

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. Шиббаев // 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),

С.Ф. King (США), F. Muller (Германия), С.Н. Herty (США) и др. Они носили исследовательский характер и в 1920-40-х годах постепенно начали создаваться диаграммы раскисления стали различными элементами, которые продолжали пересматриваться и уточняться вплоть до 1980-х гг.

Параллельно шло практическое освоение раскисления кипящих (КП), полуспокойных (ПС), спокойных (СП) и химически закупаемых, в конечном итоге, алюминием (ХЗА) сталей.

В Украине в 1928-29 гг. на Макеевском МЗ для предотвращения сваривания листов при пакетной прокатке в сталь КП начали добавлять кремний и это был один из первых в мировой практике опытов производства полуспокойной стали, которая в 1940-е гг. получила заметное распространение во многих странах, заняв место между КП и СП сталями.

Соответственно, постепенно выработался принцип выбора ее состава, обеспечивающий необходимую структуру стального слитка [1-3], который в дальнейшем был дополнен и обобщен [4, 5]. Несмотря на значительные отличия в условиях производства, выяснилось, что существуют оптимальные концентрации кислорода, величины которых были близки между собой, как показал анализ опубликованных данных [4], а минимизация рванин на стали ПС в прокате обеспечивается зависящей от содержания кислорода в металле [0] оптимальной скоростью разливки [2].

В начале 1970-х гг. в зарубежной практике разливки стали начали применять зонды-активометры (З-А) для контроля ее окисленности и определения параметров оптимального раскисления. Устройства контроля окисленности стали (УКОС) появились в отечественной практике в 1970-х гг. и были использованы как для контроля окисленности стали, так и для выработки технологических параметров ее раскисления [6, 7].

В 1930-х гг. для производства стальных слитков промежуточных структур на заводах США стали применять механическое и химическое закупоривание, упрощавшее технологию разливки [7]. Со временем от бутылочных изложниц отказались,

Таблица 1. Динамика окисленности металла и шлака при производстве стали

Сталь	Параметр	Этапы производства				
		1	2	3	4	5
ЗКП	[O], ppm	316-365 340/2	248-397 302/8	209-344 267/7	127-215 179/5	117-233 168/6
	(Fe), %	10-27 17/17	7-23 13/19	5-16 11/16	7-15 11/4	5-14 9/12
	[O], ppm	338-363 348/3	178-271 224/2	157-218 188/2	-	86-177 132/2
ЗПС	(Fe), %	13-18 16/4	9-19 13/4	7-13 9/3	-	5-8 6/4
	[O], ppm	-	110 110/1	142 142/1	-	55 55/1
КПТ	(Fe), %	9-10 10/2	7-8 8/2	5 5/2	-	5 5/1
	(Fe), %	1-2 12/1	1-0 10/1	5 5/1	-	5 5/1

Таблица 2. Взаимосвязь окисленности металла и шлака

Сталь	Этапы производства				
	1	2	3	4	5
ЗКП	20	23	24	16	19
ЗПС	22	17	21	-	22
КПТ	-	14	28	-	11

Таблица 3. Изменение состава стали при продувке в ковше аргоном

Параметр	Фурма	Время продувки, мин		
		3-4	5-6	7-8
ΔC	B	1,08	1,02	0,88
	H	0,98	1,08	-
ΔSi	B	1,50	1,20	1,36
	H	1,45	-	-
ΔMn	B	1,06	1,08	1,05
	H	1,10	1,03	-
ΔFe	B	1,10	1,24	1,15
	H	-	1,04	-

сегодня некоторые предприятия [8] возвращаются от технологии ХЗА к производству ПС стали, как менее дефектной в прокате.

2. Закономерности окисленности стали

Активность кислорода в конвертерной стали, измеренная З-А, дает с углеродом произведение $C \cdot \alpha_o$, величина которого не зависит от параметров конвертера, расхода кислорода, высоты фурмы h_{cp} относительно уровня спокойной ванны, температуры и окисленности шлака [9].

Использование З-А при производстве ПС стали показало, что фактическое содержание кислорода в стали находится в равновесии с кремнием и марганцем [10] и ниже равновесного с углеродом [5, 11].

Динамика изменения содержания кислорода в стали на всех этапах ее производства изучена только для СП стали [12]. Сделан вывод о том, что содержание кислорода в ковше с кислой футеровкой выше, чем с основной. Это противоречит анализу равновесия в системе «металл-огнеупор», согласно которому минимальная окисленность металла достигается при кислой футеровке [13] так же, как и кислые сталеплавильные процессы.

3. Динамика [O] и (Fe) при производстве стали

На 250-т кислородных конвертерах верхнего дутья на этапах пребывания металла после продувки в агрегате (1), выпуска в ковш (2), гомогенизирующей ванну в ковше продувки аргоном через погружаемую фурму (3), разливки менее половины плавки (4), при остатке в ковше менее 100 т стали (5) отбирали пробы металла и шлака, которые анализировались, в том числе, соответственно, на содержание кислорода [O] и оксидов железа (Fe). В табл. 1 приведены результаты исследования производства ст.ЗКП, ст.ЗПС, ст.КПТ и ст.ЗСП (в числе теле указан диапазон содержания этих компонентов, в знаменателе – средняя величина диапазона / количество определений).

Наиболее значительные изменения окисленности металла и шлака происходят при выпуске плавки из конвертера в ковш (этапы 1-2). В дальнейшем величина изменений уменьшается и, например, для сталей КПТ и ЗСП содержание оксидов железа в шлаке на этапах 3-5 практически постоянно.

В табл. 2 представлено отношение $[O]/(Fe)$, ppm/%, в качестве характеристики взаимосвязи окисленности металла и шлака в конвертере и ковше. При определенном сходстве в динамике, наблюдается тенденция к снижению величины отношения на заключительных этапах. Это, очевидно, связано с затвердеванием поверхности шлака после окончания продувки аргоном (этап 3) и увеличением его вязкости, что уменьшает интенсивность массообмена в системе «шлак–металл».

4. Динамика продувки стали в ковше аргоном

Для продувки 250-т плавки в ковше аргоном использовалась погружаемая фурма, устанавливаемая по центру ковша вертикально (В) или наклонно (Н) под углом между вертикалью и осью фурмы 5-18°. Изменение отношения начальной к текущей и конечной концентрации углерода ΔC , кремния ΔSi и марганца ΔMn представлено в табл. 3. В большинстве случаев наблюдается определенное снижение величины отношения. Так как выплавка стали осуществлялась по технологии с передувом и присадкой углеродсодержащих материалов в ковш, а раскисление стали – ферромарганцем и силикомарганцем, то, очевидно, более легкие, чем сталь, материалы всплывали в подшлаковый слой, обогащая его соответствующими элементами. При отборе проб стали на глубине 500-600 мм содержание C, Si и Mn в пробе зависело от интенсивности циркуляции металла в ковше. Характеристика окисленности шлака $\Delta Fe = Fe_n / Fe_k$ также соответствовала динамике этого компонента (см. табл. 1).

5. Динамика окисленности металла при продувке в ковше

Анализ опубликованных отечественных (О) и зарубежных (З) исследований по динамике окисленности стали, продуваемой в ковшах вместимостью 1-330 т представлен в табл. 4. Характеристикой результативности продувки было отношение $\Delta O = [O]_n / [O]_k$, а аргументом – удельный расход газа V , м³/т.

В отечественной практике наблюдается моно-

Таблица 4. Раскисление стали при продувке в ковше аргоном ($\Delta O = O_n / O_k$)

Источник	Удельный расход аргона, м ³ /т			
	<0,1	0,1-0,3	0,3-1,0	>1,0
О	<u>1,0-3,8</u> 1,5/7	<u>1,2-2,1</u> 1,4/9	<u>1,0-6,6</u> 2,5/19	<u>3,3</u> 3,3/1
	<u>1,2-3,0</u> 2,1/27	<u>1,8-6,0</u> 3,0/5	<u>1,6-4,2</u> 2,8/25	<u>1,6-6,0</u> 3,0/19

Таблица 5. Влияние интенсивности продувки стали аргоном на содержание в ней неметаллических включений

Источник	Метод анализа	Удельный расход аргона V , м ³ /т			
		0,01-0,03	0,03-0,10	0,10-0,30	0,30-1,00
О	М	<u>1,12-2,00</u> 1,41/5	<u>1,01-1,70</u> 1,36/2	<u>2,00</u> 2,00/1	<u>0,57-6,00</u> 2,40/6
	Ф	-	<u>1,10</u> 1,10/1	<u>1,55</u> 1,55/1	<u>1,55</u> 1,55/1
З	М	-	-	-	<u>0,80-3,20</u> 2,30/3
	Ф	<u>2,00</u> 2,00/1	<u>1,26-2,20</u> 1,86/3	<u>1,80-2,00</u> 1,90/2	<u>2,37-3,23</u> 2,77/3
[12]	расчетный	1,01-1,04	1,04-1,14	1,14-1,50	1,50-3,80

тонный рост ΔO с увеличением V , однако при $V \leq 1$ результативность продувки ниже, чем в зарубежной. Очевидно, это связано с более совершенной конструкцией дутьевых устройств, в частности - с размерами сопел, уменьшение которых при увеличении их количества в блоке измельчает размер пузырей и увеличивает их удельную поверхность контакта с металлом, что интенсифицирует массообмен. В отечественной практике эффективность отделения шлака от металла при выпуске плавки в ковш еще недостаточна. При продувке возникает массообмен в системе «металл-шлак» с переносом кислорода в сталь.

6. Неметаллические включения (НВ)

При продувке стали в ковше происходит флотация неметаллических включений (НВ) в соответствии с различными моделями [12]. Изменение содержания НВ на практике исследуют металлургическими (М) или физическими (Ф) методами.

Проанализированы опубликованные данные отечественных (О) и зарубежных (З) исследований по определению влияния V , м³/т, на $\Delta НВ = НВ_n / НВ_k$, где $НВ_n$ и $НВ_k$ – содержание НВ в стали перед и после продувки в ковше (табл. 5).

В отечественных работах величина $\Delta НВ$ при металлургическом контроле заметно выше, чем в более объективных физических методах исследования. Но в производственных условиях первый – преобладает в связи с меньшей трудоемкостью и стоимостью. Увеличение удельного расхода газа стабильно увеличивает эффективность удаления НВ.

В зарубежных работах преобладают более эффективные физические методы контроля. В том же диапазоне удельного расхода продуваемого газа, изменение величины $\Delta НВ$ происходит в большей степени благодаря более высокой эффективности малых величин интенсивности продувки V . Возможно, это связано с более частым, чем в отечественной практике, использованием до трех донных вставок с направленной пористостью, что уменьшает размеры пузырей, увеличивает их удельную поверхность и возможность флотации НВ.

Сопоставление фактических результатов (табл. 5) с моделями удаления НВ при продувке стали газом показывает, что им приблизительно соответствует

модель продольной диффузии НВ [12], результаты расчета по которой (в предположении, что $D/n = 1/30$) приведены в последней строке табл. 5.

Выводы

Проанализированы процессы, определяющие окисленность производимой стали, а также технологические приемы, используемые на основании полученных исследовательских данных, направленные на улучшение качества металла.

В сталеплавильном производстве Украины эта технология только начинает использоваться и расширение ее применения будет способствовать повышению качества производимой продукции до уровня мировых стандартов.

Библиографический список

1. Поляков В.Ф. // В сб. Технология производства и свойства черных металлов. – М.: Металлургия (Труды УкрНИИМ № 11), 1965. – С. 96-104.
2. Левин С.Л., Поляков В.Ф., Гринберг С.В. // Сб. Металлургия и коксохимия № 7. – К.: Техника, 1967. – С. 101-106.
3. Scimar R., Nilles P. // CNRM Rep. - 1967. - № 11. - P. 17-24.

4. Nickolson A., Harkness B. // Iron & Steel. – 1972, № 1, P. 53-57; 1972 № 2, P.
5. Шнееров Я.А., Вихлевщук В.А. Полуспокойная сталь. – М.: Металлургиздат, 1973.
6. Явойский В.И., Лузгин В.П., Вишкарев А.Ф. Окисленность стали и методы ее контроля. – М.: Металлургия, 1970. – 285 с.
7. Шнееров Я.А. // Сталь - 1947. - № 10. - С. 881-892.
8. Мошинский В.А., Янак Б.Е. // Сталь. - 2007. - № 10. - С. 19-21.
9. Боом Р., Хальберг Н. // Черные металлы. - 1978. - № 22. - С. 9-13.
10. Плюшкель В. // Черные металлы. - 1979. - № 8. - С. 17-24.
11. Казачков Е.А. // Изв. вузов. Черная металлургия. - 1979. - № 5. - С. 42-45.
12. Ghosk D.N., Singh R.P. // Trans ISI Jap. – 1988, V.28. - № 8. - P. 659-662.
13. Белов Б.Ф., Новохатский И.А., Вольперт О.П. и др. // Изв. АН СССР Металлы. - 1975. - № 1. - С. 67-70.

Поступила 04.07.2013



Уважаемые читатели!

У Вас есть возможность оформить подписку изданий
ООО «Укрметаллургинформ «НТА» на 2014 г.:

Индекс: 74311

- журнал «Металлургическая и горнорудная промышленность» на русском языке;

Индекс: 49501

- журнал «Металлургическая и горнорудная промышленность» на русском языке, CD-ROM;

через каталог «Изданий Украины», каталог России «Газеты. Журналы»
и через редакцию журнала.

Редакция:

ул. Дзержинского, 23, г. Днепропетровск, Украина, 49027,
к/т 056-744-81-66; т/ф 0562-46-12-95.