

С.И.Семькин, В.Ф.Поляков, Е.В.Семькина, Т.С.Княшко, А.С.Семькина

СОПОСТАВЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАФИНИРОВАНИЯ МЕТАЛЛА В КОНВЕРТЕРЕ И СТАЛЕРЕЗЛИВОЧНОМ КОВШЕ ПРИ НАЛОЖЕНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА

Целью работы являлось определение перспектив применения электрической энергии малой удельной мощности при кислородно–конвертерной плавке металла и на стадии обработки металла в сталеразливочном ковше. Сопоставлены особенности и эффективность наложения низковольтного электрического потенциала на расплав. Сформулированы основные положения, касающиеся природы получаемых эффектов. Исследование показало перспективность комплексного применения низковольтной электрической энергии на обеих стадиях сталеплавильного передела.

сталеплавильный передел, кислородно–конвертерная плавка сталеразливочный ковш, наложения низковольтного электрического потенциала, перспективы

В настоящее время сталеплавильные агрегаты – конвертеры, дуговые электропечи, оставшиеся еще мартеновские печи – используют преимущественно для получения жидкой заготовки. Исключая обезуглероживание и, в определенной степени, дефосфорацию, процессы рафинирования перенесены в ковш.

Целью данной работы было определение перспектив применения электрической энергии малой удельной мощности не только при конвертерной плавке металла, но и на стадии обработки металла в сталеразливочном ковше. В связи с этим, в лабораторных условиях изучены особенности влияния электрических воздействий при выплавке металла в конвертере и при его последующей продувке азотом в сталеразливочном ковше с использованием различных покровных шлаков и сопоставлена эффективность применения низковольтных электрических потенциалов при этих видах сталеплавильного передела.

Методика исследования. Исследования проведены в два этапа по трем вариантам электрических воздействий: а) без электрических воздействий; б) – с подведением к продувочной фурме отрицательной и с) – положительной полярности от источника тока соответственно. Удельная электрическая мощность при выплавке металла в конвертерах составляла 1,8–2,0 кВт/т (основная футеровка) и 1,2–1,3 кВт/т (кислая футеровка), а при его обработке в сталеразливочном ковше – 1,0–1,5 кВт/т.

На первом этапе проведены опытные плавки в 0,3т конвертере с использованием огнеупорной футеровки: 1 – основной и 2 – кислой. Выполнено соответственно 30 и 45 опытных плавов при 16 и 15 сравнительных. Использовали верхнюю продувку расплава чугуна с расходом кислорода $0,8 \text{ м}^3/\text{мин}$. Соблюдались условия одинакового уровня размещения нако-

нечника фурмы над зеркалом спокойной ванны (40 калибров сопел) и фиксированного электрического напряжения постоянного тока (9,0 В).

На втором этапе было опробовано применение низковольтной электрической энергии при продувке металла в 0,5т сталеразливочном ковше через погружную фурму азотом (чистота 99%, интенсивность дутья 0,1–0,2 м³/т в мин). На зеркало металла добавляли рафинирующие смеси, в качестве которых использовали оборотный конвертерный шлак (вариант «А») и синтетические смеси (варианты «Б», «В» и «Г»). Общий вес покровного шлака составлял 40–50 кг/т металла. Технологические показатели опытных и сравнительных конвертерных плавов приведены в табл.1, а показатели ковшевой обработки: состав смесей для покровных шлаков, химический анализ металла и температура расплавов – в табл. 2.

Таблица 1. Результаты экспериментов в 0,3т конвертере с основной и кислой футеровками (расход O₂ 0,8 м³/ мин)

№	Параметры плавки, ед. измерения	Основная футеровка			Кислая футеровка		
		Варианты исследования			Варианты исследования		
		a	b	c	a	b	c
1	Вес, кг: – чугуна	296	296	294	290,8	302,0	295,7
	металлолом/известь	10/21	10/21	10/21	10/–	10/–	10/–
	плавиковый шпат/руда	1 / –	1 / –	1 / –	– / 7,0	– / 7,5	– / 7,6
2	Хим. состав чугуна, %:	3,73	3,58	3,55	3,73	3,92	3,90
	– углерод						
	– кремний	0,61	0,59	0,60	0,78	0,83	0,82
	– марганец	0,26	0,23	0,29	0,51	0,47	0,49
	– сера	0,039	0,039	0,038	0,022	0,022	0,021
	– фосфор	0,063	0,063	0,063	0,058	0,059	0,059
3	Хим.состав стали, %:						
	– углерод	0,040	0,041	0,038	0,098	0,106	0,108
	– кремний	–	–	–	0,022	0,020	0,028
	– марганец	0,060	0,068	0,110	0,022	0,023	0,028
	– сера	0,032	0,029	0,025	0,026	0,025	0,024
	– фосфор	0,023	0,022	0,023	0,054	0,051	0,054
4	Температура, °С:						
	– чугуна	1300	1295	1305	1340	1337	1338
	– стали	1640	1645	1690	1635	1637	1650
	– приращение	340	360	385	295	300	312
5	Степень удаления, %:						
	– серы	26,16	32,50	40,79	–6,36	–2,27	–2,86
	– фосфора	67,14	68,57	67,14	16,21	22,20	17,63
	– марганца	79,23	73,39	65,86	61,18	55,96	48,57
6	Параметры шлака:						
	– FeO,%	19,2	16,9	20,7	26,0	25,0	26,7
	– основность	2,68	2,90	3,33	0,028	0,030	0,032

Таблица 2. Результаты обработки металла азотом в 0,5-т сталь – ковше с использованием низковольтных электрических потенциалов под различными покровными шлаками

№	Параметры	Варианты исследования											
		А			Б			В			Г		
		а	б	с	а	б	с	а	В	с	а	б	с
1	Усредненные параметры покровного шлака, %:												
	CaO/ SiO ₂	42,0/ 23,7	42,0/ 23,7	42,0/ 23,7	40,0 /-	40,0 /-	40,0 /-	-/-	-/-	-/-	80,0 /-	80,0 /-	80,0 /-
	MgO/ FeO	8,5/ 13	8,5/ 13	8,5/ 13	40,0 /-	40,0 /-	40,0 /-	80,0 /-	80,0 /-	80,0 /-	- /-	- /-	- /-
	CaF ₂ / C	-/-	-/-	-/-	10/10	10/10	10/10	10/10	10/10	10/10	10/10	10/10	10/10
2	Содержание примесей в металле до обработки азотом, %:												
	марганец	0,40	0,39	0,36	0,42	0,41	0,41	0,35	0,38	0,42	0,40	0,42	0,38
	сера	0,029	0,026	0,026	0,030	0,029	0,029	0,026	0,032	0,031	0,029	0,032	0,031
	фосфор	0,053	0,056	0,053	0,053	0,059	0,053	0,061	0,064	0,060	0,060	0,058	0,058
3	Содержание примесей в металле после обработки азотом, %:												
	марганец	0,30	0,34	0,31	0,35	0,36	0,39	0,30	0,26	0,40	0,32	0,38	0,36
	сера	0,031	0,027	0,025	0,029	0,028	0,025	0,026	0,032	0,028	0,025	0,026	0,023
	фосфор	0,054	0,054	0,054	0,053	0,047	0,051	0,060	0,050	0,061	0,062	0,050	0,058
4	Степень окисления (+) и восстановления (-) примесей за обработку азотом, %:												
	d Mn	+ 25,0	+12,8	+ 13,9	+16,7	+12,2	+4,9	+14,3	+31,6	+4,8	+20,0	+9,5	+5,3
	d S	- 6,9	- 3,8	+3,8	+3,3	+4,2	+13,8	0	0	+9,7	+12,0	+18,7	+25,8
	d P	-1,8	+3,6	-1,8	0	+20,3	+3,8	+1,6	+21,9	-1,7	-3,3	+13,8	0
5	Температура металла, °C:												
	до обработки	1560	1570	1550	1575	1590	1595	1595	1580	1585	1615	1610	1605
	после обраб.	1530	1552	1530	1545	1570	1580	1570	1560	1570	1580	1585	1585
	охлаждение	-30	-18	-20	-30	-20	-15	-25	-20	-15	-35	-25	-20

Анализ результатов показал, что полярность тока оказывает одинаковое качественное влияние на тепловые и рафинировочные показатели как при конвертерной плавке, так и при ковшевой обработке.

По сравнению с обычными плавками, использование тока отрицательной полярности при отмеченном некотором различии в величине удельной электрической мощности способствовало:

1) увеличению степени десульфурации металла до 32,5%, 4,2% и 18,7% против 26,16%, 3,3% и 12,0% при конвертерной выплавке на основной футеровке и при ковшевой обработке азотом с использованием шлакообразующих смесей «Б» и «Г» соответственно, а также уменьшению степени ресульфурации до 2,27% и до 3,8% против 6,36% и 6,9% соответственно при конвертерной плавке на кислой футеровке и при ковшевой обработке азотом со смесью «А». При использовании смеси «В» влияние отрицательной полярности на степень десульфурации по сравнению с обычными продувками не проявилось, вероятно, в силу низкой сульфидной емкости этого вида шлака.

2) повышению степени дефосфорации металла до 68,57% против 67,14% (основная футеровка), до 22,2% против 16,21% (кислая футеровка) и 3,6%, 20,3; 21,9% и 13,8% против –1,8%, 0%, 1,6% и –1,7% – при обработке в ковше при покровных шлаках из смесей «А», «Б», «В» и «Г» соответственно. Величина дефосфорации существенно зависела от состава шлака и определялась, как наличием в шлаке извести, так и присутствием в нем окислов магния (смеси «Б» и «В»);

3) снижению степени окисления марганца до 73,39%, 55,96% и до 12,8%, 12,2%, 9,5% против 79,23%, 61,18% и 25,0%, 16,7%, 20,0% соответственно при конвертерной плавке (основная и кислая футеровки) и при ковшевой обработке азотом со смесями «А», «Б», «Г».

При использовании смеси «В» отрицательная полярность привела к повышению степени окисления марганца до 31,6%, вероятно, в результате того, что в условиях повышенного содержания окислов магния в шлаке эта полярность способствует раскислению стали с образованием достаточно прочных комплексов $MnO \times MgO$.

4) повышению температуры металла за время продувки в конвертере на 20°C (основная футеровка) и на 5°C (кислая футеровка), а также снижению его охлаждения за период обработки в ковше азотом на 12°C, 10°C, 5°C и 10°C соответственно используемым шлакообразующим смесями «А», «Б», «В» и «Г».

Использование положительной полярности позволило получить:

1) повышение степени десульфурации металла до 40,79%, 3,8%, 13,8%, 9,7% и 25,8% при конвертерной плавке на основной футеровке и при ковшевой обработке азотом со смесями «А», «Б», «В» и «Г» соответственно, а также уменьшению степени ресульфурации до 2,86% при конвертерной плавке на кислой футеровке;

2) снижение степени окисления марганца до 65,86% и 48,57% при конвертерной плавке на основной и кислой футеровках, а также до 13,9%, 4,9%, 4,8% и 5,3% при ковшевой обработке азотом со смесями «А», «Б», «В» и «Г» соответственно;

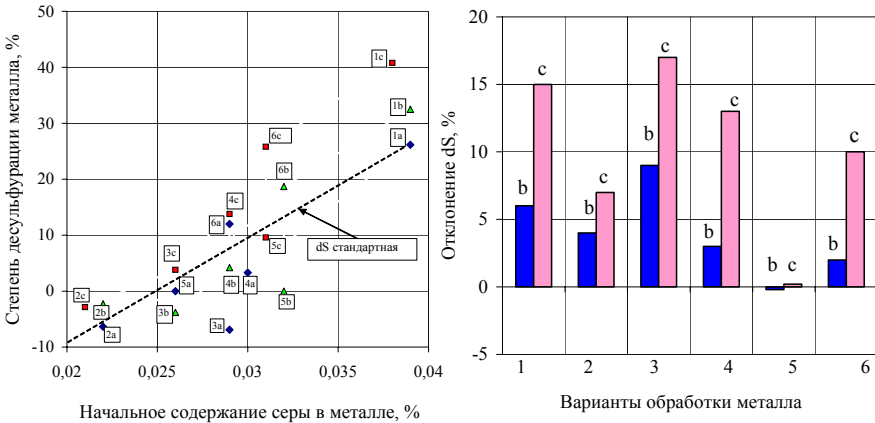
3) повышение прироста температуры металла на 45°C, 17°C при конвертерной плавке на основной, кислой футеровках и снижение его охлаждения за период ковшевой обработки азотом на 10°C, 15°C, 10°C и 15°C соответственно используемым смесями «А», «Б», «В» и «Г»;

При анализе результатов рафинирования металла учитывали, что на скорость протекания окислительно–восстановительных процессов оказывает влияние уровень удельной электрической мощности внешних воздействий. Выполненное ранее исследование показало, что увеличение мощности электрических воздействий от 1,0 до 2,0 кВт/т при подведении как положительной, так и отрицательной полярности увеличивает степень удаления серы примерно на 6% отн. (положительная полярность) и на 17% отн. (отрицательная полярность). Степень окисления фосфора с увеличением мощности в указанном интервале электрических воздействий увеличивается на 17% отн. (отрицательная полярность) и 18% отн. (положительная полярность). Снижение степени окисления марганца составляет 2% отн. (отрицательная полярность) и

6,2% отн. – (положительная полярность). В некоторой степени этим объясняется получение более высоких результатов на экспериментальных продувках в конвертере с основной футеровкой (мощность электрических воздействий 1,8 – 2,0 кВт/т) по сравнению с другими видами обработки, где мощность, как указывалось, была несколько ниже.

При анализе учитывали также, что на степень десульфурации металла оказывают влияние не только условия протекания процесса и сульфидная емкость шлака, но и начальное содержание серы в металле. Чем меньше в металле серы, тем сложнее происходит ее удаление. Сопоставление влияния низковольтных электрических воздействий различной полярности на процесс десульфурации металла при плавке в конвертерах и обработке в сталеразливочном ковше показано на рисунке.

Для этого был выполнен расчет по приведению опытных вариантов к сопоставимым начальным концентрациям серы в металле. Построена стандартная зависимость степени десульфурации металла от начального ее содержания при работе без электрических воздействий (см. рисунок, а).



а)

б)

Рисунок. Изменение степени десульфурации металла от начального содержания в нем серы (а) и отклонения между полученными результатами dS (б) при: плавке в конвертере на футеровках: 1 – основной, 2 – кислой; и обработке в ковше азотом со шлаками: 3 – А; 4 – Б; 5 – В; 6 – Г; а – без воздействий; полярность тока на фурме: б – отрицательная с – положительная.

Для всех вариантов исследования рассчитано отклонение между результатами, полученными при различной полярности потенциала, и сравнительными продувками, отражающая влияние непосредственно электрических воздействий (см. рисунок, б). Видно, что положительная полярность тока способствует большей степени десульфурации, чем отрицательная (вариант «с» против варианта «б») независимо от варианта обработки металла (конвертерная плавка или обработка азотом в сталеразливочном ковше), от футеровки кон-

вертера (основная или кислая), состава смеси покровного шлака в ковше. Наилучшие результаты по увеличению степени десульфурации металла за счет электрических воздействий получены в вариантах 4, 1 и 6.

Изучение тепловых характеристик процессов выплавки металла и его обработки в ковше азотом показало, что при конвертерном переделе при работе с кислой футеровкой за счет электрических воздействий получен более низкий, чем с основной футеровкой, прирост тепла. Это произошло, вероятно, по двум причинам:

- мощность электрических воздействий примерно в 1,5 раза ниже;
- изменился характер передачи электрического тока конвертерной ванне вследствие присутствия в кислом шлаке крупных малоподвижных комплексов кремния на основе SiO_3^- , снижающих электропроводность шлака, а значит и полезную мощность тока.

Что касается ковшевой обработки металла, то на продувках без электрического воздействия были установлены большие тепловые потери, что характерно для малых объемов расплава. Так, при расходе азота $0,1 \text{ м}^3/\text{т}$ в мин снижение температуры металла для смесей «А», «Б» и «В» составляло порядка $8 - 10^0\text{C}/\text{мин}$. Для смеси «Г» падение температуры составило порядка $12^0\text{C}/\text{мин}$. Указанное выше снижение тепловых потерь при подведении электрического тока по визуальным наблюдениям сопровождалось локальным разогревом шлакового покрова вокруг контактного электрода (тем интенсивнее, чем выше значения силы тока) с последующим распространением расплавленной зоны к стенкам ковша.

Вывод. Изучение особенностей влияния электрических воздействий при выплавке металла в конвертере и при его последующей продувке азотом в сталеразливочном ковше показало перспективность комплексного применения низковольтной электрической энергии на обеих стадиях сталеплавильного передела.

*Статья рекомендована к печати:
заместитель ответственного редактора
раздела «Сталеплавильное производство»:
докт.техн.наук, проф. Э.В.Приходько
рецензент канд.техн.наук В.П.Корченко*

С.І.Семикін, В.Ф.Поляков, Е.В.Семикіна, Т.С.Кияшко, А.С.Семикіна

Зіставлення ефективності рафінування металу у конвертері та сталерозливочному ковші при накладенні електричного потенціалу.

Метою роботи є визначення перспектив застосування електричної енергії малої питомої потужності при конвертерній плавці металу та на стадії обробки металу в сталерозливальному ковші. Зіставлено особливості та ефективність накладення низьковольтного електричного потенціалу на розплав. Сформульовано основні положення щодо природи одержуваних ефектів. Дослідження показало перспективність комплексного застосування низьковольтної електричної енергії на обох стадіях сталеплавильного переделу.