



The technology of deoxidation of steel at output out of blast-steel furnace with consequent casting at MNLZ of small size with open metal spray is worked out.

С. В. ТЕРЛЕЦКИЙ, А. В. ОЛЕНЧЕНКО, В. В. ПИВЦАЕВ, РУП «БМЗ»

УДК 621.771

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ РАСКИСЛЕНИЯ СТАЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗАМЕРОВ АКТИВНОСТИ КИСЛОРОДА В МЕТАЛЛЕ

Объектом исследования является технология измерения активности кислорода и содержания углерода перед выпуском плавки из печи и раскисления стали алюминием при выпуске из ДСП-1,2 в зависимости от измеренного значения активности.

Цель работы – разработать технологию раскисления стали алюминием при выпуске плавки из ДСП, используя информацию об активности кислорода в металле.

В процессе работы корректировались параметры приборов для измерения активности измеренному значению кислорода в металле и содержания углерода. Проводились одновременные измерения окислительного потенциала металла датчиками «Celox» фирмы «ElektroNite» перед выпуском плавки из печи и определялось количество алюминия, необходимого для раскисления металла при выпуске. Существующая технология предполагает присадку алюминия в зависимости от содержания углерода перед выпуском плавки из печи, однако данный метод весьма не совершен, так как не учитывает ни температуру выпуска, ни активность кислорода в стали, кроме того, от момента отбора пробы до выпуска проходит от 3 до 5 мин, при этом печь продолжает работать, а кислород поступать в металлическую ванну, в результате чего конечное ее состояние неизвестно, а присадка алюминия неадекватна потребности ванны. Управление и оптимизация этой операции возможны при экспрессном контроле активности (концентрации) кислорода, в частности электрохимическим методом с использованием созданных на его основе кислородных зондов непосредственно перед выпуском плавки из печи [1].

Проведенная ранее на РУП «БМЗ» подобная работа, описанная в [2], позволила оптимизиро-

вать операцию раскисления стали при выпуске из ДСП-3 и получить стабильное содержание алюминия после выпуска на уровне 0,020%. Принципиальным отличием настоящей работы является то, что металл, выпущенный из ДСП-1,2 разливается на МНЛЗ-1,2 без защиты струи металла от вторичного окисления, что обуславливает получение содержания алюминия на уровне 0,005% (максимум 0,007%) из-за опасности затягивания дозаторов промежуточного ковша корундовыми включениями и последующей остановки разливки.

Для начала была проведена подготовительная работа, включающая корректировку параметров прибора измерения активности с целью приближения их к реальным условиям ДСП-1,2. Из опыта эксплуатации данного прибора на ДСП-3 [3] отмечено, что предложенные производителями стандартные параметры не всегда могут обеспечить необходимую точность измерений, так как каждый печной агрегат имеет свои конструктивные и технологические особенности, зависящие от применяемых огнеупоров, оборудования для интенсификации процесса окисления углерода, используемых шихтовых материалов, шлакообразующих и т.д. Так, после проведения опытных плавки и набора статистических данных было установлено, что среднее значение разности между измеренными и фактическими значениями содержания углерода составляет 0,039% при стандартном отклонении 0,0346. Такая ошибка не приемлема для использования прибора «Multi-Lab Celox» как средства для определения содержания углерода в стали, поэтому полученные данные были обработаны методом математической статистики (множественной линейной регрессии). Зависимость содержания углерода от активности кислорода определяется следующим уравнением регрессии:

$$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2,$$

где $Y = \log[C, \%]$; $X_1 = 1/T$; $X_2 = \log[a_0, \text{ppm}]$.

Матрица исходных данных приведена ниже.

$Y = \log[C, \%]$	$X_1 = 1/T$	$X_2 = \log[a_0, \text{ppm}]$
Y_1	X_{11}	X_{21}
Y_2	X_{12}	X_{22}
...
Y_n	X_{1n}	X_{2n}

Обработка экспериментальных данных дает следующее уравнение регрессии содержания углерода от активности кислорода:

$$\log[C, \%] = 3,3784 - 3501,93/T - 0,9312 \log a[\text{O}]. \quad (1)$$

Коэффициент корреляции $R = 0,92$.

После установки новых параметров среднее значение разности между измеренными и фактическими значениями составляет 0,0186% при стандартном отклонении 0,0129, что является приемлемым для дальнейших измерений и сравнимо с погрешностью существующего метода определения содержания углерода в металле с помощью прибора ARL.

На рис. 1 показаны зависимость содержания углерода в стали от активности кислорода, построенная на опытных данных, и для сравнения – равновесная кривая.

После адаптации приборов к условиям ДСП-1,2 определяли параметры формулы для расчета количества алюминия, необходимого для раскисления стали в зависимости от измеренного значения активности кислорода. Расчет параметров формулы производился теоретическим методом, после чего она была апробирована на действующем оборудовании. После расчета коэффициентов формула приняла вид:

$$\text{kg-Al} = (0,08578a[\text{O}]_{\text{изм}}^{\text{ppm}} + (-0,0055T)) \cdot 1,66. \quad (2)$$

Опытные плавки, проведенные на ДСП-1,2 после адаптации приборов, показали следующее:

- содержание алюминия в стали после выпуска в среднем составило 0,0048%, что и требовалось при постановке задачи;
- коэффициент усвоения алюминия составил 16,6 % при стандартном отклонении 2,4;
- средняя масса плавки составила 110407 т при стандартном отклонении 6,1. Этот фактор увеличивает ошибку расчета количества алюминия, необходимого для раскисления стали и соответственно влияет на увеличение разброса значений содержания алюминия в стали после выпуска;

- масса алюминия, присаживаемого в ковш, кратна массе чушек вторичного алюминия, которая может колебаться от 13 до 16 кг.

На рис. 2, 3 показано частотное распределение содержания алюминия после выпуска на опытных и сравнительных плавках.

Как видно из рисунков, разброс значений содержания алюминия на опытных плавках снизился по сравнению со сравнительными данными и сместился в сторону увеличения содержания алюминия, при этом, не превышая критический уровень 0,007%. Таким образом, опытные данные

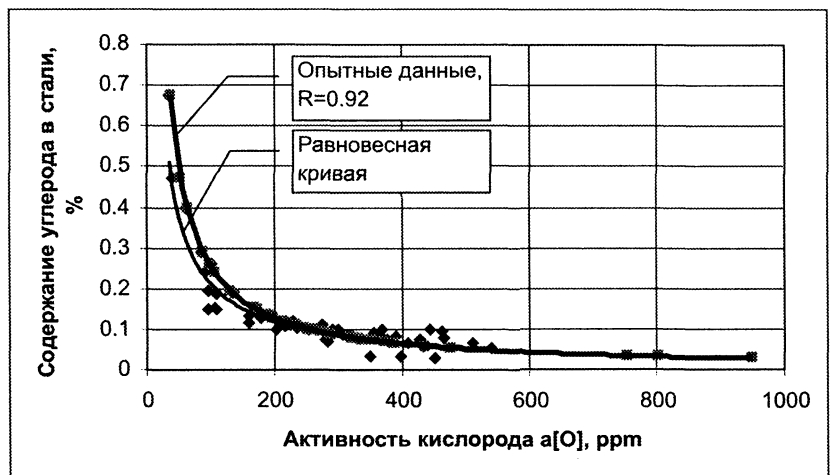


Рис. 1. Зависимость содержания углерода от активности кислорода в металле опытных плавков и равновесная кривая

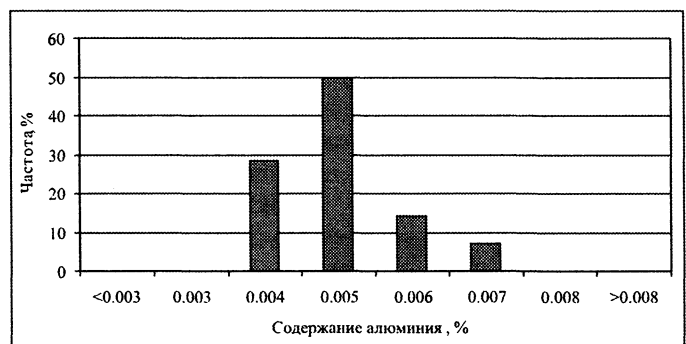


Рис. 2. Диаграмма распределения содержания алюминия в стали после выпуска на опытных плавках

показывают, что применение данной технологии позволяет стабилизировать содержание алюминия в металле после выпуска плавки из печи и получать его среднее значение на уровне 0,005%,

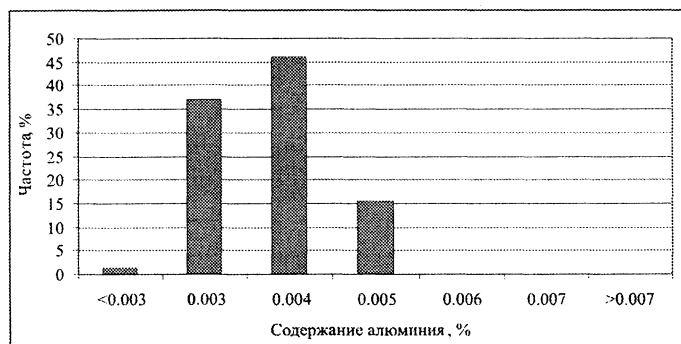


Рис. 3. Диаграмма распределения содержания алюминия в стали после выпуска на сравнительных плавках (141 плавка, выплавленная в ДСП-1,2 в октябре 2005 г.)

осуществляя более полное связывание кислорода в стали.

Необходимым условием использования данной методики определения содержания алюминия, необходимого для раскисления стали, является то, что замер окислительного потенциала кислорода производится непосредственно перед выпуском плавки из печи при выведенной из рабочей позиции кислородной фурмы и отключенной мощности [1, 4, 5]. Однако в реальных условиях выполнение всех перечисленных условий влечет потерю времени, поэтому с определенной долей вероятности допускается проведение замера без прекращения работы печи, но время от момента замера до выключения не должно превышать 1–2 мин. Практический опыт показывает, что в этом случае достоверность измерений имеет приемлемый для технологии уровень.

Следующим этапом работы стал расчет модифицирования порошкообразными материалами с целью ликвидации негативных последствий раскисления и легирования, повышения разливаемости и выхода годной стали.

В основе принципа модифицирования неметаллических включений лежит перевод их из твердого состояния в жидкое, а также увеличение их размеров для облегчения процесса всплывания на поверхность расплава и ассимиляции их шлаком. Такой перевод возможен при изменении химического состава включений. По данным [6], алюминаты кальция становятся жидкими, когда доля CaO в соединениях достигает 40–60%, что соответствует составу $(3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3)$ и $(12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3)$. В диапазоне 45–55% CaO температура плавления соединений приближается к 1400 °С. Задачей является рассчитать необходимое количество силикокальциевой проволоки для получения в стали соединений подобного состава. Для этого необходимо знать количество и концентрацию оксида алюминия в стали. По результатам исследования проб металла значение содержания кислоторастворимого алюминия в стали имеет довольно стабильное значение и составляет в среднем 32,5% от общего, поэтому для даль-

нейших расчетов вполне возможно воспользоваться средним арифметическим значением.

Необходимое количество силикокальциевой проволоки для модификации корундовых включений определим следующим образом:

$$m_{(\text{SiCa})}^{\text{пров}} = \frac{[\text{Al}]_{\text{общ}} \cdot 0,675 \cdot 1,89 m_{\text{Ме}}}{0,65 \cdot 1,4 \cdot 100\% [\text{Ca}]_{\text{наполн}} k_{\text{нап}}}, \quad (3)$$

где $[\text{Al}]_{\text{общ}}$ – массовая доля алюминия общего в стали, %; 0,675 – доля оксидного алюминия

в общем, доля; $1,89 = \frac{M_{[\text{Al}_2\text{O}_3]}}{M_{[\text{Al}]}}$ (мольные мас-

сы); $m_{\text{Ме}}$ – масса металла в ковше, кг; 0,65 – доля кальция, участвующего в реакции образова-

ния оксида CaO, доля; $1,4 = \frac{M_{[\text{CaO}]}}{M_{[\text{Ca}]}}$ (мольные

массы); $[\text{Ca}]_{\text{наполн}} = 0,3$ – массовая доля кальция в наполнителе; $k_{\text{нап}} = 0,51$ – коэффициент наполнения проволоки.

После преобразования формула (3) примет вид

$$m_{(\text{SiCa})}^{\text{пров}} = \frac{[\text{Al}]_{\text{общ}} \cdot 0,0140 m_{\text{Ме}}}{[\text{Ca}]_{\text{наполн}} k_{\text{нап}}}, \quad \text{кг.} \quad (4)$$

Выводы

В результате проведенных исследований разработаны технология раскисления стали при выпуске из ДСП с последующей разливкой на МНЛЗ малого формата с открытой струей металла и технология обработки стали порошкообразными материалами с целью модификации корундовых включений. Получены следующие результаты:

- время плавки под током и общее на опытных плавках ниже и составило соответственно: общее – 76 мин (на сравнительных – 77 мин), под током – 45 мин (на сравнительных – 48 мин), что связано с получением экспрессной информации об окисленности и содержании углерода в стали, позволяющей выпускать плавки без отбора дополнительной пробы;

- выход годного на опытных плавках выше и составил 98,3% (на сравнительных – 97,1%), что объясняется лучшей разливаемостью стали из-за более полной модификации корундовых включений, которые приводят к затягиванию дозаторов. При проведении опытных плавок зарастания дозаторов и повышенного шлаковыведения в кристаллизаторе не зафиксировано;

- расход алюминия на опытных плавках выше и составил 39 кг (на сравнительных – 28 кг), что говорит о возможности более полного связывания свободного кислорода при отсутствии опасности затягивания металла на разливке;

• расход силикокальциевой проволоки на опытных плавках ниже и составил 43 кг (на сравнительных 45 кг), что объясняется оптимизацией присадки проволоки в зависимости от содержания алюминия в пробах; однако, следует отметить, что по мере отработки технологии расход силикокальция должен увеличиться, так как преимущества данной методики позволят более смело работать с алюминием и шлакораскисляющей смесью на основе алюминия, что в целом положительно повлияет на качество непрерывнолитой заготовки.

Литература

1. Рыжонков Д.И., Падерин С.Н., Серов Г.В. Твердые электролиты в металлургии. М.: Металлургия, 1992.

2. Якшук Д.С., Иванов Э.В., Терлецкий С.В., Эндерс В.В. Разработка и исследование технологии раскисления стали при выпуске из ДСП с использованием результатов замеров активности кислорода в металле // Литье и металлургия. 2002. № 1. С. 117–118.

3. Якшук Д.С., Терлецкий С.В., Паршиков А.Н. Технология выплавки стали в ДСП с контролем активности кислорода в металле // Сталь. 2002. № 10. С. 36–37.

4. Рыжонков Д.И., Арсентьев П.П., Яковлев В.В. и др. Теория металлургических процессов. М.: Металлургия. 1989.

5. Линчевский Б.В. Теория металлургического эксперимента. М.: Металлургия. 1992.

6. Айзатулов Р.С., Харлашин П.С., Протопопов Е.В., Назюта Л.Ю. Теоретические основы сталеплавильных процессов. М.: МИСИС, 2004.