

КОМПЛЕКСНОЕ РАФИНИРОВАНИЕ ЧУГУНА ЖИДКИМИ СОДОСОДЕРЖАЩИМИ ШЛАКАМИ

Разработана технология обработки жидкого чугуна в заливочном 300-тонном чугуновозном ковше предварительно расплавленной в 140-тонном чугуновозном ковше кальцинированной содой. Выполнены расчёты необходимого количества тепла для расплавления кальцинированной соды. Приводятся способы реализации и результаты опробования предлагаемой технологии.

Ключевые слова: рафинирование металла, кальцинированная сода, жидкий чугун

Известно, что значительной фосфоропоглощающей способностью обладают железные шлаки, имеющие в своём составе катионы Ca^{2+} либо Na^+ . Это объясняется тем, что без катионов кальция или натрия устойчивость анионов PO_4^{3-} в шлаке мала и не позволяет достичь значительной дефосфорации [1].

Поэтому основным компонентом материалов, используемых для дефосфорации чугуна, является известь. Для поддержания необходимой окислительной способности шлака и повышения его жидкотекучести вместе с известью в него вводят железную руду, окалину либо кальцинированную соду. Если шлакообразующая смесь не содержит в своём составе кальцинированную соду, то для повышения жидкотекучести образующегося шлака в состав смеси вводят плавиковый шпат. Ввод в состав смеси 10 % плавикового шпата соответствует примерно 7-8 % его содержания в шлаке. По имеющимся данным жидкотекучесть малокремнеземистого известково-железистого шлака, содержащим около 7 % CaF_2 , значительно снижается, достигая весьма низких значений, хотя температура его плавления не превышает 1250-1300 °С [2].

Наибольшая эффективность дефосфорирующих шлакообразующих смесей достигается при применении их в порошкообразном виде. Ввод их в жидкий металл осуществляется специальными фурмами. В качестве газоносителя используют азот, воздух, кислород и т. д. Однако ввод в жидкий чугун холодных порошкообразных материалов способствует снижению температуры металла. По данным многочисленных исследований температура чугуна за время продувки снижается на 15-20 °С – [3], 20-30 – [4] и 40-60 – [5, 6].

Выполненные расчёты показывают, что при вдвигании 1 % извести от массы чугуна снижение температуры составляет около 15 °С, полагая, что в конце продувки их температуры выравниваются. Поскольку для достижения относительно полной дефосфорации чугуна, необходимо вводить не 1 % смеси, а несколько больше, то соответственно снижение температуры будет заметно больше.

Конвертерный цех металлургического комбината «Азовсталь» работает почти на химически и физически холодном чугуне (содержание марганца не превышает 0,4 %, а средняя температура чугуна составляет ~1300 °С). Поэтому дефосфорация его твёрдыми шлакообразующими материалами приведёт неизбежно к снижению температуры чугуна до недопустимо низких значений. Это, в свою очередь, вызовет увеличение расхода чугуна на плавку, и как следствие, к удорожанию готового металла, что вряд ли окупается соответствующим снижением в нём содержания фосфора.

Поэтому необходимо применение шлакообразующих материалов в таком виде, чтобы они не снижали или снижали бы незначительно температуру чугуна, то есть использовать материалы в предварительно разогретом (до температуры чугуна в чугуновозном ковше ~1300 °С) состоянии. Ещё лучше, если шлакообразующие материалы будут применяться в жидком состоянии, что существенно ускоряет процессы рафинирования металла в чугуновозном ковше. С этой целью применяют расплавленную кальцинированную соду, или шлакообразующие смеси, содержащие кальцинированную соду. Температура плавления кальцинированной соды составляет 852 °С, а кипения – 1387 [1]. Последняя является максимально допустимой температурой, при которой можно ещё использовать соду для рафинирования чугуна. При температуре чугуна 1250 °С потери соды на испарение составляют 6 %, а при 1350 °С – 35. Температура жидкого чугуна в конвертерном цехе даёт возможность использовать соду или содержащие её шлакообразующие смеси без значительных потерь последней.

Был выполнен расчёт необходимого количества тепла для расплавления кальцинированной соды. Приход тепла – тепло горения топлива:

$$Q_1 = B \cdot Q_{\text{H}}^{\text{P}} \cdot \tau_{\text{пл}}; \quad (1)$$

расход тепла – тепло, уносимое продуктами горения:

$$Q_2 = B \cdot \tau_{\text{пл}} \cdot V \cdot I_{\text{пр}}^r ; \quad (2)$$

тепло нагрева и плавления кальцинированной соды:

$$Q_3 = m \cdot c \cdot (t_{\text{пл}} - t_{\text{н}}) + m \cdot \lambda, \quad (3)$$

где B – расход природного газа, м³/ч; Q_{H}^{P} – теплота горения топлива (34,8 МДж/м³); $t_{\text{пл}}$ – время плавления, ч; V – объём продуктов горения, образуемый при сжигании 1 м природного газа (12 м³/м³); $I_{\text{пр}}^r$ – энтальпия продуктов горения (115 кДж/кг); λ – удельная теплота плавления соды (325,5 кДж/кг); c – средняя теплоёмкость соды (1304,5 Дж/т.град); $t_{\text{пл}}$ – температура плавления соды (854 °С); $t_{\text{н}}$ – начальная температура плавления соды, С; m – масса соды (приняли 1 т из расчёта удельного расхода 10 кг/т чугуна).

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 \quad (4)$$

Необходимый объём природного газа для расплавления определённого количества соды рассчитывается по уравнению:

$$B \cdot Q_{\text{H}}^{\text{P}} \cdot \tau_{\text{пл}} = B \cdot \tau_{\text{пл}} \cdot V \cdot I_{\text{пр}}^r + m \cdot c \cdot (t_{\text{пл}} - t_{\text{н}}) + m \cdot \lambda \quad (5)$$

Время плавления определяется по следующей формуле:

$$\tau_{\text{пл}} = (Q_3 \cdot \Delta L) / (\Delta t \cdot S \cdot \lambda), \quad (6)$$

где ΔL – толщина слоя соды (10 см); S – площадь поверхности, занимаемой содой (4 м² – площадь дна 140-тонного чугуновозного ковша); λ – коэффициент теплопроводности (12,8 · 10³ Дж/м · т.град.)

Время плавления определяли из условия максимального расхода соды – 10 кг/т чугуна, соответственно (6) равно 3,3 ч.

Тогда необходимое количество природного газа для расплавления, исходя из выражения (5) составило 12,76 м³/ч.

Для интенсификации процесса плавления соды с доведением времени её расплавления до 40-50 минут расход газа через газоздушную фурму должен быть увеличен до 40-50 м³/ч.

В соответствии с расчётами была изготовлена инжекционная газоздушная фурма, обеспечивающая расход по газу 50 м³/ч, по воздуху 100-120 м³/ч. Она смонтирована под рабочей площадкой миксера № 2 миксерного отделения конвертерного цеха комбината «Азовсталь» и с помощью гибких трубопроводов присоединена к цеховым магистралям газа и воздуха.

Для расплавления кальцинированной соды используется 140-тонный чугуновозный ковш. Он установлен на специально изготовленном стенде, над которым смонтирована газоздушная фурма, способная поворачиваться вокруг вертикальной стойки, с целью проведения необходимых технологических операций.

Была предложена следующая технология обработки жидкого чугуна. На стенд устанавливается 140-тонный чугуновозный ковш. Он накрывается специальной крышкой, футерованной изнутри и имеющей отверстие для ввода газоздушной фурмы. Во время операций накрытия ковша крышкой и снятия её газоздушная фурма отводится в сторону рабочей площадки, поворачиваясь вокруг вертикальной

стойки. Фурма устанавливается рабочим соплом над отверстием в крышке, накрывающей ковш, подаётся газ в небольшом количестве, он поджигается с помощью факела, затем подаётся на полную мощность газ (максимальный часовой расход) и воздух. Разогрев ковша при максимальной тепловой нагрузке на газоздушную фурму, то есть при расходе природного газа 40-50 м³/ч и воздуха – 100-120 длиться около 20 ч. Замеры, проведенные при опробовании этого варианта показали, что через 20 ч разогрева чугуновозного ковша, температура днища футеровки его составила 1100 °С, а в верхней части стен 900 °С. После окончания операции разогрева ковша, газоздушная фурма отводится в сторону. Снимается крышка с чугуновозного ковша и тоже отводится в сторону с помощью мостового миксерного крана и с помощью этого же крана (один из малых крюков) производится загрузка в разогретый чугуновозный ковш необходимого количества шлакообразующих материалов, предварительно заготовленных в специальном коробе. Масса шлакообразующих материалов определяется необходимой глубиной дефосфорации чугуна. Снова чугуновозный ковш накрывали крышкой, подводили горелку и вводили её в действие по описанной выше методике и расплавляли шлак. Как показали опробования этого процесса при загрузке кальцинированной соды в чугуновозный ковш с температурой футеровки 900-1000 °С в течение 30 мин. сода переходила в жидкое состояние. После расплавления соды снимали крышку с чугуновозного ковша, отводили её в сторону, а в ковш, на расплавленную соду сливали чугун из ковша, пришедшего в миксерное отделение. Во время слива чугуна в ковш, кинетическая энергия струи интенсивно перемешивает шлак, интенсифицируя процесс дефосфорации металла. После наполнения заливочного ковша и, следовательно, окончания процесса рафинирования чугуна, ковш передают в загрузочный пролёт конвертерного отделения, где производят удаление шлака, насыщенного фосфором, кремнием и серой, с помощью шлакоскачивающей машины скребкового типа.

По выше описанной методике было проведено два опыта. Заливочный чугуновозный ковш с жидкой содой подавали под желоб миксера и сливали из него чугун. Визуальные наблюдения показали, что при сливе чугуна на жидкую соду происходит интенсивное выделение белого дыма и большого пламени. На протяжении всего времени слива чугуна над шлаком вспыхивали желтоватые языки пламени, указывающие на то, что в шлаке протекает реакция $\text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{Na}_2\text{O} + \text{CO}$, а над шлаком СО догорает до CO_2 . Такие язычки пламени наблюдаются до полного скачивания шлака из ковша. Один опыт был проведён с использованием порошкообразной соды. При этом было замечено, что при падении струи металла в ковш сода поднималась в виде облака пыли и горячими потоками воздуха выносилась из его полости. Этот процесс сопровождался огромным пламенем над ковшом и обильным пылевыведением. Следовательно, степень использования такой соды значительно ниже, в сравнении с жидкой и к тому же сопровождается значительным ухудшением экологии.

Снижение количества примесного элемента, % / кг / т:

$$\frac{\Delta[E]}{q} = \frac{[E_n] - [E_k]}{q}, \quad (7)$$

где E_n и E_k – начальное и конечное содержание элемента в чугуна, %; q – удельный расход материалов, кг/т обработанного чугуна.

Удельная степень рафинирования, % / кг / т:

$$\frac{C_p}{q} = 10^2 \cdot \frac{[P_n] - [P_k]}{[P_n] \cdot q}. \quad (8)$$

Основные технологические показатели процесса

обработки чугуна жидкой кальцинированной содой представлены в таблице.

Приведённые в таблице данные показывают, что значения удельного количества удалённого фосфора, кремния и серы при использовании жидкой кальцинированной соды больше по сравнению с порошкообразной.

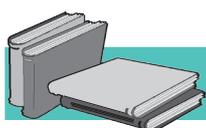
Выводы

Выполнен анализ процесса дефосфорации и частичной десиликанизации и десульфурации чугуна в чугуновозных ковшах с помощью кальцинированной соды, находящейся в жидком состоянии.

Результаты опробования технологии свидетельствуют о целесообразности использования предварительно расплавленной соды.

Основные технологические показатели процесса обработки

Чугун		Кальцинированная сода			Химический состав чугуна (%) до/после обработки			Расчётные параметры					
Масса, т	Температура, °С	Масса, т	Удельный расход, кг/т	Фазовое состояние	Si	S	P	$\Delta[E]/q$			C_E/q		
260	1295	0,55	2,12	ж	$\frac{0,95}{0,87}$	$\frac{0,013}{0,010}$	$\frac{0,068}{0,058}$	0,0378	0,0014	0,0047	3,98	10,9	6,95
260	1300	0,75	2,88	ж	$\frac{0,81}{0,7}$	$\frac{0,019}{0,011}$	$\frac{0,068}{0,053}$	0,0381	0,0027	0,0052	4,71	14,6	7,65
280	1305	0,75	2,68	ж	$\frac{0,8}{0,76}$	$\frac{0,012}{0,009}$	$\frac{0,072}{0,065}$	0,0149	0,0011	0,0026	1,87	9,33	3,63



ЛИТЕРАТУРА

1. Сидоренко М. Ф. Теория и практика продувки металла порошками. – М.: Металлургия. – 1978. – 231 с.
2. Костюченко Е. Б. Условия сверхскоростного обезфосфоривания металла шлаком. – Харьков: Изд-во ХГУ, 1960. – 70 с.
3. Мазуров Е. Л. Десульфурация чугуна в ковшах // Металлург. – 1967. – № 1. – С. 12-13.
4. Глинков М. А. Новое в теории и практике производства мартеновской стали. – М.: Металлургиздат, 1961. – 439 с.
5. Корнев Л. П., Пашкова З. И. Внедоменная десульфурация чугуна // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 1968. – № 2. – С. 8-11.
6. Ладызинский Б. Н. Применение порошкообразных материалов в сталеплавильном процессе. – М.: Металлургия, 1973. – 312 с.

Анотація

Плохих П. А., Буга І. Д., Терзі В. В., Плохих П. А.

Комплексне рафінування чавуну рідкими содовмістними шлаками

Розроблена технологія обробки рідкого чавуну у заливочному чавуновозному ковші вагою 300 т попередньо розплавленої в чавуновозному ковші вагою 140 т кальцінованою содою. Виконано розрахунки необхідної кількості тепла для розплавлення кальцінованої соди. Наводяться способи реалізації та результати випробування запропонованої технології.

Ключові слова

рафінування металу, кальцінована сода, рідкий чавун

Summary

Plohih P. A., Buga I. D., Terzie V. V., Plohih P. A.

Complex refining of cast iron containing slag by liquid soda

Processing technology was developed in the pour molten iron ladle (300 т) premelted in the ladle (140 т) with soda ash. Was carried out calculations of heat necessary to melt soda. It was shown the methods of implementation and the results of testing of the proposed technology.

Keywords

metal refining, soda ash, fluid cast iron

Поступила 16.01.14

Оформление рукописи для опубликования в журнале "Металл и литьё Украины":

Материалы для публикации необходимо подавать в формате, поддерживаемом Microsoft Word, размер бумаги А4, книжная ориентация, шрифт Arial – размер 10, междустрочный интервал – 1,5. Объем статьи – не более 10 стр., рисунков – не более 5.

Рукопись должна содержать:

- УДК;
- фамилии и инициалы всех авторов (на русском, украинском и английском языках);
- название статьи (на русском, украинском и английском языках);
- название учреждения(й), в котором(ых) работает(ют) автор(ы);
- аннотации на русском, украинском и английском языках;
- ключевые слова (не менее шести) – на русском, украинском и английском языках;
- предлагаемая структура текста (Arial 10, прямой) экспериментальной статьи: «Введение», «Материалы и методы», «Результаты и обсуждение», «Выводы».
- таблицы должны иметь порядковый номер (Arial 10, курсив) и заголовок (Arial 10, п/ж), текст в таблице (Arial 9, прямой), примечания к таблицам размещаются непосредственно под таблицей (Arial 8, курсивом).
- формулы (Arial 11, русские символы – прямым, английские – курсивом, греческие – Symbol 12, прямым) должны иметь порядковый номер (Arial 10, прямой);
- рисунки, схемы, диаграммы и другие графические материалы должны быть черно-белыми, четкими, контрастными, обязательно иметь номер и подрисуночную подпись (Arial 9, прямой); все громоздкие надписи на рисунке следует заменять цифровыми или буквенными обозначениями, объяснение которых необходимо выносить в подрисуночную подпись;
- список литературы (Arial 9);
- ссылки нумеруются в порядке их упоминания в тексте, где они обозначаются порядковой цифрой в квадратных скобках (например - [1]).