

С.И.Семыкин, В.Ф.Поляков, Е.В.Семыкина, Т.С.Кияшко,
А.С.Семыкина

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ НИЗКОВОЛЬТНЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ ПРИ ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКЕ МЕТАЛЛА

В лабораторных условиях изучено применение низковольтных потенциалов при ковшевой обработке металла, базирующейся на перемешивании расплава струями азота при инжектировании в его потоке порошкообразной извести и при присадке различных кусковых материалов для наводки покровного шлака. Показана возможность повышения степени рафинирования металла по сере и фосфору за счет электрических воздействий.

Постановка задачи. В современном производстве чистой стали сочетание средств внепечной обработки с конвертерной выплавкой металла позволяет повысить производительность последней путем вынесения рафинировочных операций из конвертера. Кроме того, развитие непрерывной разливки предъявляет более высокие требования к качеству металла (по однородности состава и более низкому содержанию вредных примесей: серы, фосфора, кислорода и азота) и температуре расплава.

Известно, что при внепечной обработке металла на установках доводки стали используют различные синтетические шлаковые расплавы, а также проводят вдувание реагентов, содержащих известь, соду, магний и другие материалы для повышения степени рафинирования металла. Однако дополнительный ввод реагентов существенно изменяет физико-химические свойства покровного шлака, увеличивая его вязкостные свойства и значительно охлаждая расплав, что создает определенные сложности и ограничения при решении комплексной задачи – высокой степени очистки металла и получения запаса температуры, необходимой для осуществления непрерывной разливки.

Широкомасштабные исследования, выполненные ранее в лабораторных и промышленных конвертерах различной емкости, при разработке способа наложения низковольтного потенциала на конвертерную ванну показали возможность получения целого комплекса положительных эффектов, относящихся к ресурсосбережению, повышению тепловых возможностей плавки, улучшению качества металла и других. Положительный опыт дает основание для расширения сферы применения низковольтной электрической энергии, в частности для внепечной обработки металла, с целью улучшения процесса рафинирования и возможности снижения скорости его охлаждения за период обработки.

Целью исследования является определение возможности комплексного подхода к решению задачи удаления вредных примесей из чугуна и стали в ковше путем совмещения газодинамических и электрических воздействий в условиях использования недорогих и вторичных материалов в

сочетании со снижением температуры металла при выпуске его из сталеплавильного агрегата.

В ИЧМ начаты работы по разработке элементов способа и универсального устройства для наложения низковольтного потенциала на шлаковую и металлическую системы при продувке расплава газовыми струями. В качестве базового метода был взят распространенный на заводах Украины способ перемешивания металлического расплава газами через погружную фурму на УКДС. Этот метод отличается минимальными затратами для его реализации, простотой и надежностью исполнения и позволяет дополнительно вдуть порошкообразные рафинирующие реагенты, создающие благоприятные условия для эффективного удаления примесей из металла.

Изложение основных материалов исследования.

В условиях лабораторной базы ИЧМ выполнена серия экспериментов на 0,5-т ковше, дополнительно оснащенном блоком подачи в металлический расплав реагентов в струе газа и устройством подвода низковольтного электрического потенциала к фурме и расплаву.

Лабораторные эксперименты при обработке чугуна проведены с вдвуханием порошкообразной извести с размером фракций до 0,5мм, подаваемой через погружную фурму в потоке азота. Расход материалов изменялся в пределах от 2 до 15 кг/мин.

Обработку стали в ковше проводили с наведением рафинирующего шлака различного состава путем присадки кусковых материалов:

- вариант А – дробленый конвертерный шлак (средний состав CaO: 40%; SiO₂: 27%; MgO: 8%; FeO: 15%);
- вариант Б – смесь из 40% боя магнезитового кирпича; 40% извести; 10% плавикового шпата и 10% графитового боя;
- вариант В – смесь из 80% боя магнезитового кирпича; 10% плавикового шпата; 10% – графитового боя;
- вариант Г – смесь из 80% извести; 10% плавикового шпата; 10% графитового боя.

Графит добавляли в шлаковую смесь для повышения электропроводности расплава. Общий вес покровного шлака составлял 40кг/т обрабатываемого металла. Газодинамическую обработку расплава проводили путем его продувки азотом через погружную фурму в течение 4–5 минут. Мощность электрических воздействий подводимой к фурме энергии составляла 3–4 кВт/т обрабатываемого металла.

Технологические исследования проведены по трем основным вариантам:

- 1) без электрических воздействий;
- 2) подведение отрицательной полярности к фурме, а положительной – к металлическому расплаву;
- 3) подведение положительной полярности к фурме, а отрицательной – к металлическому расплаву.

Результаты лабораторных исследований по рафинированию чугуна при использовании электрических воздействий и вдувании порошковой извести приведены в табл.1.

Таблица 1. Результаты обработки чугуна в ковше по вариантам электрических воздействий: 1 – без электрических воздействий, 2 – на фурме отрицательная полярность, 3 – положительная

№ п/п	Параметры	Варианты воздействий		
		1	2	3
1	Содержание серы до обработки,% :	0,043	0,043	0,044
2	Расход порошкообразной извести, кг	8,98	8,90	8,82
3	Длительность обработки, мин	4,23	4,25	3,91
4	Содержание серы после обработки,%	0,031	0,029	0,022
5	Степень десульфурации,%	29,4	31,4	49,3
6	Удельная десульфурация,% / кг извести	3,27	3,52	5,59
7	Скорость десульфурации,% /мин	6,9	7,4	12,6
8	Скорость снижения температуры, °С/мин	38,5	37,9	32,2

Обращает на себя внимание то, что в сопоставимых по значениям исходных составах чугуна и условиях обработки металла азотом во всем интервале изменения расхода вдуваемой извести на плавках с электрическим воздействием получена более высокая скорость десульфурации чугуна: 12,6 и 7,4 против 6,9%/мин соответственно вариантам 3; 2 и 1.

Использование положительной полярности потенциала отличалось снижением скорости охлаждения металла в течение эксперимента до 32,2°С/мин против 38,5°С/мин без электрической энергии. Установлено (рис.1), что при одном и том же расходе подаваемой извести степень десульфурации чугуна повышается примерно в 2 раза при положительной полярности и в 1,5 раза – при отрицательной полярности. Таким образом эффективность использования в качестве десульфуратора порошкообразной извести при электрических воздействиях существенно повышается и по полученным показателям приближается к эффективности применения более дорогостоящего материала, например карбида кальция.

Сводные результаты по обработке стали в ковше приведены в табл.2. Прежде всего, обращают на себя внимание схожие тенденции по влиянию положительной полярности на процесс десульфурации металла вне зависимости от состава покровного шлака. Даже в случае использования в качестве рафинирующего материала оборотного конечного шлака конвертерного производства (без предварительной его обработки) при положительной полярности потенциала степень десульфурации составляла 3,8%. При обычной обработке (использование шлака того же состава) имела место ресульфурация металла (-6,9%) в силу того, что шлак был уже дос-

таточно насыщен серой за период конвертерной плавки, и сера (при обработке в ковше при перемешивании расплава азотом) частично возвращается в металл вследствие раскисления шлака. Это подтверждает нецелесообразность использования в обычных условиях необработанного конвертерного шлака для рафинирования металла при ковшевой обработке.

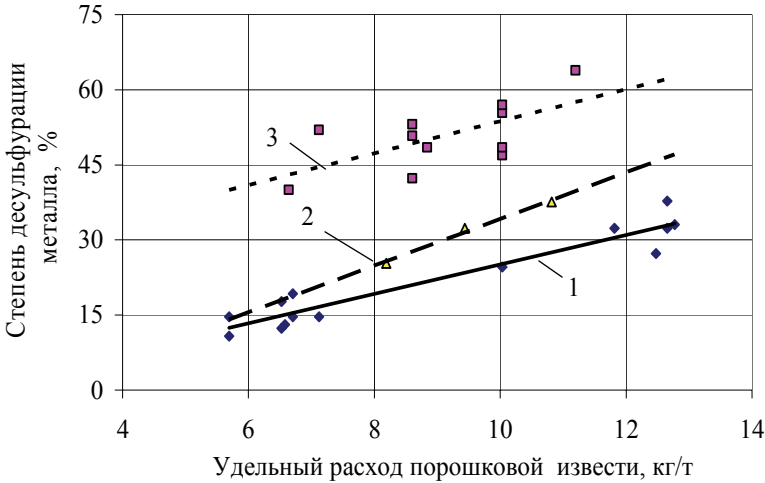


Рис.1. Влияние расхода порошковой извести на степень десульфурации чугуна, обозначения электрических воздействий на этом и других рисунках те же, что и в табл.1.

Наблюдаемая в опытах с положительной полярностью десульфурация металла в аналогичных условиях объясняется тем, что электрические воздействия, во-первых, частично удаляют серу из шлака в газовую фазу (известно как анодное выгорание серы при ЭШП процессе), чем повышают десульфурующую способность шлака по отношению к металлу, во-вторых, электрическая энергия позволяет снизить тепловые потери во время обработки, тем самым создавая благоприятные условия для перехода серы из металла в шлак.

Во время опытов при наводке шлака с максимальным количеством добавок извести средняя степень десульфурации стали повысилась до 25,8% тоже при положительной полярности. Этот вариант оказался примерно в 8 раз эффективнее, чем использование оборотного конвертерного шлака. Наводка шлака на основе боя магнезиального кирпича отличалась средними значениями по десульфурации металла.

На рис.2 и 3 показано влияние шлакообразующих добавок различного состава на степень десульфурации металла при использовании трех вариантов исследований электрических воздействий. В качестве показателя по оси абсцисс выбрана скорость изменения содержания углерода в металле,

которая, как показали результаты данного исследования, оказывает существенное влияние на развитие процесса десульфурации стали.

Таблица 2. Степень окисления элементов за продувку металла азотом в опытном 0,5–т ковше с использованием различных покровных шлаков при электрических воздействиях (обозначения вариантов электрических воздействий те же, что и в табл.1).

Параметры	Варианты электрического воздействия		
	1	2	3
Технологический вариант А – покровный шлак – конвертерный: средний состав CaO: 40%; SiO ₂ : 27%; MgO: 8%; FeO: 15%			
Степень окисления элементов, % : – углерода	6,5	5,0	16,0
– марганца	25,0	17,9	13,7
– серы	–6,9	–3,9	3,8
– фосфора	–2,1	3,6	–1,9
Снижение температуры за обработку, °С	25	18	20
Технологический вариант Б – покровный шлак – синтетический: магнезит – 40% ; известь – 40% ; плавиковый шпат –10% ; графитовый бой – 10%			
Степень окисления элементов, % : –углерода	7,1	5,6	14,0
– марганца	16,6	12,2	4,9
– серы	3,3	4,3	13,8
– фосфора	0	20,3	5,7
Снижение температуры за обработку, °С	30	20	15
Технологический вариант В – покровный шлак – синтетический: магнезит – 80%; плавиковый шпат –10% ; графитовый бой –10%			
Степень окисления элементов, % : –углерода	6,8	4,5	16,0
– марганца	14,3	31,6	4,7
– серы	0	–3,6	6,9
– фосфора	1,6	21,9	–1,7
Снижение температуры за обработку, °С	25	20	15
Технологический вариант Г – покровный шлак – синтетический: Известь – 80%; плавиковый шпат –10% ; графитовый бой –10%			
Степень окисления элементов, % : – углерода	8,8	6,6	12,0
– марганца	20,0	9,5	5,3
– серы	13,8	12,5	20,3
– фосфора	–3,3	13,8	0
Снижение температуры за обработку, °С	35	25	20

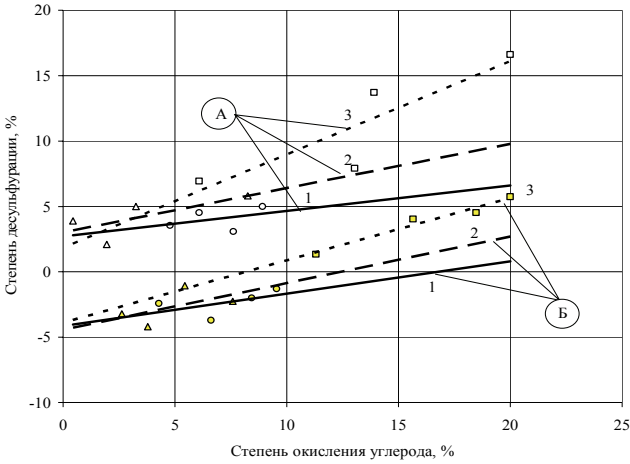


Рис.2. Изменение степени десульфурации металла при использовании конвертерного шлака – А и синтетического на основе магнезита и извести – Б

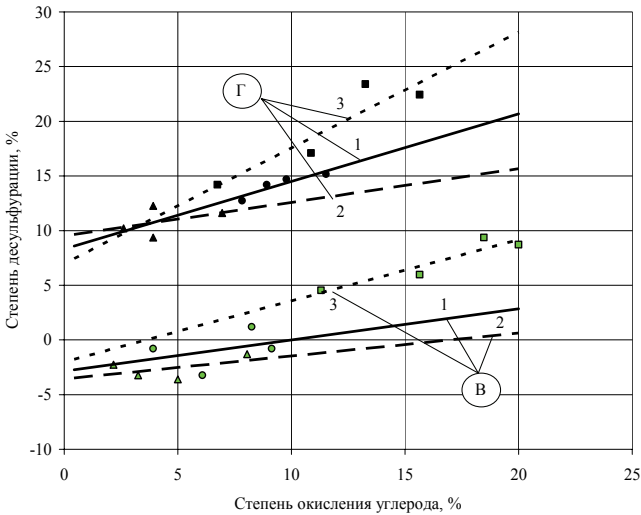


Рис.3. Изменение степени десульфурации металла при использовании синтетических шлаков на основе магнезита – В и извести – Г.

Установлено, что во всем изученном диапазоне изменения содержания в металле углерода покровный шлак, сформированный на основе извести (вариант Г), по своему влиянию значительно превосходил другие изученные составы, причем, как и следовало ожидать, увеличение доли

известии в шлаке повышает его десульфурисующую способность. В то же время следует отметить, что на опытах с использованием известкового шлака без электрических воздействий степень десульфурации была ниже в 2–2,5. Применение шлака на основе магнезитового компонента (вариант В) дало более низкие результаты близкие по значениям с применением конвертерных шлаков. Эксперименты показали, что при близких по величине значениях соотношений основных и кислотных окислов, содержащихся в шлаках, сформированных на основе магнезии и известии, степень десульфурации металла была различной, причем получено подтверждение того, что основным десульфурисующим компонентом в шлаке является СаО или другие образования на основе кальция, способные притягивать серу с получением комплексных устойчивых соединений, тогда как окислы магнезии, вероятно, не способны образовывать с серой устойчивых комплексов.

Как и следовало ожидать, в противоположность удалению серы успешному протеканию процесса дефосфорации способствовало использование отрицательной полярности потенциала, подводимой к шлаковому расплаву. В этом случае электрический ток способствует отводу непрерывно накапливающихся в металлическом расплаве электронов, образующихся за счет протекания реакции дефосфорации. Наиболее высокий уровень удаления фосфора отмечен при наводке покровного шлака, в состав которого входит магнезит. Полученная степень дефосфорации в 1,5 раза выше, чем при использовании шлака на основе известии. Необходимо отметить ряд отличий в развитии процесса десульфурации и дефосфорации при наложении низковольтных потенциалов, выявленных при ковшевой обработке в лабораторных условиях:

- процессам удаления серы и фосфора способствует противоположная полярность подводимых потенциалов (положительная для серы и отрицательная – для фосфора);
- успешное удаление серы сопровождается интенсивным окислением углерода металла, а окисление фосфора сопровождается торможением этого процесса;
- для успешного протекания процесса десульфурации необходимо наличие ионов кальция (или его комплексов), а для развития процесса дефосфорации необходимы ионы магнезии (либо комплексы на его основе).

Выводы.

Лабораторными экспериментами показано положительное влияние применения низковольтных потенциалов при ковшевой обработке металла.

Установлено, что положительная полярность улучшает процесс десульфурации металла, а отрицательная – дефосфорации.

Исследование показало, что подведение электрического потенциала позволяет использовать в качестве рафинирующих шлаков более дешевые материалы. Во всех изученных вариантах электрического воздействия отмечено заметное снижение скорости охлаждения металлического расплава (в большей мере при положительной полярности), что позволяет использовать металл с более низкой температурой после выпуска из конвертера либо обеспечить запас тепла, необходимого для проведения непрерывной разливки.

Возможность электрического тока по повышению рафинирующей способности используемых материалов в комплексе с обеспечением дополнительных тепловых условий позволит решить задачу получения сверхчистых сталей путем увеличения количества вводимых добавок, эффективности их использования и более интенсивного ведения процесса.

Статья рекомендована к печати докт.техн.наук, проф. Э.В.Приходько