

С. И. Семейкин, Т. С. Голуб, Е. В. Семейкина, С. А. Дудченко, В. В. Вакульчук

Институт черной металлургии им. З. И. Некрасова НАН Украины, Днепр

Промышленные исследования особенностей влияния электрических воздействий на количество королек в шлаке при верхней кислородной продувке

Исследования в 60- и 160-тонных конвертерах показали возможность снижения количества потерь металла со шлаком за счет применения низковольтного потенциала. При анализе работы конвертеров различных емкостей с отличающимися технологическими приемами ведения продувки установлены общие экстремальные закономерности изменения количества королек в шлаке от его основности (CaO/SiO_2) и температуры сталеплавильной ванны. Зависимости от основности характеризуются противоположным проявлением влияния полярности потенциала на содержание королек в шлаке, что отражает различие в механизмах влияния потенциала той или иной полярности. Установлено, что электрические воздействия перемещают минимум в содержании королек в область температур, оптимальных для успешного выпуска металла. Показано, что при отрицательной полярности общее снижение потерь металла происходит за счет существенного (в 2,5-3,5 раза) снижения доли королек в шлаке, а при положительной, кроме снижения количества королек, – в результате восстановления железа из его окислов, что на практике повышает выход стали.

Ключевые слова: конвертерный процесс, потери металла с корольками, низковольтный потенциал, выход жидкой стали.

При продувке в конвертере имеют место значительные потери металла, перечень причин которых достаточно велик [1-6]. При этом существенную долю среди них составляют потери со шлаком. В различные периоды продувки металлические капли, называемые корольками, составляют от 10 до 50% от массы шлака [1-2], а в конечном шлаке может находиться в среднем порядка 5-10% королек металла. Известно также, что содержание королек в шлаке тесно связано с химическим составом и свойствами шлакового расплава [5, 7].

Таким образом, в кислородно-конвертерном процессе с корольками в целом за плавку может теряться до 1,5% жидкого металла.

В связи с этим, целью данной работы было изучение особенностей и оценка степени влияния низковольтного электрического потенциала на количество металлической фазы в шлаке в виде королек по основным технологическим периодам продувки плавки. Исследования проведены на двух украинских предприятиях с конвертерами емкостью 60 и 160 т.

Методика исследований. Работа 60-тонных конвертеров характеризуется динамическим изменением оператором положения фурмы по ходу более «мягкой» продувки кислородом, и наличием двух технологических павалок конвертера: для промежуточного скачивания шлака и по окончании продувки. Работа 160-тонных конвертеров, напротив, характеризуется практически неизменным расположением фурмы по ходу более «жесткой» продувки кислородом и наличием дополнительной промежуточной технологической павалки конвертера в конце продувки для уточнения содержания углерода в металле и его температуры. На период проведения исследований на всех технологических павалках конвертера (во время скачивания шлака, во время замера темпера-

туры и отбора пробы металла и, при наличии, после додувки плавки) отбирались пробы шлака. Образцы застывшего шлака оценивали визуально, шлаки измельчали в мельнице, от них отмагничивали металлическую часть (корольки) и проводили фракционный и химический анализ металлических королек и спектральный анализ проб шлака. Для оценки возможного уровня накопления металлических капель в шлаке металлическую часть разделяли ситовым методом на две фракции: больше 1 мм (предполагается, что такие корольки смогут вернуться в металл) и меньше 1 мм (корольки такого размера, вероятнее всего, останутся в шлаке).

Опытные плавки проводили с близкими начальными условиями по шихтовке и режиму ведения продувки согласно принятой на каждом предприятии технологической инструкции при выплавке низкоуглеродистых марок стали в пределах трех опытных вариантов использования электрического потенциала: 1 – без воздействий; 2 и 3 – с подведением к фурме электрического потенциала отрицательной и положительной полярностей соответственно.

Обсуждение результатов исследования. Количественный анализ содержания металлических королек в шлаке по оцениваемым периодам продувки плавки: скачивание шлака и к окончанию продувки для 60- и 160-тонных конвертеров представлен в табл. 1 и табл. 2 в виде усредненных показателей по опытным вариантам.

Сравнительный анализ работы конвертеров по стандартному варианту технологии без внешних электрических воздействий указывает на присущий каждому предприятию определенный усредненный уровень наполнения шлака корольками, отражающий, как известно, установившееся динамическое равновесие противоположно направленных

Средние величины количества королек в шлаке по этапам продувки плавки по опытным вариантам для 60-тонного конвертера

№ п/п	Этап продувки	Опытный вариант	Общее количество королек, %	По фракциям, %	
				> 1 мм	< 1 мм
1	Скачивание шлака	№ 1	9,0	5,1	3,9
		№ 2	4,1 (-4,9)	1,9	2,2
		№ 3	3,5 (-5,5)	0,8	2,7
2	Окончание продувки	№ 1	13,1	9,7	3,4
		№ 2	5,0 (-8,1)	3,1	1,9
		№ 3	7,0(-6,1)	4,5	2,5

Таблица 2

Средние величины количества королек в шлаке по этапам продувки плавки по опытным вариантам для 160-тонного конвертера

№ п/п	Этап продувки		Опытный вариант	Общее количество королек, %	По фракциям, %	
					> 1 мм	< 1 мм
1	Плавки с додувкой	Скачивание шлака	№ 1	11,5	9,5	2,0
			№ 2	8,5(-3,0)	6,0	2,5
			№ 3	7,5(-1,0)	5,3	2,2
2		Первая повалка	№ 1	13,2	7,7	5,5
			№ 2	4,4(-8,8)	2,4	2,0
			№ 3	5,6(-7,6)	4,2	1,4
3		Додувка	№ 1	11,9	6,5	5,4
			№ 2	3,2(-8,7)	1,6	1,6
			№ 3	4,9(-7,0)	3,3	1,6
4	Без додувки	Скачивание шлака	№ 1	12,0	9,6	2,4
			№ 2	8,4(-3,6)	6,1	2,3
			№ 3	7,6 (-4,4)	5,8	1,8
5		Окончание продувки	№ 1	12,4	7,2	5,2
			№ 2	3,8 (-8,6)	2,3	1,5
			№ 3	5,0(-7,4)	3,6	1,4

процессов: с одной стороны, перехода королек в шлак, а, с другой стороны, их возвращения обратно в металл, что и определяет конкретное содержание королек в каждый момент продувки. Указанные выше различия в работе конвертеров при анализе стандартной продувки отличались уровнем потерь металла со шлаком. Так, зафиксированное на момент скачивания шлака общее количество королек при работе 160-тонных конвертеров было выше на 25% по уровню поступления королек в шлак, чем в аналогичный период работы 60-тонных конвертеров. Если продувка осуществлялась без додувок, то на момент окончания плавки уровень содержания королек при работе обоих конвертеров становился сопоставимым. Меньший уровень содержания королек на плавках с додувкой по сравнению с плавками без додувки поясняется сгоранием части королек при попадании их в кислородный поток, а также влиянием локального повышения температуры шлаковой фазы на процесс разжижения шлака.

Анализ фракционного состава королек показал, что доля крупных королек (более 1 мм), полученных при работе 60-тонных конвертеров, имеет тен-

денцию к повышению от этапа скачивания шлака к окончанию продувки плавки от 56,7% от общего количества королек до 74,0% соответственно. В то же время, для 160-тонных конвертеров, напротив, характерно уменьшение доли крупных королек с 83,0 до 57,7% к концу плавки.

Следовательно, в целом при стандартной продувке потери металла с корольками за плавку при работе 60-тонного конвертера получены ниже, чем в 160-тонном конвертере, за счет более «мягкой» продувки, обеспечивающей меньший уровень разбрызгивания металлического расплава кислородной струей.

В отношении влияния низковольтного потенциала на общий уровень и на соотношение величин крупных и мелких королек по этапам продувки плавки выявлено, что при обеих полярностях потенциала, подводимого к продувочной фурме, содержание королек в шлаке было ниже на обоих конвертерах на протяжении всего времени продувки плавки, особенно при отрицательной полярности потенциала. На рис. 1 в качестве примера показано изменение количества королек, отобранных в различные

периоды продувки при выплавке металла в 160-тонном конвертере в зависимости от содержания углерода в расплаве металла.

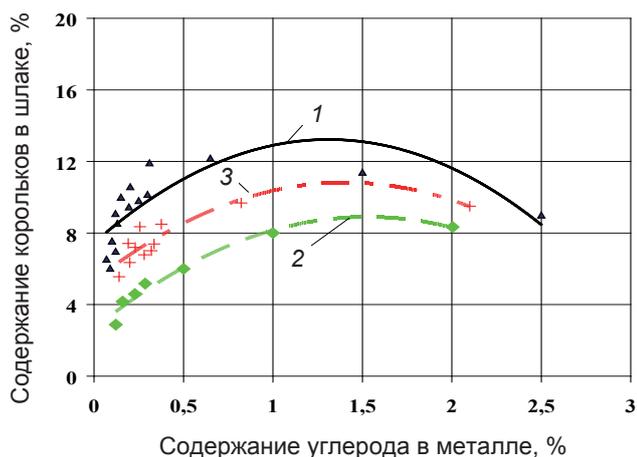


Рис. 1. Изменение содержания корольков в шлаке в зависимости от содержания углерода в металле при выплавке в 160-тонном конвертере по опытным вариантам: 1 – сравнительные плавки без воздействий; 2 и 3 – с применением электрического потенциала отрицательной и положительной полярности, соответственно

Установленная нелинейная зависимость для всех опытных вариантов имеет экстремальный характер с максимумами при содержании углерода порядка 1,0-1,5%, соответствующем максимальному развитию процесса его окисления, что указывает на преимущество в этот период одного из механизмов образования и поступления корольков в шлак, то есть в этом периоде процесс разбрызгивания металла струей уменьшается, вследствие погашения импульса струи вспененным шлаком, а поступление корольков в шлак, связанное с выталкиванием капелек металла всплывающими пузырьками СО в шлаковую фазу, увеличивается.

Следует отметить, что эффективность электрического воздействия в немалой степени определяется условиями протекания электрического тока от фурмы через шлакометаллическую эмульсию к металлической ванне и полярностью применяемого потенциала. Успешность протекания электрического тока, как показал общий анализ, в большей мере связана с технологическими особенностями и обеспечением «мягкого» режима продувки, которые в совокупности обеспечивают раннее формирование жидкоподвижного шлака, содержащего окисные комплексы на основе окислов железа, обладающие достаточной электропроводностью. Так, плавки, проводимые в 60-тонном конвертере, уже с начала продувки за счет регулируемого положения фурмы отличаются лучшими условиями по протеканию электрического тока в цепи фурма-ванна по сравнению с работой 160-тонных конвертеров, что и обеспечивает более высокий уровень влияния электрического потенциала на этом предприятии.

При анализе характера и особенностей влияния электрического воздействия установлено, что в период до выполнения операции скачивания шлака

наибольшее по уровню и величине воздействие оказывает положительная полярность, а в период максимального обезуглероживания – отрицательная полярность, обеспечивающая наилучшие условия по поддержанию шлакового расплава в жидком состоянии. Так, при работе конвертеров с положительной полярностью в период до скачивания шлака отмечено снижение содержания корольков, по сравнению с продувками без воздействий, которое в этот период составило 61,0% для 60-тонных конвертеров и порядка 35,0-37,0% для 160-тонных. Полученное различие по конвертерам, прежде всего, поясняется особенностями шлакообразования в конкретных условиях данных агрегатов [8]. В средний период продувки при работе обоих конвертеров количество сформированного шлака достаточно для протекания электрического тока, поэтому показатели по влиянию электрического потенциала становятся одного порядка в пределах 61,0-69,0% по сравнению со стандартной продувкой, однако этот лучший результат получен при отрицательной полярности потенциала.

Установленный эффект чередования приоритета подводимой полярности объясняется периодическим изменением физико-химических свойств шлакового расплава по ходу продувки и структурными изменениями самого металлического расплава, происходящими при снижении содержания углерода в металлической матрице по мере его окисления. Химический состав шлака и, прежде всего, его интегральный показатель – основность, в данной работе рассчитанная, как отношение окислов ($\text{CaO} / \text{SiO}_2$), оказывают специфическое влияние на количество корольков, зафиксированных в шлаке. На рис. 2 показано влияние величины основности шлака, формируемого по ходу продувки плавки, на общее количество находящихся в шлаке корольков. Прежде всего, обращает на себя внимание то, что установленные зависимости подобны для двух предприятий, которые, помимо разной емкости, отличались и условиями проведения выплавки металла, следовательно, полученные зависимости отражают универсальные закономерности. Из графиков видно, что, кроме более низкого содержания корольков в шлаке при использовании низковольтных потенциалов, отмеченного выше, на опытных вариантах 1 и 3 имеют место максимумы при основности порядка 3-3,5 ед., а для варианта 2 – минимум при таком же уровне основности шлака. Такой эффект можно пояснить развитием двух механизмов формирования шлака в зависимости от вида подводимой полярности потенциала. В случае применения положительной полярности, так же как и в варианте без воздействий, формирование идет по пути образования силикатных соединений (прочных двух и трех кальциевых силикатов, а также прочных силикатных оболочек на кусочках нерастворенной извести, создающих гетерогенность шлака), что повышает вязкость шлака и удерживает в нем корольки. В случае применения отрицательной полярности – процесс шлакообразования идет по пути ферритных соединений, характеризующихся низкой температурой плавления и придающих шлаку жидкоподвижность, что позволяет королькам оседать в металл.

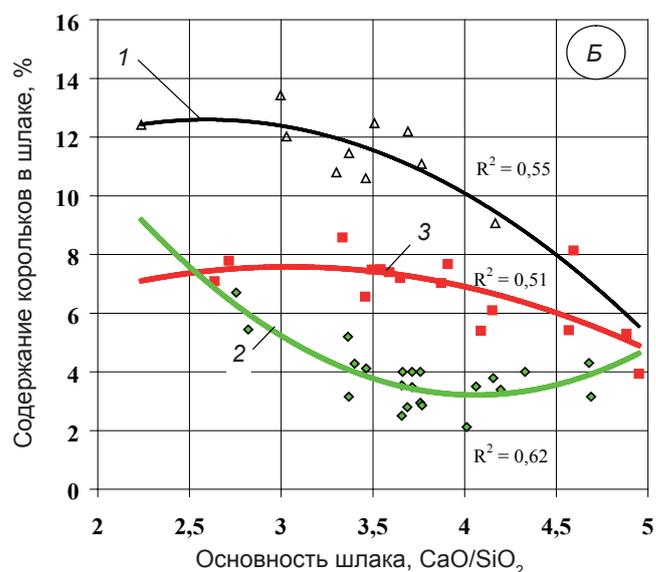
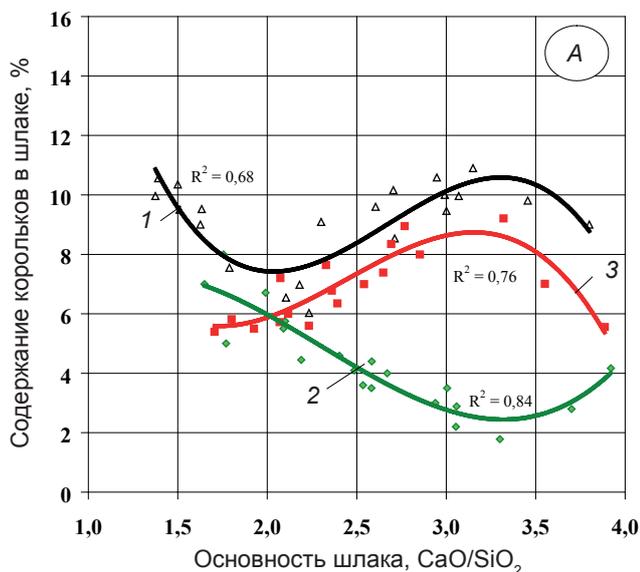


Рис. 2. Влияние основности шлака на содержание в нем королек при выплавке металла в конвертерах емкостью 60 т (А) и 160 т (Б) по опытным вариантам: 1 – сравнительные плавки без воздействий; 2 и 3 – с применением электрического потенциала отрицательной и положительной полярности, соответственно

Выявленное различие в уровне снижения количества королек в шлаке при положительной полярности по сравнению с плавками без воздействий, несмотря на похожий силикатный путь формирования шлака, очевидно, связано с присущими этой полярности более высокими температурами за счет анодного дожигания CO до CO_2 , в результате чего происходит частичное термическое разрушение прочных оксидных соединений и некоторое снижение вязкости шлака по сравнению со стандартной продувкой, способствуя возврату части королек в металлическую ванну.

На рис. 3 показано влияние температуры сталеплавильной ванны на количество королек в шлаке для конвертеров двух предприятий. Обращает на себя внимание то, что в изученном интервале температур 1530-1670 °С, полученные на конвертерах разной емкости закономерности похожи и свидетельствуют о существенном влиянии температурных условий на количество королек в шлаке. Так, при повышении температуры содержание королек снижается во всех вариантах, однако этот процесс продолжается до определенных температур, выше которых их общее содержание повышается. Величина температуры, соответствующая такому переходу, определяется условиями формирования шлака на каждом конкретном предприятии.

Следует отметить, что в данном случае, влияние электрического потенциала связано с расширением температурного диапазона позитивного влияния температуры на снижение количества королек. Так, для 60-тонных конвертеров при обычной продувке установленный при 1630 °С минимум содержания королек на опытных вариантах переместился в область температур порядка 1650 и 1660 °С соответственно при применении положительной и отрицательной полярностей потенциала, а для 160-тонных конвертеров с температуры порядка 1600 до 1610 и 1620 °С аналогично.

Полученный результат свидетельствует о том, что условия работы 60-тонных конвертеров имеют преимущество по эффективности влияния электрических воздействий на снижение потерь металла с корочками в шлаке, поскольку рекомендованный технологической инструкцией температурный диапазон оптимального выпуска металла приходится на минимальное количество королек в шлаке, что является следствием организованной «мягкой» продувки. Применяемая на 160-тонном конвертере с целью повышения срока службы огнеупорной футеровки более «жесткая» продувка приводит к тому, что при необходимых для выпуска металла температурах, количество королек в шлаке повышается, снижая выход жидкого металла.

Необходимо отметить, что установленный эффект влияния температуры на общий уровень королек в случае применения воздействия электрических потенциалов существенно возрастает по мере увеличения температуры сталеплавильной ванны, особенно заметно при отрицательной полярности потенциала. Различие в степени влияния полярностей потенциала связано с особенностями их воздействия на процесс шлакообразования [9].

Известно, что в общем случае, при повышении температуры расплава, уменьшается кинематическая вязкость шлака, оказывающая сильное влияние на миграцию королек между шлаком и металлом. В то же время, та или иная полярность потенциала специфически влияет на направление перемещения королек, преимущественно малого размера, которые в обычных условиях длительное время находятся в шлаковом расплаве. Природа электрического эффекта, вероятно, связана с тем, что корочки мелкой фракции, в момент их формирования и отрыва от основного металла, окружены облаком электронов, придающих им отрицательный несбалансированный заряд. Следовательно, такие корочки, находясь в

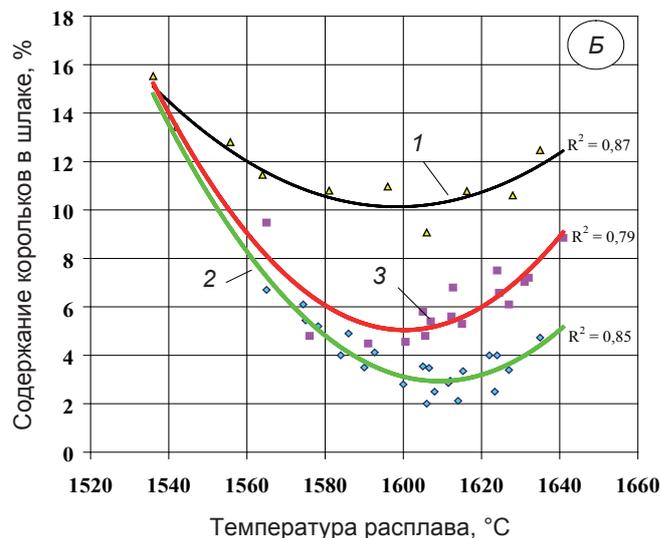
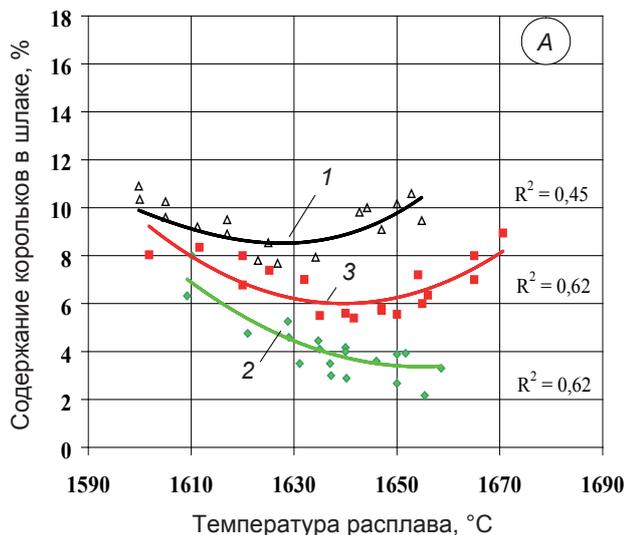


Рис. 3. Влияние температуры расплава на содержание королек в шлаке при выплавке металла в 60-тонном (А) и в 160-тонном конвертере (Б) по опытным вариантам: 1 – сравнительные плавки без воздействий; 2 и 3 с – применением электрического потенциала отрицательной и положительной полярности, соответственно

электрическом поле, будут приобретать дополнительный импульс движения по направлению к положительно заряженной поверхности. При подключении отрицательной полярности к фурме, и, соответственно положительной полярности – к металлической ванне, электрическое поле препятствует накоплению королек в шлаке, контактирующем с фурмой. При подключении положительной полярности потенциалов к фурме, а отрицательной – к металлу, происходит круговорот мелких капель металла в сталеплавильной ванне посредством: во-первых, отрицательно заряженные мелкие капли металла притягиваются к положительно заряженной фурме (и контактирующему с фурмой шлаковому расплаву); во-вторых, корольки, попадая в подфурменную зону, частично окисляются в кислородном потоке с образованием окислов железа, переходящих в шлаковую фазу; и в-третьих, на границе раздела металлического и шлакового расплавов происходит электрохимическое восстановление окислов под действием электрических сил с возвращением железа в металлическую ванну, в итоге, количество королек уменьшается.

Кроме сказанного выше, следует учитывать то, что повышение температуры ускоряет обменные процессы, способствующие растворению металлической основы мелких королек в шлаке, о чем свидетельствует химический анализ крупной и мелкой

фракции королек: в мелкой фракции увеличивается содержание примесей, в частности углерода, в результате окисления железа королька и перехода его в шлак уже в виде окислов.

В то же время, крупные корольки практически не участвуют в перемещении в электрическом поле, поскольку не обладают электрическим зарядом, однако эти частички способны сливаться воедино с образованием крупных капель, которые оседают обратно в металл под действием гравитационных сил.

Таким образом, проведенные исследования показали, что электрические воздействия, помимо успешного снижения количества королек в шлаке, оказывают влияние на ионообменные реакции между компонентами шлака и металла, снижая общие потери металла при продувке и увеличивая выход жидкого металла.

Комплексный анализ потерь металла с корольками и окислами железа в шлаке, выполненный на основе данных выплавки металла в 160-тонных конвертерах, представлен в табл. 3.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что обе полярности в целом оказывают практически равное влияние на снижение потерь металла со шлаком. При отрицательной полярности в большей степени уменьшаются потери с корольками, а при положительной – с окислами железа, безвозвратно

Таблица 3

Оценка потерь металла со шлаком на 160-тонном конвертере

№ п/п	Показатели	Варианты исследования			
		Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	
1	Содержание углерода в стали, %	0,12	0,15	0,14	
2	Потери металла со шлаком, кг/т:				
		- с корольками	10,90	4,84	6,46
		- с FeO	13,14	13,70	11,90
	- с Fe ₂ O ₃	5,90	5,40	5,60	
3	Итого потери металла, кг/т	29,94	23,94(-6,0)	23,96(-5,98)	

теряемыми со шлаком. В общем снижении потерь металла со шлаком (на уровне 6,0 кг/т стали) доля корольков составляет для отрицательной полярности 100%, а для положительной – 74%.

В качестве примера, на рис. 4 показаны зависимости коэффициентов выхода стали при разливке в слитки от содержания корольков в шлаке при работе 60-тонных конвертеров по вариантам [10].

Из графика видно, что общее содержание корольков в шлаке оказывает заметное влияние на величину выхода годного металла, причем, если при отрицательной полярности зависимость является продолжением прямой, полученной при стандартной продувке, определяемой, в большей мере, изменением количества корольков в шлаке, то при положительной полярности линия тренда находится значительно выше, отражая более высокие значения коэффициента выхода металла, что объясняется стабилизирующим действием положительной полярности на комплекс процессов, определяющих потери металла, не только со шлаком, но и в процессе выноса брызг металла за пределы агрегата, с налипанием их на элементы охладителя конвертерных газов (ОКГ), горловину конвертера и образованием настыва на фурме.

Выводы

Исследованиями в 60- и 160-тонных конвертерах показана возможность и целесообразность применения низковольтного потенциала для снижения потерь металла при продувке, в том числе за счет содержания корольков в шлаке. При анализе работы конвертеров различных емкостей, с отличающимися технологическими приемами ведения продувки, установлены схожие общие экстремальные закономерности изменения количества корольков в шлаке от его основности (CaO/SiO_2) и температуры сталеплавильной ванны. Зависимости от основности характеризуются противоположным направлением влияния полярности потенциала на содержание корольков в шлаке, что отражает различие в механизмах влияния потенциала той или иной полярности. Установлено, что воздействие потенциала перемещает минимум по

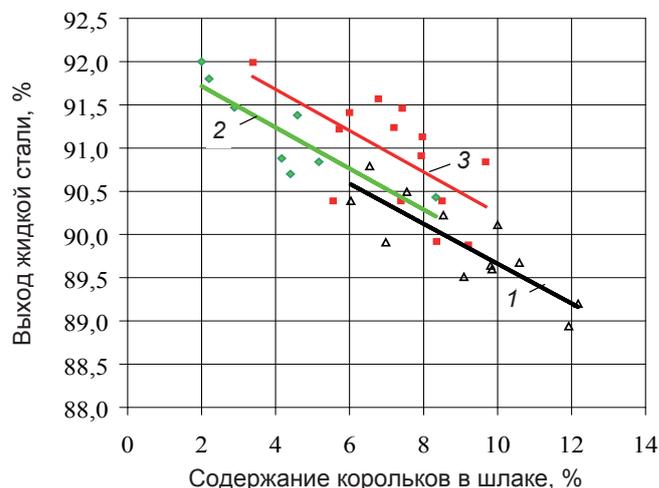
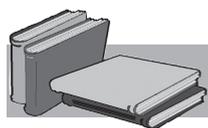


Рис. 4. Зависимость выхода жидкой стали в 60-тонном конвертере от содержания корольков в шлаке по опытным вариантам: 1 – сравнительные плавки без воздействий; 2 и 3 – с применением электрического потенциала отрицательной и положительной полярности, соответственно

содержанию корольков в область более высоких температур, необходимых для успешной разливки металла, способствуя снижению общих потерь металла со шлаком и повышению выхода жидкого металла.

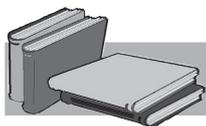
Предложен механизм снижения содержания в шлаке корольков за счет их миграции между шлаковым и металлическим расплавами под действием электрического поля на заряженные частички, которые составляют основу мелкой фракции корольков. Причины снижения потерь металла и повышения выхода жидкой стали различаются в зависимости от полярности потенциала. При подключении отрицательной полярности, полученный эффект достигается преимущественно в результате двух- трехкратного снижения количества корольков в шлаке, а при положительной полярности – за счет снижения содержания корольков в шлаке, в результате их частичного окисления кислородным потоком, и содержания окислов железа в шлаке, в результате электрохимического восстановления железа с возвращением его в металлическую ванну.



ЛИТЕРАТУРА

1. Охотский В. Б., Козаченко Д. А. Выход годного в сталеплавильных процессах. Конвертерное производство. // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2006. – № 2. – С. 17-19.
2. Бойченко Б. М., Охотский В. Б., Харлашин П. С. Конвертерное производство стали. – Днепропетровск: РВА «ДнепроВАЛ». – 2006. – 453 с.
3. Охотский В. Б. Выбросы в конвертерных процессах. – Металл и литье Украины. – 2013. – № 3. – С. 26-32.
4. Mats Brämning, Bo Björkman. Avoiding Sloppy BOS Process Behavior // Iron & Steel Technology. – 2010. – Vol. 7. – no. 11. – pp. 66-75.
5. Brahma Deo, Aart Overbosch, Bert Snoeijer et al. Control of Slag Formation, Foaming, Slopping, and Chaos in BOF // Transactions of the Indian Institute of Metals. – 2013. – Vol. 66. – Iss. 5, pp. 543–554.
6. Чернятевич А. Г., Зарвин Е. Я., Волович М. И. Наблюдение через прозрачную стенку за поведением конвертерной ванны при продувке // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1975. – № 2. – С. 37-42.

7. Колпаков С. В., Старов Р. В., Смоктий В. В., Лебедев В. И. и др. Технология производства стали в современных конвертерных цехах. – М.: Машиностроение, 1991. – 464 с.
8. Семыкина Т. С., Семыкин С. И. Влияние полярности налагаемого на конвертерную ванну электрического потенциала на состояние и химический состав шлакового расплава // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. – 2008. – вып. 15. – С.125-129.
9. Семыкин С. И., Кияшко Т. С., Семыкина Е. В. Исследование особенностей влияния низковольтного потенциала на процессы рафинирования металла в кислородном конвертере // Металл и литье Украины. – 2011. – № 7. – С. 29-33.
10. Семыкин С. И. Влияния низковольтных потенциалов на выход жидкой стали при конвертерном процессе // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2006. – № 7. – С. 101-105.



REFERENCES

1. Okhotskii V. B. (2006). Vykhod godnogo v staleplavilnikh protsessakh [Metal yield in steel smelting process]. Metallurgicheskaya i gornorudnaya promishlennost', no. 2, pp. 17-19. [in Russian].
2. Boichenko B. M., Okhotskii V. B., Kharlashin P. S. (2006). Konvertornoe proizvodstvo stali [BOF steel production]. Dnepropetrovsk: Dnepro-VAL., 453 p. [in Russian].
3. Okhotskii V. B. (2013). Vybrosy v konvertornykh protsessakh [Slopping in LD processes], Metall i lit'e Ukrainy, no. 3, pp. 26-32. [in Russian].
4. Mats Brämning, Bo Björkman (2010). [Avoiding Sloppy BOS Process Behavior]. Iron & Steel Technology, vol. 7 no. 11, pp. 66-75. [in English].
5. Brahma Deo, Aart Overbosch, Bert Snoeijer et al. (2013). [Control of Slag Formation, Foaming, Slopping, and Chaos in BOF]. Transactions of the Indian Institute of Metals, vol. 66, iss. 5, pp. 543–554. [in English].
6. Cherniatevich A. G., Zarvin Ye. Ya., Volovich M. I. (1975). Nabludenie cherez prozrachnuiu stenu za povedeniem konvertornoj vannы pri produvke. [Watching through the transparent wall of the behavior of converter bath during blowing], Izvestiia vuzov. Chernaya metallurgiya, no. 2, pp. 37-42. [in Russian].
7. Kolpakov S. V., Starov R. V., Smoktii V. V., Lebedev V. I. et al. (1991). Tehnologiya proizvodstva stali v sovremennykh konvertornykh tsekhakh [Technology of steel production in modern converter shops]. Moscow: Mashinostroenie, 464 p. [in Russian].
8. Semykina T. S., Semykin S. I. (2008). Vliianie poliarnosti nalagaemogo na konvertornuiu vannu elektricheskogo potentsiala na sostoianie i khimicheskii sostav shlakovogo raspplava. [Influence of polarity of the electric potential imposed on a converter bathtub on a state and chemical composition of molten slag]. Fundamentalnye i prikladnye problemy chernoй metallurgii, vol. 15, pp. 125-129. [in Russian].
9. Semykin S. I., Kiiashko T. S., Semykina E. V. (2011). Issledovanie osobennostei vliianiia nizkovoltnogo potentsiala na protsessы rafinirovaniia metalla v kislородnom konvertere. [Research of features of influence of low voltage potential on the metal refining processes in the basic oxygen furnace], Metall i lit'e Ukrainy, no. 7, pp. 29-33. [in Russian].
10. Semykin S. I. (2006). Vliianie nizkovoltnykh potentsialov na vikhod zhidkoi stali pri konvertornom protsesse. [The effects of low-voltage potentials on the metal yield at the converter process]. Metallurgicheskaya i gornorudnaya promishlennost', no. 7, pp.101-105. [in Russian].

Анотація

Семикін С. І., Голуб Т. С., Семикіна О. В., Дудченко С. О., Вакульчук В. В.
Промислові дослідження особливостей впливу електричних дій на кількість корольків у шлаку під час верхньої кисневої продувки

Дослідження в 60- й 160-тонних конвертерах показали можливість зниження кількості втрат металу зі шлаком за рахунок застосування низковольтного потенціалу. При аналізі роботи конвертерів різних ємностей з відмінними технологічними прийомами ведення продувки встановлені загальні екстремальні закономірності зміни кількості корольків в шлаку від його основності (CaO/SiO_2) й температури сталеплавильної ванни. Залежності від основності характеризуються протилежним проявом впливу полярності потенціалу на вміст корольків в шлаку, що відображає відмінність в механізмах впливу потенціалу тієї чи іншої полярності. Встановлено, що електричний вплив переміщує мінімум вмісту корольків в область температур, що є оптимальними для успішного випуску металу. Показано, що при негативній полярності загальне зниження втрат металу відбувається за рахунок істотного (в 2,5-3,5 рази) зниження частки корольків в шлаку, а при позитивній, крім зниження кількості корольків, – в результаті відновлення заліза з оксидів, що на практиці підвищує вихід сталі.

Ключові слова

Конвертерний процес, втрати металу з корольками, низковольтний потенціал, вихід рідкої сталі.

Summary

Semykin S., Golub T., Semykina E., Dudchenko S., Vakul'chuk V.

Industrial researches of features of influence of electric impacts on the number of metal drops in slag at the top oxygen blowing

Researches in 60- and 160-ton converters showed a possibility of decrease in number of losses of metal with slag due to use of low-voltage potential. In case of analysis of converters with different capacity and different processing methods general extreme regularities of change of quantity of metal drops in slag from its basicity (CaO/SiO_2) and temperature of a steel-smelting bath are determined. Dependences on basicity are characterized by an opposite manifestation of influence of polarity of potential on content of metal drops in slag that reflects distinction in mechanisms of influence of potential of this or that polarity. It is established that electric impacts move a minimum in content of metal drops to the area of temperatures that is optimum for successful metal tapping. It is shown that in case of negative polarity general decrease in losses of metal occurs at the expense of essential (by 2.5-3.5 times) decrease in amount of metal drops slag, and in case of positive polarity, except decrease in quantity of metal drops, – as a result of recovery of iron from its oxides that in practice raises a metal yield.

Keywords

Converter process, losses of metal with metal drops, the low-voltage potential, a metal yield.

Поступила 25.11.16