

выводились из эксплуатации по износу шлакового пояса. Состояние монолитной футеровки стен и днища оценивалось как удовлетворительное.

В настоящее время намечено проведение испытаний в качестве шлакообразующей присадки доломита марки ДОМ-1.

### **Выводы**

1. Эффект зависит от условий эксплуатации футеровки – чем выше термохимическая составляющая износа, тем очевиднее эффект.

2. Эффект зависит от количества добавляемых присадок. Лучшие результаты при прочих равных условиях были достигнуты при насыщении шлака окислами магния до 8 - 10 %. Однако, в этой части работа не закончена, требуется опробование больших порций шлакообразующих добавок.

3. На опытных ковшах отмечалась меньшая раскрываемость швов кладки, что возможно связано с образованием тонкого слоя гарнисажа на поверхности

периклазоуглеродистой футеровки. Данный слой образовывался в процессе разлива по мере снижения уровня шлака и препятствовал процессам окисления углеродистой составляющей изделий в межплавочные периоды. Это может являться причиной улучшения ситуации с раскрытием швов кладки и вносит свою долю в общий эффект повышения стойкости.

Таким образом, результаты проведенных на ЗАО «Донецкий электрометаллургический завод» испытаний показали возможность повышения стойкости шлаковых поясов сталеразливочных ковшей путем добавки магнезиальных шлакообразующих смесей и нейтрализации химической агрессивности шлаков внепечной обработки по отношению к периклазоуглеродистой футеровке шлаковых поясов. Проведенную работу нельзя назвать законченной, т. к. требуется продолжать испытания в плане подбора как оптимальных качественных характеристик, так и количественных величин шлакообразующих магнезиальных добавок.

УДК 669.183

Б. П. Крикунов, Н. М. Переворочаев, В. И. Цуканов, А. И. Дрейко, В. Р. Барановский, М. В. Рыжов, А. А. Астахов, А. Ю. Карибов (Филиал «Металлургический комплекс» ЗАО «Донецксталь» - МЗ)

## **Совершенствование технологии раскисления стали**

Существующая технология раскисления углеродистых и низколегированных марок стали предусматривает раскисление металла в ковше на выпуске из мартеновской печи кусковым алюминием и кремний-содержащими ферросплавами. Окончательное раскисление кремнием на УПК производят дробленным 65 % - ным FeSi и SiMn.

Периодический анализ расходования кремния на производство мартеновской стали с обработкой на УПК показывает, что существует тенденция сверхнормативного расхода кремнийсодержащих ферросплавов (в основном дробленого 65 % ферросилиция).

В результате предварительного анализа данных плавов текущего производства было установлено, что сверхнормативный расход кремнийсодержащих ферросплавов наблюдался, главным образом, при обработке стали на установке «печь-ковш» (УПК). Одной из основных причин перерасхода является нестабильное усвоение кремния на УПК, что, в основном, связано с использованием относительно легковесных ферросплавов – 65 % ферросилиция, в том числе и присадками его малыми порциями (50-70 кг).

Для повышения степени и стабильности усвоения Si предложено пересмотреть установленную технологию корректировки химического состава полупродукта кремнием в ходе внепечной обработки стали:

– при выпуске стали из мартеновской печи не

Разработана и испытана в промышленном масштабе новая технология раскисления стали, которая характеризуется изменением порядка ввода раскислителей и использованием новых кремний - содержащих ферросплавов

использовать вторичный алюминий в чушках для раскисления полупродукта;

– в начале обработки на УПК производить присадку алюмофлюса и вводить алюминиевую катанку;

– корректировку массовой доли кремния в металле производить вместо 65 % FeSi, имеющего более высокую удельную массу - 45 % FeSi.

Опытную технологию выплавки и внепечной обработки отработывали на углеродистых марках стали, не легированных кремнием (массовая доля кремния до 0,45 %).

В работе предусматривали:

– проведение промышленных испытаний новых вариантов раскисления металла (с использованием дробленого 45 % ферросилиция и измененным порядком ввода различных раскислителей);

– исследование уровня окисленности металла в период доводки на УПК и разлива на УНРС при различных вариантах раскисления;

– проведение сопоставительного анализа свойств листового проката из опытного и сравнительного металла;

– выполнение оценочного расчета экономической эффективности разработанной технологии.

Особенностью и новизной экспериментальной части работы является отказ от использования кускового вторичного алюминия при выпуске из мартеновской печи.

Полупродукт углеродистых марок стали раскисляли кремнием в ковше на выпуске путем ввода в металл 65 % ферросилиция по расчету на 0,30 % без учета угара. Совместно с ферросплавами в ковш на выпуске присаживали 800±50 кг ТШС, состоящей из 600 кг извести и 200 кг алюмофлюса.

Для улучшения условий усвоения кремния и других компонентов из ферросплавов на УПК предложено в начале обработки присаживать алюминиевую катанку и алюмофлюс. С момента начала дугового нагрева в течение первых (1-3) минут в зону распада электродов производили присадку 50-100 кг алюмофлюса. Через 3-5 мин. после начала обработки в металл вводили алюминиевую катанку.

Для установления эффективности использования алюминиевой катанки в начале обработки плавки ее расход на одной из групп плавки составлял 100 м на плавку, на другой – 130 м.

При определении расхода алюминиевой катанки исходили из условий получения в металле содержания алюминия (0,006-0,008 %).

В период обработки на УПК и разливки металла на УНРС отбирали пробы для определения содержания кислорода. Для отбора проб использовали специально заказанные на заводе «Запорожавтоматика» пробоотборники с удлиненной хвостовой частью, применяемую для изготовления проб на газы.

Для сопоставительного анализа свойств листового проката из опытного и сравнительного металлов использовали данные испытаний механических свойств (предел текучести, предел прочности, относительное удлинение) проката стали марок СтЗсп, А36/А36М, S235JR текущего производства на стане 2300.

Исследована технология раскисления металла с применением 45 % ферросилиция, имеющего более высокую массовую плотность, чем 65 % ферросилиция. Причем 45 % FeSi рекомендовано присаживать одной порцией. Существенным отличием новой технологии являлось использование алюминиевой катанки в начале обработки на УПК.

Для чистоты сравнительного анализа выбраны данные по плавкам только одной марки стали S235JR.

**Таблица**  
**Содержание кислорода в металле опытных и сравнительных плавки**

Марка стали, вид плавки	Содержание кислорода, ppm					
	мартеновская печь	УПК			УНРС	
		начало обработки	середина обработки	конец обработки	начало разливки	конец разливки
Опытные S235, Зсп	<u>222-356</u> 277	<u>39-70*</u> 51	<u>36-56</u> 46	<u>26-38</u> 31	<u>35-44</u> 41	<u>37-48</u> 43
Сравнительные Зсп, А36, S235	<u>236-27</u> 253	<u>42-84</u> 66	<u>37-82</u> 50	<u>10-79</u> 51	<u>34-66</u> 50	<u>38-80</u> 57

\*Пробы взяты после ввода алюминиевой катанки.

Получены результаты 386 плавки по первому варианту (расход алюминиевой катанки 100 м на плавку) в сравнении с плавками, проведенными перед опытной кампанией (апрель – май 2007 г.).

Анализ результатов показывает:

– удельный расход чистого кремния на УПК на 0,03 кг/т меньше на опытных плавках по сравнению со сравнительными;

– степень усвоения кремния в среднем на 8,5 % выше на плавках с использованием 45 % FeSi, чем с 65 % FeSi.

Важно отметить, что удельный расход общего алюминия на плавку (чушковый + катанка) значительно ниже на опытных плавках: 0,21 против 0,3 кг/т. При этом и расход алюмофлюса на опытных плавках в среднем на 12,8 кг на плавку ниже. Вместе с тем, содержание алюминия как в первой пробе металла на УПК, так и перед присадкой ферросилиция выше, чем при обычной технологии. Это является косвенным свидетельством более низкой окисленности металла на опытных плавках.

Получены результаты технологических показателей плавки по второму варианту с расходом алюминиевой катанки 130 м на плавку, которые свидетельствуют о том, что степень усвоения кремния на опытных плавках (также как и в первом варианте) выше и в среднем составляет 8,3 %. Однако, удельный расход чистого кремния на УПК на опытных и сравнительных плавках одинаков (0,98 кг/т) и выше, чем в первом варианте. Расход суммарного алюминия незначительно ниже на опытных плавках, в среднем на 0,06 кг/т.

Таким образом, сопоставительный анализ новых вариантов раскисления металла на УПК показал, что для практического использования первый вариант с использованием 100 м на плавку алюминиевой катанки является более предпочтительным.

Уровень содержания кислорода в металле в период доводки на УПК в значительной степени определяет усвоение элементов раскислителей. Для определения уровня содержания кислорода и изучения его динамики в ходе технологического процесса отбирали специальные пробы из мартеновской печи перед выпуском, на УПК – в начале обработки, после присадки FeSi (SiMn), после ввода силикокальция, а также из промежуточного ковша УНРС в начале и конце разливки. Результаты определения содержания кислорода на опытных и сравнительных плавках приведены в таблице.

Анализ данных таблицы показывает:

– общий уровень кислорода на УПК и УНРС на опытных и сравнительных плавках колеблется в довольно широких пределах (10-80 ppm), но не выходит за рамки требований к спокойной стали обычного качества;

– содержание кислорода в металле на УПК на плавках с использованием 45 % FeSi и раскислением алюминием в начале доводки колеблется в значительно меньших пределах, что свидетельствует о более стабильной окисленности.

Содержание кислорода, к примеру, в конце обработки на опытных плавках находится в пределах 26-38 ppm и в среднем составляет 31 ppm, тогда как на сравнительных - в пределах 34-66 и 50 ppm в среднем;

– использование алюминия по новой технологии в начале доводки обеспечивает более низкое начальное среднее содержание кислорода при обработке металла на УПК по сравнению с обычной технологией (51 и 66 ppm соответственно) и в определенной степени определяет более высокое усвоение кремния;

– высокую степень усвоения кремния на опытных плавках (в среднем на 8,5 %) обеспечивает также большая удельная масса 45 % FeSi по сравнению с 65 % FeSi;

– более низкое содержание кислорода в металле отмечается и в период разливки на УНРС.

Для установления влияния новой технологии на уровень свойств листового проката из углеродистых марок стали выполнили сопоставительный анализ данных о пределе текучести, временном сопротивлении и относительном удлинении плавков с использованием 65% FeSi и плавков с 45 % FeSi в комплексе с измененным порядком ввода алюминия. Из полученных результатов были сделаны следующие выводы:

– средний уровень свойств металла на опытных и сравнительных плавках находится примерно на одном уровне для всех анализируемых марки стали;

– на стали марки А36/А36М наблюдается устойчивая тенденция к более высоким показателям по всем характеристикам;

– разработанная новая технология раскисления стали на УПК обеспечивает получение заданных свойств листового проката из углеродистых марок стали.

На основе полученных результатов в опытном периоде скорректирована нормативная база расхода кремнийсодержащих ферросплавов и алюминия, что позволило, в конечном итоге, оценить ожидаемую экономическую эффективность разработанной технологии раскисления.

Результаты расчета затрат на ферросплавы при выплавке стали по опытной и сравнительной технологиям позволили получить ожидаемый экономический эффект от внедрения опытной технологии в размере 1,1 грн/т.

## **Выводы**

1. Разработана новая технология раскисления металла, которая предусматривает изменение порядка ввода раскислителей и использование нового кремнийсодержащего ферросплава:

– при выпуске стали из мартеновской печи не используется вторичный алюминий в чушках для раскисления полупродукта;

– в начале обработки на УПК производится присадка алюмофлюса и вводится алюминиевая катанка;

– корректировка массовой доли кремния в металле производится вместо 65 %-ного 45 %-ным ферросилицием, имеющим более высокую удельную массу.

2. Проведены широкие опытно-промышленные испытания новой технологии раскисления. Анализ результатов показал, что лучшим вариантом по технологическим показателям является раскисление металла в начале доводки на УПК алюминиевой катанкой в количестве 100 м на плавку и использование 45 % FeSi.

Установлено:

– удельный расход чистого кремния на УПК на опытных плавках меньше на 0,03 кг/т;

– степень усвоения кремния в среднем на 8,5 % выше на плавках с использованием 45 % FeSi;

– удельный расход алюминия (чушковый + катанка) на опытных плавках ниже на 0,09 кг/т (0,21 против 0,3 кг/т). При этом содержание алюминия в металле, как в 1-й пробе на УПК, так и перед присадкой FeSi выше, чем при обычной технологии, что является косвенным свидетельством более низкой окисленности металла на опытных плавках.

3. Исследован уровень окисленности металла в период доводки на УПК и разливки на УНРС при различных вариантах раскисления.

Показано:

– содержание кислорода в металле на УПК на плавках с использованием 45 % FeSi и раскислением алюминием в начале доводки изменяется в значительно меньших пределах, что свидетельствует о более стабильной окисленности металла;

– средний абсолютный уровень содержания кислорода по ходу доводки на УПК и разливки на УНРС на опытных плавках изменяется в пределах 31-51 ppm, что на 4-20 ppm ниже, чем на сравнительных. Содержание кислорода в металле в конце обработки на опытных плавках находится в пределах 34-66 и 50 ppm в среднем.

4. Разработанная новая технология раскисления стали на УПК обеспечивает получение заданных свойств листового проката из углеродистых марок стали. Уровень механических свойств ( $G_T$ ,  $G_B$ ,  $\delta$ ) проката из стали марок СтЗсп, А36/А36М, S235JR на опытных и сравнительных плавках примерно одинаков с тенденцией к более высоким показателям по всем характеристикам.

5. Ожидаемый экономический эффект при внедрении разработанной технологии составит 1,1 грн/т.