

**А.С.Вергун, А.Л.Руденко, В.Г.Кисляков, А.Ф.Шевченко,
И.А.Маначин, С.А.Шевченко**

РАЦИОНАЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОДГОТОВКИ ЧУГУНА К ВЫПЛАВКЕ НИЗКОСЕРНИСТОЙ КИСЛОРОДНО-КОНВЕРТЕРНОЙ СТАЛИ

Целью работы является разработка рекомендаций по рациональной технологии подготовки чугуна к выплавке низкосернистой кислородно-конвертерной стали. Технология включает эффективную десульфурацию чугуна и формирование шлака оптимального химического состава в ковше. Изложены результаты сопоставительного анализа эффективности различных способов десульфурации и предложены критерии для выбора наиболее эффективной технологии десульфурации чугуна. Представлены результаты исследования влияния химического состава ковшевого шлака на величину потерь металла со скачиваемым шлаком. Показано, что наиболее рациональной технологией подготовки чугуна к кислородно-конвертерной плавке является технология инжектирования гранулированного магния в чугун через фурму погружения.

чугун, сера, магний, шлак, сталь, десульфурация

Состояние вопроса. Разработка современных технологий производства качественной низкосернистой кислородно-конвертерной стали базируется в основном на применении при их реализации чистых от серы шихтовых материалов [1]. В первую очередь это касается передельного конвертерного чугуна, который в обычных условиях вносит в ванну конвертера около 70 % серы. По этой причине разработка рациональной технологии подготовки низкосернистого чугуна к конвертерной плавке (десульфурация и очищение от шлака) является актуальной.

В процессе становления и развития процессов внепечной десульфурации чугуна разработано большое количество способов обработки, использующих различные реагенты, отличающихся эффективностью процесса (глубина десульфурации, степень использования реагента, длительность цикла обработки, удельный расход реагента на десульфурацию) и сопровождающихся различными технологическими потерями (снижение температуры чугуна, количество вновь образующегося шлака, потери металла со скачиваемым шлаком и т.п.) [2,3]. Выбор способа десульфурации чугуна и реагента для осуществления технологии определяется технологическими и экономическими соображениями [4]. В первую очередь это касается затрат на реагент и потерь, связанных с осуществлением процесса десульфурации. Прямые затраты обусловлены эффективностью использования реагента при десульфурации, которая определяется как способом обработки, так и параметрами процесса десульфурации.

Многолетняя производственная практика отечественных и зарубежных предприятий свидетельствует о том, что инъекционный ввод реаген-

та в объем металла, при котором используется природный эффект всплывающих более легких пузырей либо частичек обессеривающего реагента в более плотном жидком металлическом расплаве, является наиболее эффективным способом ввода обессеривающего реагента. При этом решается основная задача – создание наиболее благоприятных условий для обеспечения взаимодействия обессеривающего реагента с растворенной в чугуна серы.

Технологические потери, связанные с осуществлением операции десульфурации чугуна, заключаются в снижении температуры чугуна (очень важный параметр для последующего конвертерного передела), а также потерями металла с образующимся шлаком при его скачивании перед подачей чугуна в конвертер. Снижение температуры чугуна в процессе десульфурации определяется типом используемого реагента, его расходом и длительностью процесса обработки. С сокращением цикла обработки и удельного массового расхода реагента снижение температуры чугуна уменьшается.

Наиболее выигрышной является технология десульфурации чугуна инжектированием диспергированного магния через фурму погружения [4]. Использование магниевых реагентов сопровождается целым рядом преимуществ перед другими реагентами: минимальные расход реагента и количество образующегося при десульфурации шлака, минимальные потери тепла чугуном и чугуна со скачиваемым шлаком, самый короткий цикл обработки и т.п. Таким образом, сочетание способа ввода реагента инжектированием через фурму погружения с использованием в качестве реагента гранулированного магния в основе является наиболее эффективным технологическим процессом десульфурации чугуна. При реализации этой технологии необходимо учитывать особенности условий осуществления процесса, в частности, глубину ванны, на которую будет вводиться реагент. Этот параметр (в сочетании с температурой чугуна) оказывает существенное влияние на процесс испарения магния, что необходимо учитывать при выборе типа фурмы для ввода магния в расплав.

Принципиально возможно использовать 2 типа фурм: 1 – фурму с испарительной камерой (колоколом) на выходе и 2 – фурму без испарителя. Фурма с испарителем обеспечивает расплавление и испарение магния на глубине расплава и таким образом обеспечивает наиболее длительное время контакта пузыря парообразного магния и металлического расплава, что обеспечивает максимальное усвоение магния расплавом. Такие фурмы рационально использовать при десульфурации чугуна в ковшах с глубиной ванны не более 2,5 м. По мере увеличения глубины погружения реакционной зоны, имеющего место при увеличении массы обрабатываемого чугуна, замедляется скорость испарения, вводимого в реакционную зону магния, под колоколом происходит накопление неиспарившегося магния, что ограничивает интенсивность ввода магния в чугун, удлиняет процесс инжектирования магния в расплав и, в конечном счете, приводит к нецелесообраз-

ности использования фурм с испарительной камерой на выходе. Альтернативным в случае использования технологии десульфурации чугуна в большегрузных ковшах является применение фурм без испарительной камеры.

Разработанная Институтом черной металлургии конструкция фурмы без испарительной камеры с двумя соплами на выходе позволяет при десульфурации чугуна в ковшах с массой чугуна от 150 до 300 т и глубине расплава более 2,5 м обеспечить ввод магния в расплав со скоростью до 20–25 кг/мин. Это в свою очередь позволяет обеспечить цикл обработки одного ковша с чугуном. Рассредоточенное вдувание магния на глубину 3 м и более сопровождается более высокой (по сравнению с чугуновозными ковшами) степенью использования магния на серу K_{Mg}^S (рис.1). Конечное содержание серы в чугуне при этом может достигать 0,001 % и определяется исходным содержанием серы в чугуне и удельным массовым расходом реагента.

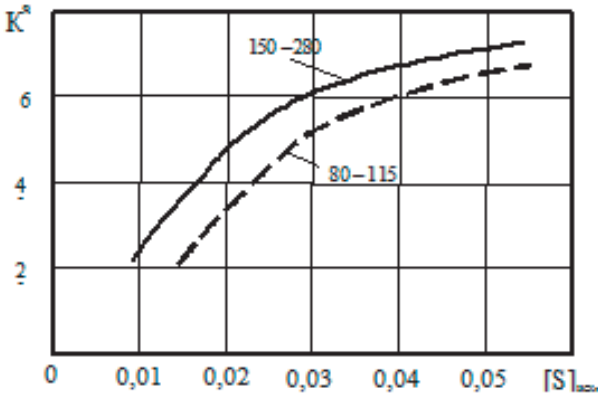


Рис.1. Зависимость степени усвоения магния на серу (K_{Mg}^S) от исходного содержания серы в чугуне $[S]_{исх.}$ при вдувании магния в большегрузные ковши (150–280 т) и обычные доменные (80–115 т). Конечное содержание серы в чугуне – 0,005 %. Цифры у кривых – масса чугуна в ковшах [3].

Формирующийся в процессе десульфурации чугуна магнием высокосернистый ковшевой шлак (в количестве до 1,5 % от массы чугуна) перед сливом чугуна в конвертер необходимо удалить. При этом теряется определенное количество металла. Результаты исследования структуры потерь металла при скачивании ковшевого шлака после десульфурации чугуна магнием, выполненные на металлургическом комбинате "Азовсталь" [5] свидетельствуют о том, что около 70 % металла при скачивании шлака теряется в виде корольков. Это дает основание считать, что уменьшение

содержания корольков в ковшевом шлаке позволит уменьшить потери металла при скачивании шлака.

Целью работы является разработка рекомендаций по рациональной технологии подготовки чугуна к выплавке низкосернистой кислородно-конвертерной стали. Для разработки рекомендаций по корректировке химического состава ковшевого шлака выполнено исследование влияния химического состава ковшевого шлака на прирост металлической фазы в шлаке в процессе десульфурации чугуна магнием, а также на эффективность процесса десульфурации.

Методики и результаты исследования. Исследования проводили в промышленных условиях при обработках с фиксацией основных технологических параметров и отбором проб металла и шлака до и после обработки. Пробы чугуна анализировали на серу и магний остаточный. В пробах шлака определяли содержание корольков металла, после чего неметаллическую фазу анализировали на содержание CaO , SiO_2 , MgO , Al_2O_3 , MnO , FeO , S . По результатам химического анализа шлака с использованием теории направленной химической связи [6] рассчитывали некоторые модельные параметры шлака (Δe – химической эквивалент шлака; ρ – стехиометрический коэффициент) и некоторые физико-химические и физические свойства (σ – поверхностное натяжение, ρ – вязкость, $T_{\text{н.к}}$ и $T_{\text{к.к}}$ – температура начала и конца кристаллизации). Сопоставляя содержание корольков в ковшевых шлаках до и после десульфурации чугуна магнием с модельными параметрами и физико-химическими свойствами этих шлаков, нашли зависимости прироста металлической фазы в шлаке в процессе десульфурации от параметров шлака (рис. 2). С использованием теории направленной химической связи были рассчитаны модели некоторых свойств ковшевых шлаков, обеспечивающие сочетание оптимальных свойств шлака, его максимальной сульфидной емкости и разработаны рекомендации по выбору реагента для корректировки химического состава ковшевого шлака (рис.3).

На результаты процесса десульфурации и потери металла после десульфурации чугуна шлаком значительное влияние может оказывать химический состав формирующегося в ковше шлака. Низкоосновный вязкий шлак имеет минимальную сульфидную емкость и способен накапливать в себе металлическую фазу в виде корольков. Как было показано выше, корректировка химического состава ковшевого шлака может изменить физико-химические свойства шлака, что позволит уменьшить потери металла с таким шлаком и повысить показатели эффективности процесса десульфурации чугуна магнием.

Экспериментальные исследования в промышленных условиях позволили установить, что повышение в результате корректировки химического состава основности ковшевого шлака от 0,38 ед. до 0,63 ед. при прочих равных условиях позволило уменьшить прирост металлической фазы в шлаке в процессе десульфурации от 23 % абс. до 16 % абс (рис.4).

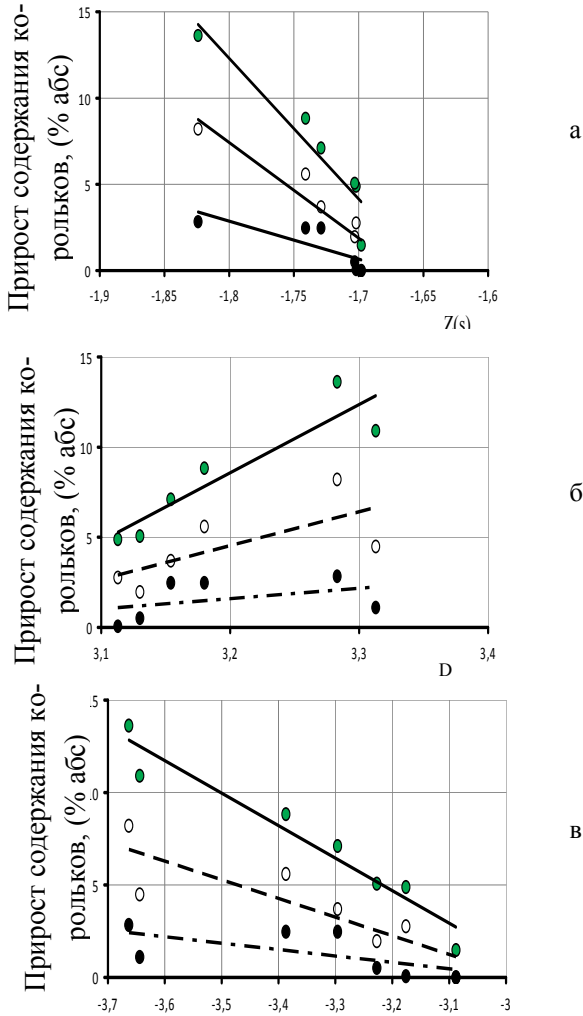


Рис.2. Зависимость прироста содержания корольков $\Delta \epsilon$ различного диаметра в ковшевом шлаке от некоторых модельных параметров шлака. Диаметр корольков: 1 – 0,14–1 мм (○ ----); 2 – 1–3 мм (● —); 3 – 3–5 мм (● - - - -)

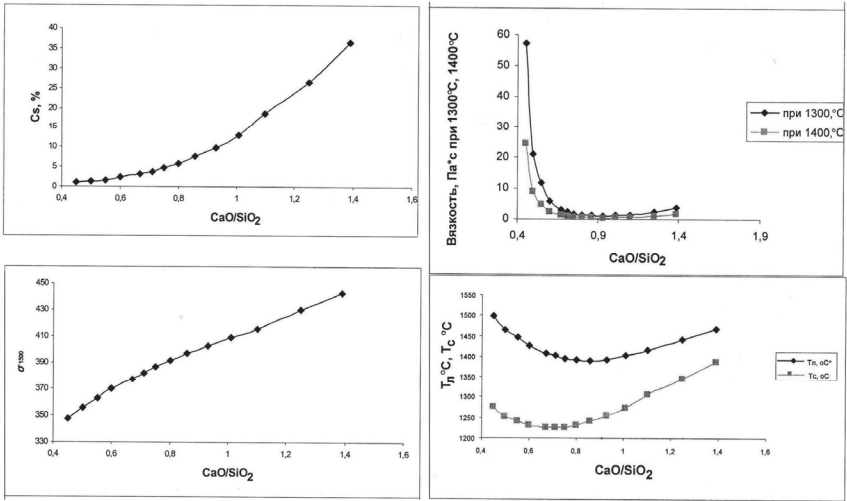


Рис.3. Влияние основности ковшевого шлака на некоторые его физико-химические свойства.

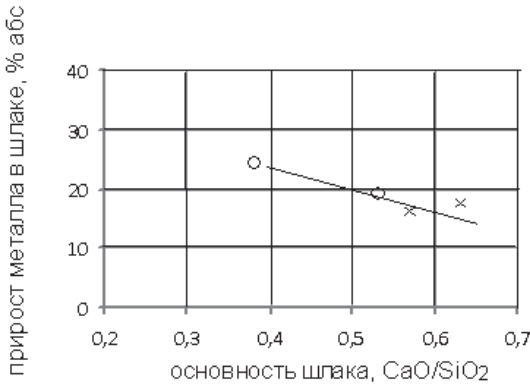


Рис.4. Влияние основности ковшевого шлака на прирост металлической фазы в нем в результате десульфурации чугуна магнием (o – обработки без корректировки химсостава шлака; x – обработки с корректировкой химсостава шлака).

Исследование влияния корректировки химического состава ковшевого шлака, выполненное в промышленных условиях при десульфурации чугуна магнием в чугуновозных ковшах (меткомбинат "Азовсталь", масса обрабатываемого чугуна 60–98 т) и заливочных ковшах (Сяньминский меткомбинат, масса обрабатываемого чугуна 104–111 т) позволило выявить степень влияния этого технологического приема на эффективность процесса десульфурации. При обработках на комбинате "Азовсталь" использовали фурмы с испарительной камерой, а при обработках на Сяньминском меткомбинате использовали двухсloпные фурмы. Присадка порошковой либо фракционированной с размером частиц до 10–15 мм извести в количестве 2–4 кг/т чугуна (500–2200

кг/т шлака) позволила обеспечить достижение модельных параметров шлака рекомендуемого уровня (рис.5).

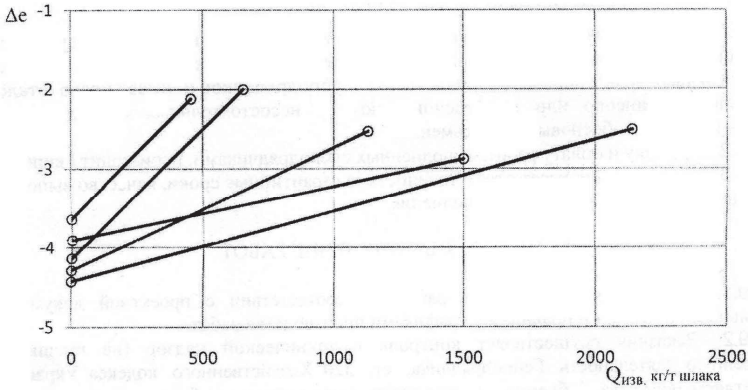


Рис.5. Влияние величины корректирующей добавки извести (кг/т шлака) на величину химического эквивалента ковшевого шлака (Δe) (о – шлак до корректировки, х – шлак после корректировки)

При этом повышение сульфидной емкости шлака в результате корректировки его химического состава присадкой извести позволило повысить эффективность процесса десульфурации чугуна магнием (снижение расхода магния на удаленную серу – показатель β) и в случае использования фурмы с испарительной камерой (рис. 6) и в случае использования двухсопловой фурмы (рис. 7) на 10–20 %.

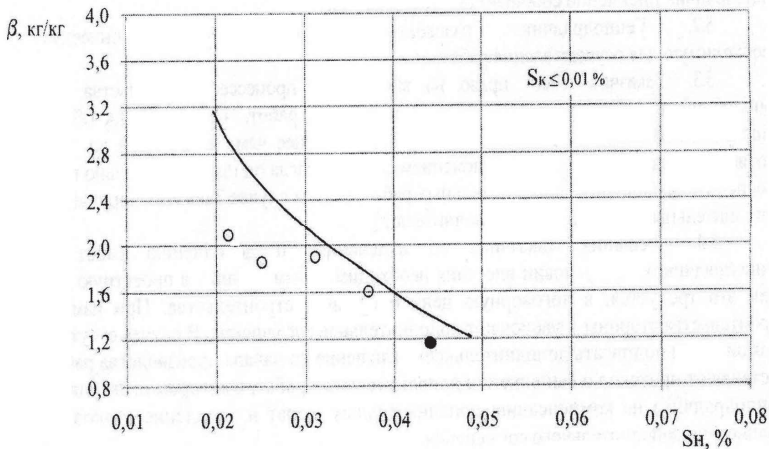


Рис. 6. Влияние корректировки химического состава ковшевого шлака на

величину показателя β (о – подача зернистой извести на поверхность расплава в ковше; • – подача порошковой извести в ковш перед наполнением его чугуном); — – усредненные данные обработок без корректировки состава ковшевого шлака), фурма с испарительной камерой.

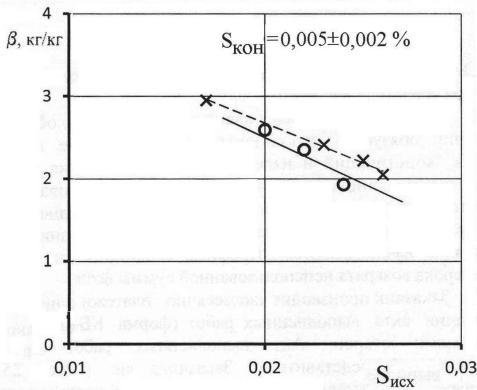


Рис. 7. Влияние корректировки химического состава ковшевого шлака на величину показателя β (о – шлак с корректировкой, x – шлак без корректировки), двухспловая фурма.

Заключение. При сопоставительном анализе результатов аналитических расчетов и экспериментальных исследований было установлено, что наиболее рациональной технологией подготовки низкосернистого чугуна к кислородно-конвертерной плавке является технология инжентирования гранулированного магния в чугун через фурму погружения (фурма с испарительной камерой для ковшей с чугуна <120–150 т и двухспловая фурма для ковшей с массой чугуна >150 т) с корректировкой химического состава ковшевого шлака мелкодисперсной или фракционированной известью.

1. *Большаков В.И., Вергун А.С., Шевченко А.Ф. и др.* Особенности концепции создания гибкой технологической схемы производства низкосернистой кислородно-конвертерной стали. // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* – № 1. – 2008. – С.40–42.
2. *Воронова Н.А.* Десульфурация чугуна магнием. – М.: *Металлургия*, 1980. – 239 с.
3. *Шевченко А.Ф., Большаков В.И., Баймаков А.М.* Технология и оборудование для десульфурации чугуна магнием в большегрузных ковшах. – Киев. *Наукова думка*, 2011. – 206 с.
4. *Шевченко А.Ф., Вергун А.С., Двоскин Б.В. и др.* Основные составляющие комплексного подхода при выборе рациональной технологии внепечной десульфурации чугуна. // *Сб. трудов к 100-летию со дня рождения М.Я. Меджибожского.* – Мариуполь, ПГТУ, 2012. – С.284–301.

5. Курдюков А.А., Казаков А.А., Гриневич И.П., Ганошенко В.И. Влияние десульфурации чугуна магнием на изменение удельного расхода чугуна при конвертерном процессе. // *Технология выплавки чугуна в конвертерных и мартеновских цехах.* – М.: Металлургия, 1984. – С.17–19.
6. Приходько Э.В. Моделирование структуры при исследовании связи между составом и свойствами оксидных расплавов. // *Изв. АН СССР. Неорганические материалы.* – 1980. – Т.16. – № 5. – С.900–906.

*Статья рекомендована к печати
докт.техн.наук, проф. В.Ф.Поляковым*

***О.С.Верзун, О.Л.Руденко, В.Г.Кісляков, А.Ф.Шевченко, І.О.Маначін,
С.О.Шевченко***

Рациональная технология подготовки чавуну до выплавки низькосірчатої киснево-конвертерної сталі

Метою роботи є розробка пропозицій щодо раціональної технології підготовки чавуну до виплавки низькосірчатої киснево-конвертерної сталі. Технологія включає ефективну десульфуріацію чавуну і формування шлаку оптимального хімічного складу в ковші. Викладено результати порівняльного аналізу ефективності різних способів десульфуріації і запропоновано критерії для вибору найбільш ефективної технології десульфуріації чавуну. Представлено результати дослідження впливу хімічного складу ковшового шлаку на втрати металу зі скачуванням шлаком. Показано, що найбільш раціональною технологією підготовки чавуну до киснево-конвертерної плавки є технологія інжектування гранульованого магнію в чавун через фурму занурення.