

УДК 669.184:669.054.8

 **ЕВРАЗ** | ЕВРАЗ ЗСМК
55 лет

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОДУВКИ МЕТАЛЛА В КИСЛОРОДНЫХ КОНВЕРТЕРАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ШЛАКОВ

© Амелин Аркадий Васильевич¹ (Amelin_AV@evraz.com);Протопопов Евгений Валентинович², д-р техн. наук, проф. (protopopov@sibsiu.ru);Кузнецов Сергей Николаевич² (Kuznezov_SN@mail.ru);Калиногорский Андрей Николаевич², канд. техн. наук (Andrey.Kalinogorskiy@gmail.com);Ганзер Лидия Альбертовна², канд. техн. наук (Lidia.ganzer@gmail.com)¹АО «ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат». Россия, г. Новокузнецк²ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет». Россия, г. Новокузнецк

Статья поступила 26.03.2019 г.

Рассмотрены технологические особенности выплавки стали в 160-т конвертерах АО «ЕВРАЗ ЗСМК» с использованием железосодержащих продуктов переработки конвертерных шлаков в количестве 10...50% от массы твердой металлошхты. С использованием данных о химическом составе шлакообразующих материалов, металлической и шлаковой составляющих скрапа шлакометаллического и их расходе выполнена количественная оценка изменения основных показателей процесса. Проведен сравнительный анализ технологических параметров продувки металла в 160-т конвертерах по традиционной и рассматриваемой технологиям. На выпуске из агрегата установлено снижение содержания примесей цветных металлов и требуемый уровень удаления вредных примесей. Технологические показатели окислительного рафинирования металла в 160-т конвертерах АО «ЕВРАЗ ЗСМК» и снижение затрат на производство стали при использовании скрапа шлакометаллического свидетельствуют об экономических перспективах процесса.

Ключевые слова: выплавка стали; конвертер; металлический лом; скрап шлакометаллический; высокомагнезиальный флюс; первичный шлак; технологические показатели; качество стали; снижение затрат.

Современная технологическая схема сталеплавильного производства, базирующаяся на традиционном использовании металлического лома в качестве охладителя в конвертерной плавке, предполагает внесение коррективов в связи с прогрессирующим ухудшением качественных характеристик металлолома. Наблюдается также снижение количества оборотного лома вследствие совершенствования технологии непрерывной разливки стали, а в амортизационном ломе из-за многократного переплава повышено содержание различных элементов, способствующих снижению эксплуатационных свойств металлопродукции. Их удаление при выплавке и внепечной обработке металла чрезвычайно затруднено или практически невозможно [1].

В металлургической практике используется ряд технологий подготовки лома, однако, эффективность их остается невысокой. В сложившихся условиях необходимо совершенствование традиционного состава и технологического режима формирования твердой металлошхты с использованием, в частности, железосодержащих продуктов переработки отвалных конвертерных шлаков, в том числе скрапа шлакометаллического

го [2]. Последний представляет собой конгломерат металлической и шлаковой составляющих, который остается в шлаковых чашах после слива жидкого конвертерного шлака в яму шлакового отделения.

В ККЦ-1 АО «ЕВРАЗ ЗСМК» шлакостальные «коржи» извлекают из шлаковых чаш и загружают с металлическим ломом в конвертер в количестве 10...50% от массы твердой металлошхты с соответствующей корректировкой в тепловых процессах. С целью совершенствования технологии выплавки стали в 160-т конвертерах исследовали процесс шлакообразования при использовании в металлозавалке скрапа шлакометаллического.

В ходе исследований масса металлозавалки (чугун и металлический лом) составляла 153...155 т, в том числе 24...27% твердой металлошхты. Химический состав чугуна колебался в пределах, масс. %: Si 0,35...0,65; Mn 0,35...0,65; P 0,08...0,12 и S 0,020...0,028. Температура заливаемого чугуна при этом составляла 1290...1320 °С. Перед заливкой чугуна, как правило, проводится предварительный подогрев металлического лома в конвертере. В качестве основного теплоносителя используется уголь Кузнецкого бассейна

марки ТОМ. Расход кислорода на сжигание угля составляет 150...250 м³/мин, продолжительность нагрева – не менее 6 мин.

Продувка металла кислородом в конвертерах ведется через пятисопловую фурму с соплами Лаваля критическим диаметром 0,035 м и углом их наклона к вертикальной оси 15°. Начинают операцию при положении фурмы относительно уровня спокойного металла 2,0...2,6 м, осуществляя наводку шлака в течение 3...4 мин, затем фурму опускают до уровня 1,0...1,5 м. Продолжительность продувки составляет 20...21 мин при расходе кислорода 350...450 м³/мин. Общий расход извести на плавку составляет 6...8 т, высокомагнезильного флюса ФОМИ – 0,9...1,1 т, угля 2,7...3,1 т. На повалке конвертера фиксировали температуру, отбирали пробы металла и шлака для их последующего анализа.

Необходимо отметить характерную особенность работы конвертеров АО «ЕВРАЗ ЗСМК» – продувку чугуна с пониженным содержанием марганца, что создает определенные сложности в организации шлакового режима плавки и окислительном рафинировании металла. Использование же высокомагнезильных флюсов для выплавки стали и повышения стойкости футеровки кислородных конвертеров предопределяет повышение вязкости конвертерных шлаков и снижение их рафинирующей способности [3]. Повышение температуры ванны при реализации предварительного подогрева металлического лома и шлакообразующих материалов улучшает кинетические параметры процесса, однако, шлакообразование зачастую протекает с недостаточной скоростью и характеризуется неполным усвоением извести шлаком и затягиванием процессов удаления вредных примесей.

Известно, что состав шлака и его физические свойства изменяются в течение конвертерной плавки примерно по одной и той же схеме [4]. Шлак в конвертере формируется из образующихся при окислении примесей оксидов и введенных в ванну шлакообразующих материалов: извести и высокомагнезильного флюса. Первичные шлаки, которые образуются в результате окисления железа и примесей чугуна (в первую очередь – кремния и марганца), отличаются высокой ассимилирующей способностью по отношению к оксидам кальция и магния. В зависимости от температурных условий процесса и свойств шлакообразующих материалов растворение извести и высокомагнезильного флюса протекает с большей или меньшей скоростью: увеличивается

основность шлака и одновременно – содержание в нем оксида магния.

В шлаковой составляющей скрапа шлакометаллического часть CaO находится в связанном состоянии, либо в свободном, либо в составе ферритов и алюмоферритов. Кальций участвует в формировании шлака. Так при характерном составе шлаковой составляющей (CaO 35...40%; SiO₂ 13...15%; P₂O₅ 1...1,5%) будет связано 24,31...28,05% оксида кальция в составе силикатов; в составе фосфатов – 0,79...1,19%. Таким образом, технологическую ценность представляет 5,69...14,83% CaO.

При этом эвтектика шлаковой составляющей загружаемого скрапа шлакометаллического обогащена CaO-содержащими минеральными составляющими, что обусловлено относительно низкой температурой плавления последних [3], в результате можно ожидать их быстрый переход в жидкое состояние и участие в процессе шлакообразования с первых минут операции.

С использованием данных о химическом составе шлакообразующих материалов, металлического и шлаковой составляющих скрапа шлакометаллического и их расходе была выполнена количественная оценка технологических показателей процесса. В соответствии с расчетными данными при расходе загружаемого скрапа шлакометаллического 10...50% от массы твердой металлошихты в начальный период продувки металла возможно увеличение содержания технологически ценного оксида кальция в шлаке на 4...9%.

Шлаковая составляющая загружаемого скрапа содержит ≈ 10% MgO, преимущественно в виде магнезиовюститита и магнезиоферрита, что обеспечивает в начале продувки увеличение содержания оксида магния в конвертерном шлаке. При этом в конце продувки ванны конвертерный шлак не должен быть чрезмерно перенасыщен MgO, так как это способствует уменьшению вязкости первичного шлака и увеличению степени гомогенизации конечного шлака. В целом, повышаются кинетические возможности рафинирования металла от вредных примесей.

На опытных плавках наблюдали характерные особенности, обусловленные ранним образованием активного шлака из-за присутствия оксидов кальция, магния и железа, содержащихся в шлаковой составляющей загруженного вместе с металлическим ломом скрапа шлакометаллического.

Таким образом, растворение в конвертер шлаковой составляющей шлакостальных «кор

Таблица 1. Химический состав конвертерных шлаков

Плавки	Массовая доля компонентов в шлаке, %							Основность
	CaO	SiO ₂	FeO	MgO	MnO	P ₂ O ₅	S	
Опытные	35,2...46,1	12,9...19,2	22,5...27,4	6,1...8,4	4,1...6,3	1,3...1,9	0,07...0,10	2,40...2,73
	40,9	15,4	24,45	7,32	4,97	1,62	0,09	2,66
Сравнительные	34,7...45,3	12,1...18,7	21,1...23,9	6,4...9,1	4,9...7,1	1,4...1,9	0,07...0,09	2,42...2,82
	40,6	15,1	21,6	7,9	6,61	1,74	0,08	2,69

Примечание. Числитель – пределы изменения, знаменатель – среднее значение.

Таблица 2. Химический состав и температура металла перед выпуском

Плавки	Массовая доля элементов, %				Температура, °С
	C	Mn	S	P	
Опытные	0,04...0,10	0,08...0,13	0,22...0,030	0,014...0,020	1620...1650
	0,049	0,105	0,029	0,017	1629
Сравнительные	0,05...0,12	0,10...0,16	0,020...0,030	0,015...0,020	1625...1650
	0,062	0,155	0,028	0,017	1630

Примечание. Числитель – пределы изменения, знаменатель – среднее значение.

жей» способствует ускорению шлакообразования в начале операции, однако при этом увеличивается общее количество шлака. При их максимальном расходе (50% от массы твердой металлошихты), расчетное увеличение количества шлака составляет 40...45%, что, безусловно, изменяет гидродинамическую картину в агрегате и требует внесения соответствующих управляющих воздействий по корректировке шихтовки плавки для предупреждения выбросов шлака из агрегата.

Анализ расчетных данных показал, что увеличение количества шлака может быть компенсировано снижением содержания кремния в чугуне на 0,05...0,27% или, с учетом физико-химических характеристик металла и шлака, уменьшением массы металлозавалки на 3...14 т. В реальных производственных условиях для оптимизации процесса предпочтительнее комплексный подход.

Все опытные плавки характеризовались спокойным ходом продувки и незначительным количеством выбросов. При этом был снижен расход извести и высокомагнезимального флюса ФОМИ в среднем на 0,7 и 0,5 кг/т, соответственно, что позволило компенсировать поступление в конвертерную ванну шлаковой составляющей скрапа шлакометаллического, однако привело к некоторому снижению рафинирующих свойств конечного шлака (табл. 1), прежде всего, его основности и, соответственно, эффективности удаления вредных примесей.

В рассматриваемых условиях при невысокой температуре ванны в начале конвертерной плавки окисление фосфора происходит при взаимодействии с оксидами железа, поступающими, в том числе, из шлаковой составляющей раство-

ряющегося скрапа шлакометаллического. Это обусловлено относительно низкой концентрацией кремния в передельном чугуне (0,4...0,5%) и, соответственно, кремнезема в первичном шлаке, а также медленным ростом температуры ванны (из-за большего охлаждающего воздействия скрапа шлакометаллического) и наличием оксида кальция для связывания P₂O₅ в комплексы, прочно удерживающие фосфор в шлаке и понижающие его активность.

Содержание фосфора в металле перед выпуском опытных плавов с использованием скрапа шлакометаллического в среднем составляет 0,017% (табл. 2). Основность конечного шлака равна 2,66 ед., содержание оксида железа – 24,45%, температура металла – 1629 °С, концентрация фосфора в чугуне – 0,08...0,12%.

Среднее содержание фосфора в металле перед выпуском сравнительных плавов находится на том же уровне, однако, при этом обеспечивается более высокий коэффициент распределения фосфора между шлаком и металлом, что, видимо, обусловлено повышенным его поступлением в ванну.

В обычных условиях конвертерной плавки, как правило, шлак формируется с повышенным содержанием оксидов железа, что в целом неблагоприятно для удаления серы. Содержание серы в металле перед выпуском на опытных плавках с использованием скрапа шлакометаллического составляет в среднем 0,029%, а на сравнительных плавках 0,028% (см. табл. 2). При этом необходимо отметить, что окисленность шлака опытных плавов несколько выше, чем сравнительных, а основность шлака и температурные условия процесса практически идентичны.

Анализ химического состава металла на выпуске опытных плавов показал заметное снижение содержания нежелательных примесей цветных металлов, в частности Cu, Ni, Cr, что обусловлено изменением качественного состава твердой металлошихты. Использование скрапа шлакометаллического и соответствующее снижение расхода металлического лома, который является основным источником поступления примесей цветных металлов в конвертерную ванну при традиционной технологической схеме производства стали, позволило обеспечить снижение концентрации, в частности, меди в металле перед выпуском из агрегата в среднем на 16%, а никеля – на 12,5%.

Заключение. Технология выплавки стали в кислородном конвертере с применением железосодержащих продуктов переработки отвалных шлаков позволяет снизить операционные затраты на производство стали и имеет реальную коммерческую перспективу [5]. Прогнозируемый годовой экономический эффект составляет около 250 млн руб. при современных ценах на сырье и материалы.

Библиографический список

1. Григорович К.В. Современное состояние черной металлургии и направления ее развития в цифровой экономике: Сб. тр. XV Междунар. конгр. сталеплавильщиков производителей металла (Тула 15–19 окт. 2018). Тула, С. 42–59.
2. Кузнецов С.Н., Волюнкина Е.П., Протопопов Зоря В.Н. Металлургические технологии переработки бедных месторождений, промышленных и бытовых отходов. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2014. 294 с.
3. Amelin A.V., Protopopov E.V., Kalinogorskiy A.N., Feiler S.V. Formation of magnesia-slag coating on the lining of large converters // *Steel in Translation*. 2014. Vol. 44, No. 5. P. 513–516.
4. Протопопов Е.В., Калиногорский А.Н., Якович Н.Ф. Исследование фазовых равновесий в шлаке расплаве при выплавке стали с использованием высокомагнезиальных флюсов // Вест. РАЕН. Зап.-Сибир. отд. № 18. С. 64–69.
5. Кузнецов С.Н., Протопопов Е.В., Темлянецов И.А. и др. Современные технологии выплавки стали с использованием железосодержащих продуктов переработки кокильных шлаков // Вест. РАЕН. Зап.-Сибир. отд. 2017. С. 95–101.

TECHNOLOGICAL FEATURES OF BLOWING METAL IN BOF USING IRON-CONTAINING PRODUCTS OF STEELMAKING SLAG PROCESSING

© Amelin A.V., Protopopov E.V., Kuznetsov S.N., Kalinogorskiy A.N., Ganzer L.A.

The technological features of steelmaking in 160-ton BOF of JSC "EVRAZ ZSMK" with the use of iron-containing converter slag processing products in the amount of 10...50% by weight of the solid charge are considered. Using data chemical composition of slag-forming materials, metal and slag components of slag-metal scrap and their consumption quantitative assessment of changes in the main process indicators was made. A comparative analysis of the technological parameters of metal purging in 160-ton converters according to the traditional and considered technologies was carried out. A release of non-ferrous metal impurities and the required level of removal of harmful impurities was established at the release from the unit. The technological indicators of oxidative refining of metal in 160-ton BOF of JSC "EVRAZ ZSMK" and the reduction of steel production costs when using scrap metal slag indicate the economic prospect of the process.

Keywords: steelmaking; BOF; scrap metal; iron-containing slag product; high-magnesium flux; primary slag; technological indicators; steel quality; cost reduction.