УДК 669.184.244.66:669.184.235:669.184.28

С.И.Семыкин, Т.С.Кияшко

ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ НИЗКОВОЛЬТНОГО ПОТЕНЦИАЛА НА ФОРМИРОВАНИЕ ШЛАКОВОЙ ФАЗЫ В УСЛОВИЯХ РАБОТЫ ПРОМЫШЛЕННОГО 60-т КОНВЕРТЕРА ПАО «ЕВРАЗ ДМЗ им.ПЕТРОВСКОГО»

На промышленном конвертере проведено изучение особенностей формирования шлаковой фазы и насыщения ее металлическими корольками в условиях наложения на расплав низковольтного потенциала различной полярности. Выявлено, что такая технология позволяет снизить уровень потерь металла со шлаком вследствие более высокого уровня протекания обменных и рафинировочных процессов при продувке.

промышленный конвертер, низковольтный потенциал, рафинировочные процессы, потери металла со шлаком

Постановка задачи. Основная направленность работ, посвященных исследованию возможностей воздействия на металлическую ванну маломощным низковольтным потенциалом в промышленных условиях, связана с получением эффекта повышения выхода жидкого металла [1–3]. Одним из первостепенных факторов, влияющих на данный показатель, является количество и поведение металлической фазы в шлаке в условиях наложения низковольтного потенциала, сведений и знаний о котором достаточно немного.

В 2011 г. в условиях завода ПАО «Евраз-ДМЗ им. Петровского» (в работе принимали участие:В.И.Пищида, С.М.Онацкий, Д.П.Васильев, ПАО «Евраз – ДМЗ им.Петровского») в 60–т конвертерах на серии опытных плавок была выполнена оценка влияния низковольтного потенциала на характер шлакообразования и количество металлической части (в виде корольков) в шлаке. Для этого на повалках конвертера (во время скачивания шлака, во время замера температуры и отбора пробы металла) отбирались пробы шлака путем намораживания на ручку при погружении пробоотборника. Образцы шлака оценивались визуально, шлаки измельчались в мельнице, взвешивались, отмагничивалась металлическая часть (корольки) и проводился химический анализ проб шлака. Металлическая часть подвергалась рассеву на две фракции: больше 1 мм и меньше 1 мм, для оценки возможного уровня накопления металлических капель в шлаке. Плавки проведены с близкими начальными условиями по шихтовке и режиму ведения продувки.

Состояние вопроса и методика исследования. При визуальной оценке состояния шлака на плавках с воздействием низковольтного электрического потенциала было отмечено, что на скачивании шлака влияние отрицательной полярности проявляется в повышении его жидкотекучести, по сравнению с вариантом без воздействий. Поверхность шлака ак-

тивно кипела с высокими всплесками, которые продолжались достаточно долго. Сам процесс скачивания при этой полярности продолжался немного дольше, чем в варианте без воздействий, что, вероятно, может свидетельствовать об увеличенном объеме сформированного шлака. Кроме того, после воздействия потенциалом данной полярности к моменту скачивания шлак отличался большей однородностью, по сравнению со шлаками других вариантов, так как независимо от того, когда отбиралась проба: в самом начале операции скачивания или в середине, намороженный образец шлака имел примерно одинаковую толщину (примерно 2,0–2,5 мм) и одинаковую пористость. Такое заключение можно сделать, исходя из того, что в варианте без воздействий было отмечено, что сначала скачивается самая легкая и жидкая фракция шлака, которая намораживается тонким слоем без пор (около 1 мм) с небольшим количеством металлических капель, а по истечении нескольких минут начинает скачиваться более густой шлак, который намораживается слоем большей толщины (до 3–4 мм) и содержит большую долю металлических вкраплений. Характерный вид проб шлака по периодам продувки приведен на рис.1.

Визуальная оценка застывших проб шлака позволила выявить особенности действия потенциала той или иной полярности на металлическую часть: в варианте с воздействием отрицательной полярности на фурме капли металла имели расплывшуюся форму и растекались по поверхности шлака, а при воздействии положительной полярности - четкую округлую выпуклую форму (рис.1).

Это можно пояснить, исходя из ионно–электронной природы обменных окислительно–восстановительных процессов, оказывающих влияние на межфазное натяжение между металлической каплей и шлаком [4]. При окислении углерода происходит накопление электронов на поверхности металла за счет протекания реакции: $[C]=C^{2+}+2e$. Избыток положительного заряда в прилегающем к металлу слое шлака обусловлен, в основном катионами кальция Ca^{2+}, а также ионами железа Fe^{2+}. Таким образом, на границе раздела капли металла со шлаком создается двойной электрический слой. Внешнее электрическое поле увеличивает первоначальный положительный заряд капли у поверхности, обращенной к катоду. При этом отрицательные заряды, расположенные в шлаке, смещаются так, что плотность их у этой поверхности становится больше. Взаимное притяжение металла и шлака в этом месте усиливается, а межфазное натяжение понижается, и капли металла, соответственно, приобретают растекшуюся форму.

Вдоль поверхности капли возникает градиент натяжения, который может обусловливать создание в жидкой капле вихревых потоков, благодаря которым капля должна совершать реактивное движение к катоду. При обратном расположении зарядов в двойном слое капля приобретает выраженную сферическую форму и может направленно двигаться к аноду.

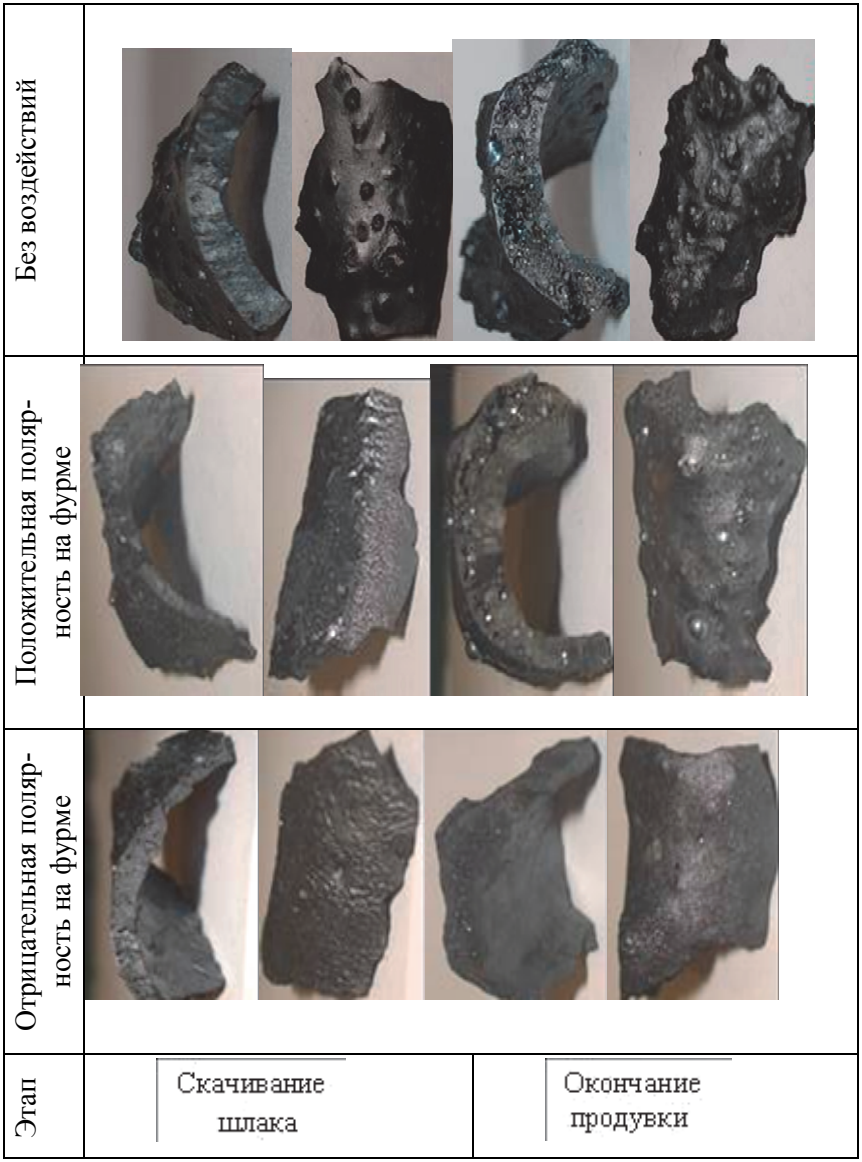

Рис.1. Фотографии шлаков, отобранных по периодам продувки

Заряд капли имеет тем большую положительную величину, чем выше содержание углерода в металле и больше окислов железа в шлаке, поэтому уменьшение количества окислов железа в шлаке и содержания углерода в металле способствует снижению величины положительного заряда на

капле за счет компенсационной реакции [Fe] = Fe^{2+} +2e (высвобождающиеся электроны компенсируют положительный заряд). Несмотря на протекание компенсационных процессов, двойной электрический слой не исчезает, так как тенденции к перемещению в металле ионов O^{2-} и Fe^{2+}, определяемые энергиями их связи с фазами, различные. Если это стремление больше у O^{2-}, то образуется двойной слой: с положительным потенциалом на шлаке и отрицательным на металле, т.е. при воздействии внешней отрицательной полярности на фурме, ввиду повышения количества ионов кислорода в шлаке и реакционной зоне, действие двойного электрического слоя может компенсироваться. Если тенденция к переходу у ионов O^{2-} меньше, чем у Fe^{2+}, то расположение знака заряда в двойном слое обратное, на что может оказывать влияние положительная полярность на фурме, сформированная воздействием низковольтного потенциала. Средний уровень количества металлических капель в намороженных пробах шлака на двух этапах: скачивания шлака и к окончанию продувки, представлено в табл.1. Следует отметить, что в варианте без воздействий в пробах шлака попадались большие одиночные кусочки металла неправильной формы размером 7–10 мм в длину.

Таблица 1. Средние величины количества металлических капель в шлаке по этапам продувки плавки по вариантам

№	Этап продувки	Опытный вариант	Общее кол-во металлических капель, %	По фракциям, %	
				> 1 мм	< 1 мм
1	Скачивание шлака	Отрицательная полярность	4,1	1,9	2,2
		Положительная полярность	3,5	0,8	2,7
		Без воздействий	9,0	5,1	3,9
2	Окончание продувки	Отрицательная полярность	8,0	5,1	2,9
		Положительная полярность	7,0	4,5	2,5
		Без воздействий	15,1	11,2	3,9

Из таблицы следует, что количество металлической части в шлаке от момента скачивания к концу продувки заметно увеличивалось (примерно в 1,5–2 раза). При анализе рассева корольков по фракциям было отмечено, что в шлаках на этапе скачивания отмечено сопоставимое количество металлических капель с размерами больше и меньше 1 мм в варианте с наложением отрицательной полярности на фурме с преобладанием более мелкой фракции (меньше 1 мм). В варианте с положительной полярностью на фурме отмечено значительное преобладание количества король-

ков с размерами меньше 1 мм над количеством крупных корольков, что может свидетельствовать о высокой реакционной способности шлаков этого варианта по отношению к металлической фазе корольков на данном этапе, что, как известно, приводит к уменьшению их размеров в результате окисления элементов и самой металлической матрицы корольков. В случае проведения плавок без воздействий, как и в варианте с отрицательной полярностью, по оцениваемым фракциям отмечено сопоставимое количество металлических капель, но с преобладанием более крупных, что свидетельствует о меньшей реакционной активности шлака по отношению к попадающим в него металлическим каплям.

На заключительном этапе продувки для всех опытных вариантов отмечено преобладание более крупных капель металла: в вариантах в наложением маломощного потенциала в 1,5–2,0 раза, и в большей степени в варианте без воздействий – в 3 раза. На основании этого показателя можно судить о том, что в варианте с электрическими воздействиями в течение всей продувки плавки сохраняется более высокая реакционная способность шлаков по отношению к металлической фазе, в частности, попадающей в шлак.

Химический анализ отобранных проб шлака на скачивании и по окончании продувки (табл.2) подтверждает отмеченный выше эффект, заключающийся в том, что при воздействии низковольтного потенциала реакционная способность шлака выше, чем в варианте без воздействий.

Таблица 2. Усредненные значения параметров шлака по опытным вариантам на момент скачивания и по окончании продувки плавки

№	Параметры	Варианты		
		Без воздейст-вий	Отрицательная полярность на фурме	Положительная полярность на фур-ме
1	Хим. состав шлака на момент скачивания, % масс.			
	MnO	10,12	7,22	8,39
	MgO	5,68	5,02	3,19
	FeO	24,30	23,08	18,19
	P_2O_5	1,26	1,15	0,87
	S	0,02	0,03	0,01
2	Основность, ед.	1,52	2,14	1,97
3	Хим. состав шлака на повалке, %масс.			
	MnO	4,94	4,32	4,42
	MgO	8,09	7,29	9,15
	FeO	18,52	18,20	17,03
	P_2O_5	1,24	0,97	0,97
	S	0,12	0,14	0,09
4	Основность, ед.	3,20	3,22	3,05
5	Степень десульфу-ра-ции, %	12,00	16,50	15,98

Результаты анализа шлаков свидетельствуют об активном усвоении извести шлаком: уже к моменту скачивания на плавках с наложением потенциала уровень основности шлака достигает 1,97 ед. при отрицательной полярности на фурме и 2,14 ед. – при положительной, т.е. создаются условия для более полного связывания оксида кремния в двухкальциевый силикат, в то время как на плавках без воздействий в этот период продувки достигается уровень основности в среднем 1,52 ед. Увеличение основности шлака на ранней стадии продувки способствует повышению рафинировочных способностей и, как следствие, в вариантах с наложением низковольтного потенциала степень десульфурации металла к окончанию продувки составляет 16,5 и 15,9 % в вариантах с наложением отрицательной и положительной полярностей потенциала на фурме соответственно, против 12,0 % в варианте без воздействий.

Также следует отметить снижение содержания оксидов железа в шлаке на плавках с наложением низковольтного потенциала, особенно в варианте с положительной полярностью, что свидетельствует о снижении потерь железа как со скачиваемым шлаком, так и в целом за продувку.

Заключение. Следовательно, исходя из результатов проведенного анализа следует, что маломощный электрический потенциал влияет на поведение как шлаковой фазы, так и присутствующей в неметаллической части, причем влияние каждой из полярностей имеет характерные особенности. Кроме того, шлаки, формируемые при воздействии маломощного электрического потенциала, с момента начала и до окончания продувки плавки отличаются:

- жидкотекучестью, что позволяет снизить уровень потерь металла в виде корольков со шлаком, а также снизить вынос металла из–за разбрызгивания кислородными струями;
- повышенной активностью по отношению к металлической части в шлаке, что характеризует более высокий уровень протекания обменных процессов при продувке;
- большей основностью уже с начального периода продувки, что позволяет повысить рафинировочные показатели плавки.

1. *Исследование* конвертерного процесса при воздействии электрической энергии / С.И.Семыкин, В.В.Смоктий, В.Ф.Поляков и др. // Известия ВУЗов, Черная металлургия. – 1992. – №10. – С. 6–8.
2. *Разработка* и исследование технологии конвертерной плавки с применением электрических воздействий малой мощности / С.И.Семыкин, В.Ф.Поляков, Е.В.Семыкина и др. // Сб. трудов 3-го Конгресса сталеплавильщиков. – М.: АО «Черметинформация». – 1996. – С. 89–92.
3. *Ресурсо*- и энергосберегающая технология конвертерной плавки с электрическими воздействиями / С.И.Семыкин, В.Ф.Поляков, Е.В.Семыкина и др. // Металл и литье Украины. – 2004. – № 11. – С. 46–48.

4. *Есин О.А.* Физическая химия пирометаллургических процессов. ч. 2. Взаимодействия с участием расплавов / О.А.Есин, П.В.Гельд. – М. : Металлургия. – 1966. – 702 с.

Статья рекомендована к печати
докт.техн.наук, професором В.Ф.Поляковым

С.І.Семикін, Т.С.Кияшко

Вивчення особливості впливу низьковольтного потенціалу на формування шлакової фази в умовах роботи промислового 60–т конвертера ПАТ «Євраз ДМЗ Ім. Петровського»

На промисловому конвертері проведено вивчення особливостей формування шлакової фази і насичення її металевими корольками в умовах накладення на розплав низьковольтного потенціалу різної полярності. Виявлено, що така технологія дозволяє знизити рівень втрат металу зі шлаком внаслідок більш високого рівня протікання обмінних і рафінірувальних процесів при продувці.