем на первой стадии их кристаллизации они представляют собой смесь магнезиовюстита со шпинелидами.

Кристаллы двухкальциевого силиката растут в течение всего периода продувки, причем чем раньше они были образованы, тем больших размеров достигают к моменту нанесения шлакового гарнисажа.

При этом микроструктура гарнисажного шлака имеет значительно больше крупных тугоплавких кристаллов двухкальциевого силиката и периклазидов, которые вместе с нерастворившимися зернами периклаза и извести образуют каркасную структуру и формируют гарнисаж за счет затвердевания

шлакового расплава на поверхности футеровки вследствие отвода тепла через нее.



1 – периклазиды; 2 – оливины; 3 – пироксены; 4 – шпинелиды

Рисунок 2 – Микроструктура образцов шлака, отобранных на 4-ой (а), 12-ой (б) минутах, по окончании продувки (в), после нанесения гарнисажа (г)

Повышение износоустойчивости защитного покрытия безусловно требует увеличения в шлаке количества крупных кристаллов кальциооливина. Для раннего формирования кристаллов последнего, необходимо обеспечить ускоренное растворение извести в начале продувки конвертерной ванны. Только после ошлакования расплавом основного количества извести (не ранее 4 – 5 минуты продувки), рекомендуется присаживать магнизиальные материалы. При этом необходимо поддерживать повышенную окисленность шлака, чтобы ускорить процесс растворения флюса и не допустить перекристаллизацию периклаза.

Список литературы

1. Бабенко А.А., Смирнов Л.А., Витушенко М.Ф. и др. Комплекс технологических приемов повышения стойкости футеровки конвертеров при переделе фосфористых чугунов // Черная металлургия. – 2015. – № 2. – С. 78 – 82.
2. Фейлер С.В., Протопопов Е.В., Чернятевич А.Г. и др. Изучение особенностей применения вихревых течений для нанесения огнеупорных покрытий на футеровку конвертеров // Изв. вуз. Черная металлургия. 2014. № 8. С. 28 – 33.
3. Калиногорский А.Н., Протопопов Е.В., Чернятевич А.Г., Фейлер С.В., Багрянцев В.И. Исследование особенностей применения вихревых технологий для нанесения огнеупорных покрытий на футеровку конвертеров. Сооб-

- шение 1. Особенности дробления жидкого шлака при раздувке вихревой фурмой // Изв. вуз. Черная металлургия. – 2015. – Т. 58 – № 10. – С. 756 – 760.
4. Калиногорский А.Н., Протопопов Е.В., Чернятевич А.Г., Фейлер С.В., Багрянцев В.И. Исследование особенностей применения вихревых технологий для нанесения огнеупорных покрытий на футеровку конвертеров. Сообщение 2. Характеристики и параметры движения капель шлака // Изв. вуз. Черная металлургия. – 2015. – Т. 58 – № 12. – С. 896 – 900.
5. Протопопов Е.В., Чернятевич А.Г., Фейлер С.В., Калиногорский А.Н. Тепловая работа торкрет-гарнисажной фурмы для горячих ремонтов футеровки кислородных-конвертеров // Проблемы черной металлургии и материаловедения. – 2014. – № 4. С. 21 – 25.
6. Протопопов Е.В., Пермяков А.А., Калиногорский А.Н. Исследование особенностей формирования гарнисажа на футеровке большегрузных конвертеров при использовании высокомагнезиальных флюсов // Проблемы черной металлургии и материаловедения. – 2013. – №4. – С. 32 – 35.
7. Амелин А.В., Протопопов, Е.В., Калиногорский А.Н., Фейлер С.В. Формирование гарнисажа магнезиальных шлаков на футеровке большегрузных конвертеров // Сталь. – 2014. – № 7. – С. 22 – 25.
8. Протопопов, Е.В., Якушевич Н.Ф., Калиногорский А.Н. Исследование фазовых равновесий в сложных оксидных системах для оптимизации формирования конвертерных магнезиальных шлаков рационального состава // Литье. Металлургия. 2015: Материалы XI Международной научно-практической конференции. – Запорожье : ЗТПП. – 2015. – С. 377 – 378.
9. Протопопов Е.В., Калиногорский А.Н. Теоретический анализ фазовых превращений в шлаковом расплаве по периодам продувки конвертерной плавки // Инновационный конвент «Кузбасс: образование, наука, инновации»: материалы Инновационного конвента. – Кемерово. – 2016. – С. 445 – 448.