



Ботштейн В.А., Рудюк А.С. /к.т.н./,
Гэхеладзе Г.С.
ГП «УкрНТЦ «ЭНЕРГОСТАЛЬ»

Чичкарев Е.А.
ГВУЗ «ПГТУ»
Попов Е.С., Костыря И.Н.
ПАО «МК «АЗОВСТАЛЬ»

Раскисление и внепечная обработка кислородно-конвертерной рельсовой стали К76Ф

Представлены основные элементы технологии раскисления рельсовой стали в конвертерном цехе ПАО «МК «АЗОВСТАЛЬ». Проанализировано изменение равновесной со шлаком активности кислорода при внепечной обработке рельсовой стали. Показано заметное влияние массовой доли кальция в стали на активность кислорода по завершении внепечной обработки, установлены рациональные пределы ее варьирования и целесообразность двухстадийной обработки кальцием. Показано снижение уровня загрязненности неметаллическими включениями рельсов из конвертерной стали по сравнению с мартеновскими. Ил. 2. Табл. 1. Библиогр.: 6 назв.

Ключевые слова: сталь, внепечная обработка, науглероживание, раскисление, неметаллические включения, активность кислорода

One be shown main elements of deoxidation technology of rail steel in converter shop at «AZOVSTAL». One be analyzed change of oxygen activity balanced with slag during out-of-furnace processing of rail steel. One be shown visible impact of calcium mass concentration in steel at oxygen activity upon completion of out-of-furnace processing, one be installed rational limits of its variation and expediency of two-stage processing by calcium. One be shown reduction of pollution level by non-metallic rail insertions from converter steel in comparison with open-hearth steel.

Keywords: steel, out-of-furnace processing, carbonization, deoxidation, non-metallic insertions, oxygen activity

Наличие в рельсовой стали недеформируемых неметаллических включений (НВ) глинозема и отчасти твердых алюминатов ускоряет образование контактно-усталостных дефектов в рельсах в процессе эксплуатации [1, 2]. Для уменьшения вредного влияния оксидных включений на металлургическое качество рельсов необходимо предотвращать попадание алюминия в сталь и использовать различные методы модифицирования НВ [3, 4].

Как показал опыт разработки технологии выплавки и внепечной обработки рельсовой стали в условиях конвертерного цеха ПАО «МК «АЗОВСТАЛЬ», для управления процессом раскисления и контроля загрязненности рельсовой стали оксидными НВ может использоваться измерение активности кислорода, растворенного в стали, на различных стадиях внепечной обработки.

Рельсовую сталь марки К76Ф выплавляли в 350-т кислородном конвертере с «передувом», на выпуске из конвертера в металл присаживались науглероживатель, ферросплавы, твердая шлакообразующая смесь или известь, после чего металл подвергали внепечной обработке.

Была отработана технология комплексного науглероживания конвертерной плавки жидким чугуном (из расчета присадки 0,50–0,55 % масс. С) и твердыми углеродсодержащими материалами (из расчета присадки 0,20–0,25 % масс. С), при этом массовая

доля фосфора в готовой стали не превышала 0,015 %.

Расчетная равновесная активность кислорода в раскисленной кремнием и марганцем рельсовой стали (около 0,8 % С) составила менее 25–30 ppm, что соответствует результатам прямых измерений датчиками Celox.

Расход кремний- и марганецсодержащих сплавов (ферросилико-марганца, при необходимости – ферросилиция) выбирался таким, чтобы достигалась массовая доля марганца, близкая к среднечелочной, и формировались жидкие включения силикатов марганца.

Окончательное раскисление плавки осуществлялось на установке ковш-печь присадками силикокальция, а раскисление ковшового шлака – твердым углеродсодержащим материалом и гранулированным алюминием или карбидом кальция. Контроль окончательного раскисления осуществлялся по величине активности кислорода и массовой доле кальция.

Анализ диаграммы изоактивностей бинарной системы $CaO - SiO_2$ [5] показал, что даже для насыщенной двухкальциевым силикатом шлаковой фазы (активность SiO_2 около 0,04) расчетная активность растворенного кислорода составляет свыше 20 ppm (при температуре 1600 °С).

Учитывая высокую вязкость чисто силикатных шлаков, предпочтительными для внепечной обработки рельсовой стали являются шлаки $CaO - SiO_2 - Al_2O_3 - MgO$ с низкой активно-

стью Al_2O_3 . Результаты расчета активности растворенного в стали кислорода, равновесного со шлаком различной основности, представлены на рис. 1.

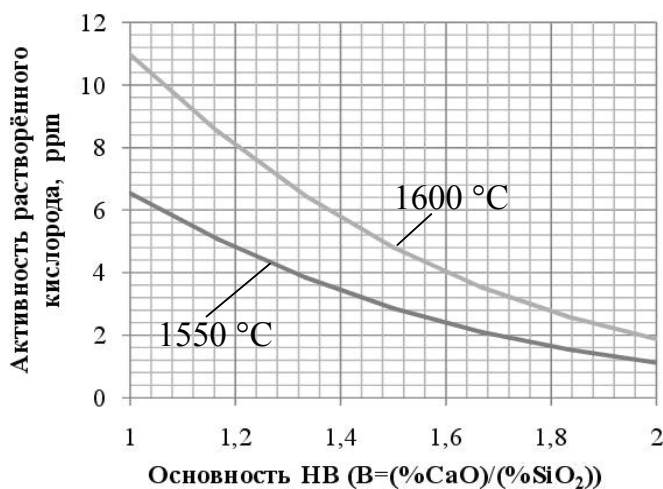


Рис. 1. Расчетная активность растворенного кислорода в рельсовой стали. Раскисление кремнием [Si] = 0,3 % масс., равновесие со шлаком $CaO - SiO_2 - Al_2O_3 - MgO$

Активность SiO_2 и Al_2O_3 рассчитывалась по модели [6]. Как видно на рис. 1, равновесная активность кислорода ($a_{[O]}$) на уровне 10 ppm (при температуре 1600 °C) достигается лишь при низкой основности шлаковой фазы (около 30 % SiO_2). По мере увеличения основности величина $a_{[O]}$ снижается, однако снижение активности кислорода до уровня менее 3,5 ppm (при температуре 1550 °C) нежелательно вследствие возможного восстановления алюминия и формирования хрупких алюминатов кальция.

Наилучшие результаты по величине активности растворенного кислорода обеспечила технология диффузионного раскисления.

В рамках данного варианта технологии раскисление ковшевого шлама в процессе доводки производится гранулированным алюминием, присаживаемым на шлак. Алюминий присаживался 2–4 порциями по 50–70 кг в процессе нагрева и десульфурации стали.

Массовая доля алюминия в верхних слоях металла не превышала 0,010 % с последующим снижением до 0,005 % по мере перемешивания содержимого ковша и вакуумирования. Результаты промышленного эксперимента, показывающего изменение активности растворенного кислорода по мере роста массовой доли кальция в металле, представлены на рис. 2.

При выпечной обработке рельсовой стали без вакуумирования кальций присаживался одной (0,35–0,40 кг/т) или двумя порциями (при необходимости дополнительного раскисления плавки до $a_{[O]} < 10$ ppm или корректировки массовой доли кальция). Контроль активности кислорода в стали показал, что по мере раскисления шлама активность снижается до 8–10 ppm, а после обработки кальцием – до 4–6 ppm и менее.

При выплавке рельсовой стали с вакуумированием массовая доля кальция по ходу выпечной об-

работки существенно изменялась. По завершении нагрева и обработки кальцием на установке ковшепечь (суммарный расход кальция 0,27 кг/т) массовая доля кальция изменялась в пределах 0,0040–0,0070 % масс. После вакуумирования массовая доля кальция снижалась до величины менее 0,0015 % масс., а после присадки еще 0,13 кг/т кальция (по завершении вакуумирования) увеличивалась до 0,0025–0,0030 % масс., при этом активность растворенного кислорода (по сравнению с обработкой без вакуумирования) была заметно меньше и на большинстве проконтролированных плавков составила менее 4 ppm.

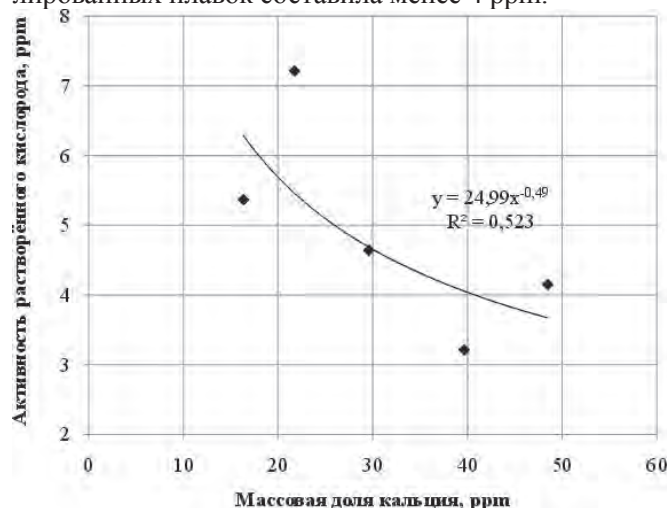


Рис. 2. Влияние массовой доли кальция на активность кислорода в рельсовой стали (массовая доля кальция – по завершении выпечной обработки)

После окончания выпечной обработки стали зеркало металла в сталеразливочном ковше утепляли теплоизолирующей смесью. Разливку рельсовой стали осуществляли сифонным способом в изложницы с прибыльными надставками.

Разработанные технологии выплавки и выпечной обработки в кислородно-конвертерном цехе обеспечила получение рельсовой стали с химическим составом в более узких пределах по сравнению с требованиями ДСТУ 4344:2004, фактическое содержание кислорода и водорода находилось в пределах 4,1–11,1 ppm и 2,3–4,1 ppm, соответственно.

Исследование загрязненности рельсов из конвертерной стали К76Ф неметаллическими включениями показало, что по длине строчек нитридов рельсы отвечают требованиям высшей категории ДСТУ 4344, при этом длина строчек не превышала 0,5 мм (допускается длина 1 мм). Длина строчек хрупкоразрушенных оксидов (алюминатов, силикатов, шпинелей и др.) в рельсах из конвертерной стали марки К76Ф в 60 % случаев отвечает требованиям высшей категории (≤ 1 мм), а в 40 % – первой категории ДСТУ 4344 (≤ 4 мм). Следует отметить, что длина строчек хрупкоразрушенных оксидов в рельсах из конвертерной стали практически в 2 раза меньше, чем в рельсах из мартеновской стали (таблица).

Таблица. Загрязненность рельсовой стали хрупкоразрушенными оксидами

Марка стали	Средняя длина строчек хрупкоразрушенных окислов, мм	
	в головных рельсах	в донных рельсах
К76Ф	0,59	0,55
М76Т	1,15	0,95

Механические свойства термоупрочненных рельсов полностью удовлетворяли требованиям категории 1 по ДСТУ 4344.

Установочная партия рельсов из кислородно-конвертерной стали была подвергнута квалификационным испытаниям, включавшим лабораторные испытания в условиях ПАО «МК «АЗОВСТАЛЬ» и стендовые испытания на усталость в ОАО «ВНИИЖТ» (Москва). Результаты квалификационных испытаний показали, что разработанная технология обеспечивает свойства рельсов в соответствии с требованиями ДСТУ 4344, а также - НБ ЖТ ТМ 01-98 «Элементы верхнего строения железнодорожного пути. Нормы безопасности».

Выводы

1. В условиях конвертерного цеха ПАО «МК «АЗОВСТАЛЬ» разработана технология выплавки и внепечной обработки конвертерной рельсовой стали марки К76Ф и освоено промышленное производство термоупрочненных железнодорожных рельсов типа Р65 из этой стали.

2. Предложена технология комплексного науглероживания низкоуглеродистого полупродукта жидким чугуном и твердым науглероживателем, обеспечивающая массовую долю фосфора в стали не более 0,015 % масс.

3. Установлено, что снижение балла загрязненности готовых рельсов оксидными включениями достигается при формировании включений оптимального

состава за счет обработки кальцием в две стадии с контролем необходимости дополнительной обработки по величине активности растворенного кислорода.

4. При внепечной обработке рельсовой стали корректирующая обработка кальцием необходима, если активность растворенного в стали кислорода превышает 10 ppm.

Библиографический список

1. Улучшение качества рельсов из стали, раскисляемой алюминием / А.А. Дерябин, В.В. Могильный, А.Б. Добужская // Сталь. – 1997. – № 7. – С. 50–55.

2. Рейхарт В.А. Контактно-усталостная стойкость опытных рельсов производства ОАО «КМК» // Сб. тр. юбилейной рельсовой комиссии ОАО «КМК». – 2002. – Новокузнецк: ОАО «Новокузнецкий полиграфкомбинат». – С. 35–42.

3. Гарбер А.К. Анализ термодинамики процессов раскисления и оптимизация технологии внепечной обработки рельсовой стали / А.К. Гарбер // Автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.16.02. – М.: Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН. – 2009.

4. Применение фракционного газового анализа для оценки эксплуатационных свойств рельсовой стали / К.В. Григорович, А.М. Арсенкин, С.С. Шибяев // Сб. докл. по материалам Рельсовой комиссии 2004. – Магнитогорск, 2004. – С. 94–107.

5. Атлас шлаков: Справ. изд. – М.: Металлургия, 1985. – 208 с.

6. Ohta H. Activities of SiO_2 and Al_2O_3 and activity coefficients of FeO and MnO in $CaO-SiO_2-Al_2O_3-MgO$ slags / H. Ohta, H. Suito // Metallurgical and Materials Transactions B. – 1998. – Vol. 29B. – P. 119–129.

Поступила 04.06.2013

УДК 669.18

Харахулах В.С., Зражевский А.Д.
ОП «Металлургпром»

Охотский В.Б. /д.т.н./
НМетАУ

Наука

Развитие контроля окисленности стали

Проанализировано формирование окисленности стали на всех этапах ее производства и определены его закономерности. Табл. 5. Библиогр.: 13 назв.

Ключевые слова: сталь, шлак, окисленность стали

Analyzed the formation of oxidized steel at all stages of its production and the values of its laws.

Keywords: steel slag, steel oxidation.

1. История и состояние вопроса

Бессемеровская сталь стала производиться стабильно необходимого качества после того, как она начала раскисляться марганцем по патенту R.

Mushet (Франция, 1856). Но только в начале XX века появились эпизодические анализы на содержание в ней кислорода, благодаря работам А. Ledebour (Франция), Г. Вейнберга (Россия),