



Рисунок 4 – Износ футеровки в объемной модели и в сталеразливочном ковше

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стрелов К.К. Теоретические основы технологии огнеупорных материалов / К.К.Стрелов, И.Д.Кашеев. - М.: Металлургия, 1996. - 608 с.
2. Стариков В.С. Огнеупоры и футеровка в ковшевой металлургии: учебное пособие / В.С.Стариков, М.В.Темлянцев, В.В.Стариков.- М.: «МИСИС», 2003.-328 с.
3. Попель СИ. Смачивание огнеупорных материалов расплавленным металлом и шлаком / С.И.Попель // Теория и практика литейного производства. – Свердловск: Машгиз, 1959. – С. 162-172.
4. Металлургические мини-заводы / А.Н.Смирнов, В.М.Сафонов, Л.В.Дорохова, А.Ю. Цупрун – Донецк: Норд-пресс, 2005. – 469с.

Поступила в редакцию 08.10.2010

Рецензент д-р техн. наук, проф. Н.А. Маняк

© Смирнов А.Н., Жемеров С.Г., Штепан Е.В., 2010

УДК 669.162

**А.М. Зборщик, Н.Ф. Анищенко, В.П. Стец, Д.А. Галинков,
А.П. Витязь, М.Я. Васькевич, И.В. Автюхович**

ВЛИЯНИЕ ОСНОВНОСТИ КОВШЕВОГО ШЛАКА НА ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ СЕРЫ В ЧУГУНЕ В КОВШАХ

Показано, что для предотвращения ресульфурации чугуна в ковшах основность ковшевого шлака должна составлять не менее 1,0. Повышение основности шлака до 1,1 – 1,2 и более создает условия для десульфурации чугуна при наполнении и транспортировании ковшей и снижения интенсивности ресульфурации металла после глубокой десульфурации чугуна магнием.

Ключевые слова: чугуновозный ковш, основность шлака, ресульфурация и десульфурация чугуна

Постановка проблеми

Исследования в доменных цехах ряда металлургических предприятий Украины показали, что рассчитанная как соотношение концентраций оксида кальция и оксида кремния основность шлака в чугуновозных ковшах может изменяться от 0,08 до 1,12, обычно составляя 0,3 – 0,8. Низкая основность ковшевого шлака часто является причиной того, что их сульфидная емкость не позволяет абсорбировать все количество поступающей в шлак серы. При этом выпуск плавки и транспортирование ковшей из доменного цеха в отделения десульфурации чугуна (ОДЧ) или в миксерные отделения (МО) сталеплавильных цехов сопровождается ресульфурацией металла.

Анализ публикаций по теме исследования

В научно-технической литературе имеются единичные публикации, в которых описано изменение химического состава чугуна в ковшах [1,2]. При этом влияние основности ковшевого шлака на изменение содержания серы в металле при наполнении и транспортировании чугуновозных ковшей до настоящего времени не изучено.

Формулировка целей статьи

В настоящей работе ставилась задача изучить влияние основности ковшевого шлака на изменение содержания серы в чугуне за время наполнения и доставки ковшей в ОДЧ и при транспортировании ковшей из ОДЧ в МО сталеплавильных цехов.

Основная часть

Для анализа влияния основности ковшевого шлака на изменение содержания серы в чугуне при наполнении и транспортировании ковшей были использованы результаты опытно-промышленного исследования, выполненного в доменном цехе ОАО «Металлургический комбинат «Азовсталь» («МК «Азовсталь»»). В ходе исследования во время наполнения ковша из чугуновыпускного желоба доменной печи отбирали 2 – 3 пробы металла, по результатам анализа которых рассчитывали содержание серы в чугуне на выпуске. Пробы металла и шлака из чугуновозных ковшей отбирали после доставки их в ОДЧ через 60 – 135 минут после наполнения, после обработки чугуна магнием, а также перед сливом металла в миксер в МО кислородно-конвертерного цеха (ККЦ).

В первой серии экспериментов какие-либо мероприятия, направленные на повышение основности шлака в чугуновозных ковшах, не использовались. При этом содержание серы в чугуне на выпуске из доменной печи изменялось в пределах 0,012 – 0,069%. Состав ковшевого шлака согласно результатам химического анализа был следующим, %: 15,4 – 32,8 CaO; 37,3 – 49,66 SiO₂; 6,4 – 7,38 Al₂O₃; 2,8 – 6,0 FeO; 1,4 – 2,3 MnO; 4,1 – 7,3

MgO; 0,58 – 1,30 S. Основность шлака изменялась от 0,31 до 0,83, в среднем составляя 0,66.

Во время наполнения и доставки в ОДЧ всех проконтролированных ковшей наблюдалась ресульфурация металла (рис. 1а). Обработка данных на рис. 1а с использованием пакета прикладных программ «Statgraphics Plus 3.0» показала, что зависимость между содержанием серы в чугунах после доставки ковшей в ОДЧ ($S_{одч}$) и концентрацией серы в металле на выпуске из доменной печи ($S_{дп}$) описывается уравнением

$$S_{одч} = 0,000451208 + 1,25695 \cdot S_{дп} . \quad (1)$$

При найденных значениях коэффициентов в уравнении (1) величина коэффициента линейной корреляции $R = 0,9538$.

Транспортирование чугуна из ОДЧ в МО ККЦ также сопровождалось с существенной ресульфурацией металла в большинстве проконтролированных ковшей (рис. 1б).

Результаты этих экспериментов показали, что для устранения ресульфурации чугуна при наполнении и транспортировании чугуновозных ковшей необходимо увеличить основность ковшевого шлака.

Ранее в ОДЧ «МК «Азовсталь» сотрудниками Института черной металлургии МЧМ СССР изучена возможность повышения основности ковшевого шлака при помощи присадок извести фракцией 0 – 10 мм и доломита фракцией 3 – 20 мм [3]. Была установлена низкая скорость растворения в шлаках извести и доломита, что можно объяснить низкой температурой ковшевых шлаков и малым содержанием в них оксидов железа и марганца. Следовательно, для повышения основности шлака в чугуновозных ковшах необходимо использование легкоплавких материалов, температура плавления которых не превышает 1400 – 1450°C.

Исходя из этого требования, для повышения основности ковшевых шлаков в настоящей работе была использована рафинирующая смесь ИРС-2, производство которой освоено ОАО «НПП «Техмет» (г. Донецк). Смесь представляет собой предварительно переплавленный материал следующего химического состава, %: $\leq 3,0$ C; 53 – 60 CaO_{общ}; ≤ 6 MgO; ≤ 16 SiO₂; 4 – 8 F; 4 – 6 (Na₂O + K₂O); 10 – 18 Al₂O₃; $\leq 0,5$ S; $\leq 1,5$ P₂O₅; ≤ 2 MnO; ≤ 3 FeO. Температура плавления ИРС-2 не превышает 1300 – 1350°C. Основность смеси, рассчитанная как отношение концентраций CaO и SiO₂, обычно составляет не менее 3,5.

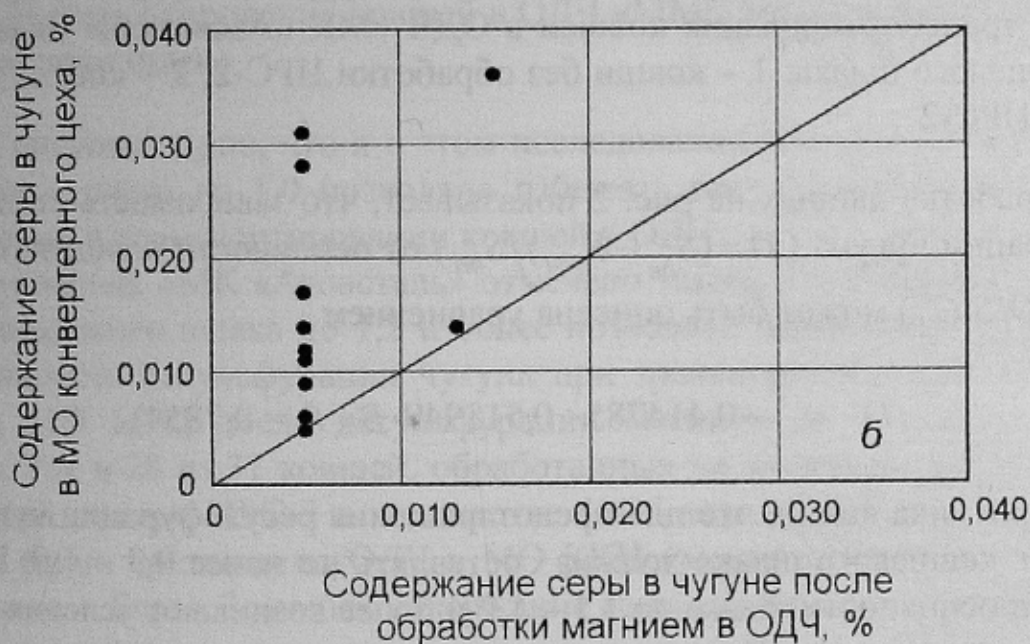
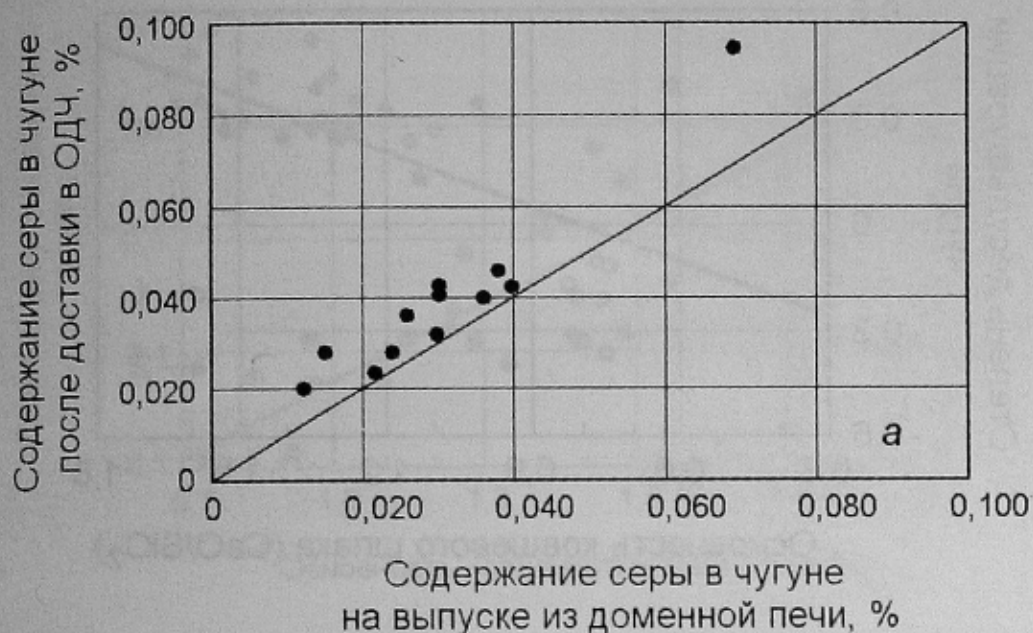


Рисунок 1 – Сведения об изменении содержания серы в чугуна под шлаком основностью 0,31 – 0,83: а – за время наполнения и доставки ковшей в ОДЧ; б – за время транспортирования ковшей из ОДЧ в МО ККЦ

В ходе исследования в доменном цехе «МК «Азовсталь» смесь фракцией до 20 мм присаживали в ковш на литейных дворах печей под струю чугуна. Подачу смеси начинали при наличии в ковше 5 – 15 т металла и заканчивали к моменту слива 50 – 60 т чугуна. Методика отбора проб металла и шлака для химического анализа соответствовала описанной ранее.

Полученные в ходе исследования данные о влиянии основности ковшевого шлака на изменение содержания серы в чугуна за время наполнения ковшей и транспортирования их в ОДЧ показаны на рис. 2.



Рисунок – 2. Зависимость степени десульфурации чугуна за время выпуска и транспортирования ковшей в ОДЧ «МК «Азовсталь» от основности ковшевого шлака: 1 – ковши без обработки ИРС-2; 2 – ковши, обработанные ИРС-2

Обработка данных на рис. 2 показывает, что зависимость степени десульфурации чугуна ($D = (S_{\text{дн}} - S_{\text{одч}}) / S_{\text{дн}}$) от основности ковшевого шлака ($B = \text{CaO} / \text{SiO}_2$) может быть описана уравнением

$$D = -0,414785 + 0,518949 \cdot B \quad (R = 0,7854). \quad (2)$$

Из рисунка видно, что для предотвращения ресульфурации чугуна основность ковшевого шлака должна составлять не менее 0,9 – 1,0. При повышении основности шлака до 1,1 – 1,2 и более возникают условия для десульфурации металла. При основности ковшевого шлака 1,4 – 1,6 степень десульфурации чугуна при выпуске из доменной печи и транспортировании в ОДЧ может составлять 0,3 – 0,4.

К аналогичным выводам приводит анализ приведенных на рис. 3 результатов исследования десульфурации чугуна смесью ИРС-2 на литейных дворах доменных печей ОАО «Мариупольский металлургический комбинат им. Ильича» («ММК им. Ильича») [4].

Обработка данных на рис. 3 показывает, что зависимость степени десульфурации чугуна от основности ковшевого шлака может быть описана уравнением

$$D = -0,406581 + 0,455033 \cdot B \quad (R = 0,78). \quad (3)$$



Рисунок 3. – Зависимость степени десульфурации чугуна за время выпуска и транспортирования ковшей в ОДЧ «ММК им. Ильича» от основности ковшевого шлака

Из рисунка видно, что и в этом исследовании повышение основности ковшевого шлака до 1,0 позволяло избежать ресульфурации чугуна при наполнении и транспортировании ковшей в ОДЧ.

В условиях «МК «Азовсталь» отмечено также, что повышение основности ковшевого шлака до 1,2 и более позволяет значительно уменьшить интенсивность ресульфурации чугуна при транспортировании ковшей из ОДЧ в МО ККЦ после десульфурации магнием до содержания серы 0,005%. Так в 28 из 37 ковшей, обработанных на литейных дворах доменных печей смесью ИРС-2 в количестве 4 – 5 кг/т, содержание серы в чугуне за время доставки из ОДЧ в МО ККЦ уменьшилось или оставалось неизменным. Еще в 3 ковшах содержание серы увеличилось на 0,001%, что сравнимо с погрешностями, которые могут иметь место в процессе отбора проб и химического анализа. И лишь в 6 ковшах содержание серы в чугуне за время доставки в МО ККЦ увеличилось от 0,004 – 0,006% до 0,007 – 0,011%.

При использовании ИРС-2 для повышения основности ковшевого шлака значительное уменьшение интенсивности ресульфурации чугуна за время доставки ковшей из ОДЧ в МО ККЦ отмечено также в условиях «ММК им. Ильича» [5,6]. В ОДЧ этого предприятия для десульфурации чугуна используют порошковую проволоку, наполнителем которой является механическая смесь гранулированного магния в количестве 0,028 – 0,035 кг/м и применяемого в качестве пассивирующей добавки ставролитового концентрата в количестве 0,078 – 0,085 кг/м. При производстве штрипсовой заготовки из стали марок X60 и X70 содержание серы в чугуне, поступающем в ККЦ, не должно превышать 0,005%. Однако, при ис-

пользовании порошковой проволоки указанного выше состава соблюдение этого требования вызывало значительные трудности из-за большого количества ковшей, в которых при транспортировании в МО ККЦ наблюдалась рессульфурации металла.

Значительно уменьшить интенсивность рессульфурации чугуна позволила замена ставролитового концентрата порошкообразной ИРС-2. При использовании порошковой проволокой со смесью гранулированного магния и ИРС-2 в количестве $0,042 - 0,073$ кг/м лишь в 2 из 40 ковшей была отмечена рессульфурация металла от $0,005$ до $0,007\%$. Для остальных 38 ковшей содержание серы в чугуне при сливе его в миксер находилось в пределах $0,003 - 0,005\%$. При использовании порошковой проволоки со смесью гранулированного магния и ставролитового концентрата при сливе чугуна в миксер содержание серы выше $0,005\%$ было получено в 27 ковшах из 67 проконтролированных ковшей.

Выводы и перспективы дальнейших исследований

В результате выполненных исследований установлено, что для устранения рессульфурации металла при наполнении и транспортировании чугуновозных ковшей основность ковшевого шлака должна составлять не менее 1,0. Повышение основности шлака до 1,1 – 1,2 и более создает предпосылки для десульфурации чугуна при доставке в ОДЧ из доменного цеха. При повышении основности ковшевого шлака до 1,2 и более значительно уменьшается интенсивность рессульфурации обработанного магнием чугуна во время транспортирования ковшей из ОДЧ в МО сталеплавильных цехов.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на снижение стоимости высокоосновных легкоплавких флюсов, применяемых для повышения основности шлака в чугуновозных ковшах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Изменение содержания серы в чугуне при его транспортировке / Г.А. Бицадзе, В.В. Парасташвили, Н.Н. Чернов [и др.] // *Металлург.* – 1988. – №1. – С.26-28.
2. Изменение содержания серы в чугуне после выпуска из доменной печи / Б.В. Двоскин, Д.В. Гулыга, В.П. Лозовой [и др.]; *Ин-т чер. металлургии.* – Днепропетровск, 1983. – 7 с. – Деп. в Черметинформации 5.01.84, №2284чм-Д84.
3. Исследование и совершенствование внепечной десульфурации чугуна магнием с корректировкой состава шлакового покрытия и газовой атмосферы: отчет о НИР (заключ.): ВО-40-85, №ГР 01850028731 / рук. Двоскин Б.В.; исполн.: Шевченко А.Ф. [и др.]. // *Ин-т чер. металлургии МЧМ СССР.* – Днепропетровск, 1986. – 75 с.
4. Использование смеси ИРС-2 для десульфурации чугуна в доменном цехе ОАО «Мариупольский металлургический комбинат им. Ильича». / А.М. Зборщик, Н.В. Косолап, Э.Н. Шебаниц [и др.]. // *Металл и литье Украины.* – 2006. – №6. – С.20-22.

5. Порошковая проволока для глубокой десульфурации чугуна / А.М. Зборщик, В.В. Климанчук, Н.Ф. Анищенко [и др.] // *Металл и литье Украины*. – 2008. – №3-4. – С.3-5.
6. Опытное-промышленное опробование порошковой проволоки для глубокой десульфурации чугуна. / А.М. Зборщик, В.В. Климанчук, Н.Ф. Анищенко [и др.]. // *Сталь*. – 2008. – №12. – С.47-49.

Поступила в редакцию 31.09.2010

Рецензент д-р техн. наук, проф. А.Н. Смирнов

© Зборщик А.М., Анищенко Н.Ф., Стец В.П.,
Галинков Д.А., Витязь А.П.,
Васькевич М.Я., Автюхович И.В., 2010

УДК 669.015.93

О.М. Смірнов, В.М. Сафонов, Д.В. Проскуренко

РОЗПОДІЛ КРАПЕЛЬ РІДИНИ НАД ВІЛЬНОЮ ПОВЕРХНЕЮ ВАННИ В РЕЗУЛЬТАТІ РУЙНУВАННЯ НА НІЙ МІХУРІВ ГАЗОВОЇ ФАЗИ

За допомогою фізичної моделі отримані дані про розподіл крапель рідини по площі вільної поверхні рідкої ванни, згідно з якими максимальна їх кількість утворюється в місці $2/3$ радіуса ємності. Також визначено, що збільшення міжфазної поверхні газових міхурів здатне більшою мірою збільшувати кількість маси рідини, що переноситься через межу розділу фаз ніж збільшення розміру міхурів.

Ключові слова: ківшова обробка, струменеві каплі, плівкові каплі, вільна поверхня

Вступ

В агрегаті ківш-піч, газова фаза, що вводиться у ванну розплаву металу, спливає у вигляді міхурів, які при перетинанні міжфазної поверхні шлак-метал, утворюють шлакометалеву емульсію, позитивний ефект якої загальновідомий. Причому ефект цей досяжний при наявності шлаку в місці виходу газової фази (до оголення дзеркала металу), тобто при низьких значеннях витрати газу. При підвищенні витрати газу, відбувається оголення дзеркала ванни металу, після чого кількість емульгованого металу до шлаку різко зменшується (менш ніж 1 %) [1-3]. Виходячи з того, що газовій фазі належить не мала роль в утворенні шлакометалевої емульсії, то низка досліджень були присвячені цій проблемі, за якими зменшення часу затримки міхура на міжфазній поверхні, збільшення його діаметру і швидкості спливання збільшує кількість емульгової металеві фази. Разом з тим, зниження розміру міхура при незмінному газовміщенні збільшує площу поверхні контакту інертного газу з металеві ванною, що поліпшує дегазацію і видалення неметалевих включень. Саме за цією причиною в