ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ИНЖЕКЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ КОВШОВОЙ ДЕСУЛЬФУРАЦИИ ЧУГУНА РАЗЛИЧНЫМИ ДИСПЕРГИРОВАННЫМИ РЕАГЕНТАМИ

А. Ф. ШЕВЧЕНКО, д-р техн. наук, профессор, ведущий научный сотрудник, ovoch-isi@outlook.com;

И. А. МАНАЧИН, канд. техн. наук, старший научный сотрудник

(Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова Национальной академии наук Украины, Украина, г. Днепр)

Аннотация. Применение диспергированных реагентов в процессах внепечной обработки чугуна позволило решить широкий круг вопросов и задач повышения качества металлопродукции и улучшения технико-экономических показателей процессов выплавки металла. Однако имеются резервы совершенствования существующих технологий, поскольку при их применении не учитывается целый ряд особенностей тепло- и массообменных процессов, протекающих в ковше при широких пределах параметров и условий рафинирования. Поэтому весьма актуальной является разработка представлений о механизме обменных процессов при инъекционном вводе различных реагентов и выработке наиболее рациональных технологических решений.

Изучено влияние химического и фракционно-дисперсного состава реагентов на процессы десульфурации чугуна. Обоснована первоочередность применения СаО и Mg.

Показано, что при использовании мелкодисперсных порошков частицы меньше 0,08 мм практически не внедряются в расплав чугуна, а при зернистых реагентах (0,2–1,6 мм) их частицы могут внедряться в чугун на глубину до 25 мм.

Установлено, что при инъекционной десульфурации имеются условия и реализуется сепарация вдуваемого двухфазного потока в прифурменной зоне с разделением на газовую и твердую составляющие.

При десульфурации порошковыми немагнетическими реагентами (известью) обоснована концентрация порошка в газе 40–60 кг/нм³, применение восстановителей не из компонентов чугуна (C, Si, Mn), а извне вводимого алюминия. Кроме этого рекомендовано вводить в состав газовой и твердой фаз испаряющихся и газообразующих (в расплаве) добавок для дополнительного диспергирования сред в прифурменной зоне.

При моноинъекции магния обосновано его применение в виде зерен (0,2–1,6 мм) и скорость вдувания >80 м/с.

Полученные научные предпосылки повышения эффективности десульфурации чугуна различными реагентами проверены в промышленных условиях.

Ключевые слова: внепечная обработка чугуна; десульфурация чугуна; инъекционный ввод реагентов; моноинъекция зернистого магния; вдувание оксида кальция; эффективность десульфурации чугуна.

Ссылка для цитирования. Шевченко А.Ф., Маначин И.А. Основные положения рациональных технологических решений инъекционных процессов ковшовой десульфурации чугуна различными диспергированными реагентами // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2018. № 11. С. 13–20.

Doi: 10.32339/0135-5910-2018-11-13-20

Применение диспергированных реагентов в процессах внепечной обработки чугуна и стали позволило решить широкий круг вопросов и задач повышения качества металлопродукции и улучшения технико-экономических показателей процессов выплавки металла [1–3]. Результатом этого явилось, например, увеличение производства выплавки чугуна и стали, расширение сортамента потребляемых шихтовых материалов, получение чугуна и стали с низким ($\leq 0,010$ %) и особо низким ($\leq 0,005$ %) содержанием серы.

Анализ обширного опыта применения внепечной десульфурации чугуна показывает ус-

пехи освоения процессов обессеривания, к которым можно отнести:

- обеспечение особо глубокой десульфурации чугуна — до $\leq 0,001$ – $0,002$ % S [3–6];
- сокращение продолжительности общего цикла обработки чугуна (десульфурация, сканирование шлака, отбор проб, постановка, передвижение и съем ковша) до 20–30 мин [4];
- наименьшие расходы реагентов и сопутствующие потери [4];
- обеспечение очень высокой степени десульфурации чугуна (вплоть до 98 %) при широ-

ких пределах исходного содержания серы в чугуне (0,02–0,10 %) [4].

Вместе с тем не все реализованные технологии обеспечивают весь объем современных требований. Процесс KR с использованием CaO и CaF₂, снижая содержание серы в чугуне вплоть до 0,001–0,002 %, имеет продолжительность цикла, как правило, более 35 мин, сопровождается большим дополнительным шлакообразованием (0,2–15,2 кг/т чугуна) и потерями чугуна (около 15 кг/т чугуна) [4]. При вдувании CaO-содержащих реагентов достигается невысокое усвоение оксида кальция и не достигается очень низкое ($\leq 0,002$ –0,003 %) содержание серы, а потери температуры значительны (более 30 °C).

Не во всех реализованных технологиях обеспечиваются все наиболее рациональные показатели десульфурации чугуна. Обусловлено это тем, что не все разработчики и пользователи технологии учитывают все особенности механизма и физико-химических условий, которые свойственны именно инъекционному рафинированию чугуна вдуванием диспергированных реагентов с учетом специфики применяемого реагента и его свойств. Методические подходы, обоснования и результаты таких исследований приведены в данной публикации. При вводе диспергированного магния в смеси с известью или в виде порошковой проволоки не учитывается целый ряд особенностей тепло- и массообменных процессов, протекающих в ковше при широких пределах параметров и условий рафинирования.

Целью данной работы являлись разработка основных представлений о механизме обменных процессов при инъекционном вводе различных реагентов и выработка наиболее рациональных технологических решений.

Анализ комплекса показателей различных процессов обессеривания чугуна в сопоставлении с современными требованиями к рациональному варианту технологии показал, что базовыми составляющими реагента являются магний или оксид магния [4]. Основные реакции, по которым могут протекать обменные процессы (при вводе обессеривающих реагентов в расплав чугуна) [4, 7]:

Взаимодействие оксида кальция с серой чугуна осуществляется с обязательным участием восстановителя [реакции (1)–(5)], который связывает кислород оксида кальция. Сопоставляя энергии Гиббса G_T^0 реакций (1)–(5) (рис. 1), видим, что наиболее приоритетны процессы с участием [Mg] и [Al], которые поступают из вводимых извне магния и алюминия. Переход на восстановители, содержащиеся в чугуне [Si], [Mn], [C] [реакции (1)–(3)], сопровождается резким снижением энергии Гиббса и уменьшением потенциальных возможностей процесса взаимодействия серы с вводимым оксидом кальция. Поэтому схема вдувания CaO с вводом в расплав чугуна алюминия является более рациональной.

Рис. 1. Изменение энергии Гиббса ΔG_T^0 при варьировании температуры t для реакций взаимодействия оксида кальция и магния с серой чугуна (цифры у линий — порядковый номер реакции)

Fig. 1. Alteration of Gibbs energy ΔG_T^0 temperature t variation for interaction reaction of calcium and magnesium with Sulphur of hot metal (digits at the lines — the current reaction number)

При использовании магния его взаимодействие с серой чугуна происходит по “прямой” схеме [реакции (6) и (7)] без сопутствующих участников, что является признаком материалозкономности этой схемы. Наиболее рациональной с точки зрения кинетики и термодинамики является схема по реакции (7), в которой и сера, и магний

участвуют в растворенном виде. Такое решение позволяет реализовать обменные процессы не только в прифурменной зоне, но и в объеме всей ванны. Для реализации этого имеются достаточные потенциальные условия. Расчеты и последующая экспериментальная проверка показали, что при параметрах внепечной обработки чугуна (температуре 1220–1350 °С, глубине погружения фурмы 1,5–3,5 м) насыщение чугуна магнием (рис. 2) может составлять 0,25–1,25 % [8]. Приведенное свидетельствует о больших потенциальных возможностях растворения магния в чугуне с последующим взаимодействием растворенного магния с серой чугуна.

Рис. 2. Изменение насыщения чугуна магнием [Mg] с изменением температуры t и давления (цифры у кривых, МПа) в зоне истечения двухфазного потока в расплав в ковше

Fig. 2. Alteration of hot metal saturation by magnesium [Mg] at temperature t variation and pressure (digits at the lines, MPa) in the zone of two-phase flow discharge into the melt in ladle

По результатам приведенного термодинамического анализа можно сделать вывод о том, что базовыми реагентами для инъекционной десульфурации чугуна могут быть в первую очередь магний и оксид кальция. Вдувание магния с обеспечением благоприятных условий для растворения магния в чугуне с последующим взаимодействием [Mg] и [S] является наиболее выгодной и приоритетной технологической схемой. При десульфурации оксидом кальция (известью) схема должна включать применение извне вносимого алюминия для связывания (в оксид) высвобождающегося кислорода оксида кальция. Применение извести в смеси с магнием нельзя

отнести к рациональным технологическим решениям по экономическим соображениям.

При инъекционной десульфурации чугуна результат рафинирования в значительной степени определяется физико-химическими характеристиками истекающего из фурмы двухфазного потока и массообменными процессами в прифурменной зоне ванны ковша. При вдувании реагентов на основе извести одними из их основных характеристик являются степень измельчения извести и содержание активного оксида кальция ($\text{CaO}_{\text{акт}}$). По результатам лабораторных продувок чугуна (100 кг в ковше) вдуванием молотой извести различного фракционного состава (от $\leq 0,065$ до 1,35 мм) эффективность десульфурации (показатель D) возрастает с 0,5 до 4 % с уменьшением диаметра частиц с 1,35 до $\leq 0,065$ мм (рис. 3). Кроме того, согласно широкому промышленному опыту [4], потери при прокаливании извести должны быть $\leq 0,8$ %, $\text{SiO}_2 \leq 2,0$ %, а влага не допускается. Рекомендуется обеспечить $\text{CaO}_{\text{акт}} \geq 92$ %.

Рис. 3. Зависимость удельной степени десульфурации чугуна D (степень десульфурации, приходящаяся на 1 кг/т извести) от диаметра частиц вдуваемой извести

Fig. 3. Dependence D of hot metal desulphurization specific degree (desulphurization degree per 1 kg/t of lime) on blow-in lime particles diameter

При моноинъекции магния фракционный состав реагента определен двумя предельными величинами. Нижний предел диаметра частиц составляет 0,2 мм и установлен из соображений безопасности реагента. Верхний предел диаметра частиц магния — 1,6 мм, исходя из необходимости обеспечения условий завершения процессов нагрева, плавления и испарения частиц магния в период их всплывания в ванне чугуна с различной ее глубиной (рис. 4). Кроме этого диаметр частиц должен быть ограничен для обеспечения рациональных условий их мак-

симального разгона и вдувания в жидкий чугун. Исходя из приведенного диаметр частиц магния ограничен в пределах 0,2–1,6 мм, форма частиц компактная в виде зерен. Вполне рационально уменьшать диаметр частиц (не выходя за пределы диаметра 0,2–1,6 мм) при уменьшении глубины погружения фурмы в расплав чугуна.

Рис. 4. Зависимость продолжительности нагрева и фазовых превращений частиц магния τ_{Σ} , а также продолжительности всплывания $\tau_{\text{в}}$ частиц магния в жидком чугуне от диаметра частиц магния d_{Mg} и глубины ввода их в чугун (цифры у кривых) в твердом виде

Fig. 4. Dependence of heating duration and phase transformations of magnesium particles τ_{Σ} , as well as floating-up duration $\tau_{\text{в}}$ of magnesium particles in liquid hot metal on magnesium particles diameter d_{Mg} and their input depth into hot metal (digits at the lines) in a solid state

Результаты инжекционного рафинирования чугуна и эффективность десульфурации в весьма значительной степени определяются массообменными процессами между истекающим двухфазным потоком как в зоне его истечения из погружаемой фурмы, так и в прифурменной зоне. Экспериментальными исследованиями на холодных прозрачных моделях и при математическом моделировании [4, 8] установлено, что на выходе из канала фурмы истекающая двухфазная струя образует газовую полость, в которой скорость газовой фазы W_r снижается от максимальной (на выходе из канала) практически до нуля.

Замеры параметров этой полости [4] позволили получить уточненное эмпирическое выражение для расчета ее длины:

$$L_{\text{стр}} = K_{\text{к}} W_{\text{п}} \sqrt{\frac{\rho_{\text{г}} D_{\text{к}}}{(\rho_{\text{чуг}} - \rho_{\text{г}}) g}},$$

где $\rho_{\text{г}}$, $\rho_{\text{чуг}}$ — плотность истекающего газа и чугуна соответственно; $W_{\text{п}}$ — скорость истекающего потока; $D_{\text{к}}$ — диаметр канала фурмы; $K_{\text{к}}$ — корректирующий коэффициент, который определяется исходя из выражения

$$K_{\text{к}} = 3,448 W_{\text{п}}^{-0,338}.$$

В соответствии с приведенными зависимостями получена номограмма (рис. 5) длины образующейся в расплаве полости на выходе из фурмы в зависимости от скорости потока на выходе из фурмы $W_{\text{п}}$ и диаметра канала фурмы $D_{\text{к}}$ на примере глубины погружения фурмы в жидкий чугун $H_{\text{ф}} = 3$ м. Как следует из рис. 5, длина струи в расплаве увеличивается с возрастанием $W_{\text{п}}$ и $D_{\text{к}}$, а при практических параметрах вдувания реагентов [4] составляет 10–80 мм.

Рис. 5. Номограмма зависимости длины внедрения газовой струи $L_{\text{стр}}$ от скорости потока $W_{\text{п}}$ и диаметра канала фурмы $D_{\text{к}}$ при инжекционной обработке жидкого чугуна в ковшах

Fig. 5. Dependence nomogram of gas stream implementation length $L_{\text{стр}}$ on flow velocity $W_{\text{п}}$ and tuyere channel diameter $D_{\text{к}}$ at injection hot metal treatment in ladles

При экспериментальных исследованиях и математическом моделировании в Институте черной металлургии и Днепровском национальном университете было установлено, что вдуваемые частицы различных реагентов пролетают газовую полость (в зоне истечения) и внедряются в жидкий чугун без физико-химических изменений и имеют температуру лишь на 10 °С больше по сравнению со стартовой.

Таким образом, в процессе истечения двухфазной струи и частичного ее затухания проис-

ходит разделение двухфазного потока на газовые (в основе) и высококонцентрированные среды [4], что представлено на рис. 6. Частично может образовываться низкоконцентрированная среда 3 (см. рис. 6). Существенные изменения характеристик вдуваемых двухфазных потоков вносят значительные корректировки в механизм обменных процессов, особенно при вдувании магния, так как создаются благоприятные условия увеличения парциального давления магния в реакционной зоне, что способствует растворению магния в чугуне.

С использованием математического моделирования изучены закономерности процесса внедрения частиц различных реагентов (Mg, CaO, CaC₂) в жидкий чугун. Показано, что при применяемых на практике условиях и параметрах вдувания глубина внедрения частиц в расплав практически не зависит от типа реагента (CaO, Mg, CaCO₃), а определяется фракционно-дисперсным составом реагента и скоростью его вдувания (рис. 7). Из рис. 7 следует, что при вдувании мелкодисперсных порошков (с диаметром частиц меньше 0,06–0,08 мм) индивидуальное внедрение частиц в расплав практически не происходит, так как глубина внедрения частиц в расплав меньше 0,06 мм.

Рис. 6. Принципиальная схема преобразования “однородного” вдуваемого двухфазного потока на две среды — газовую и высококонцентрированную [4]:

1 — слабозапыленная среда (с концентрацией твердой фазы в газе 0,6–2,0 кг/м³); 2 — высококонцентрированная среда (800–1000 кг/м³); 3 — низкоконцентрированная среда (0,8–10 кг/м³)

Fig. 6. Principal diagram of transformation of “homogeneous” blow-in two-phase flow into two phases: gas and high-concentrated [4]:

1 — low-dusted media (concentration of solid phase in gas 0.6–2.0 kg/m³); 2 — high-concentrated media (800–1000 kg/m³); 3 — low-concentrated media (0.8–10 kg/m³)

Рис. 7. Диаграмма зависимости глубины внедрения частиц магния в расплав чугуна h от скорости движения W_m в начале внедрения при различном диаметре частиц d_m :
а — сводная диаграмма; б — увеличенная версия нижней части сводной диаграммы

Fig. 7. Dependence diagram of magnesium particles implementation depth h into hot metal melt on the movement velocity W_m in the beginning of implementation at different particles diameter d_m :
а — summarized diagram; б — magnified version of lower part of summarized diagram

При вдувании зернистых материалов с диаметром частиц 0,3–1,6 мм в расплав через погружаемую фурму происходит существенное увеличение глубины внедрения частиц в расплав до 10–27 мм, или на 10–15 их диаметров. В

этом случае происходит повсеместное и индивидуальное внедрение частиц реагентов в жидкий чугун.

Расчетом с использованием данных В.Б. Охотского [9] показано, что прифурменная реак-

ционная зона характеризуется (при инъекционной десульфурации чугуна в ковшах) приходом из фурмы в среднем около $2 \text{ нм}^3/\text{мин}$ газа, $6\text{--}120 \text{ кг/мин}$ твердых реагентов, что в итоге сопровождается образованием (в расплаве) около 1,5 тыс. пузырей в минуту, которые всплывают в расплаве. При этом пузыри могут дробиться или объединяться. При вдувании порошкообразных немагневых реагентов содержание твердой фазы во всплывающих пузырях изменяется в очень широких пределах (от 2 до $700\text{--}800 \text{ кг/м}^3$). При вдувании мелкодисперсных порошковых реагентов твердые частицы практически не покидают объем двухфазной среды (см. рис. 7), а накапливаются в этом двухфазном объеме за счет отделяющихся газовых пузырей, т. е. происходит как бы сепарация двухфазной струи с увеличением концентрации твердой фазы до $700\text{--}800 \text{ кг/нм}^3$ (по мере удаления от среза сопла фурмы).

При вдувании зернистых реагентов такое явление не происходит, так как более крупные частицы реагента, имея большой запас кинетической энергии, пробивают пленку пузыря и внедряются вглубь расплава чугуна, при этом отделяясь от газа (как бы «стряхивая» с себя газовое окружение).

Представленные два типа принципиальных схем взаимодействия двухфазного рафинирующего потока с жидким чугуном предопределили реализацию двух механизмов инъекционного рафинирования чугуна.

При использовании порошковых немагневых реагентов не требуется обеспечение высокой линейной скорости вдувания реагента в расплав, так как скорость существенно не влияет на механизм обменных процессов, а необходимо лишь обеспечить рациональную концентрацию реагента в несущем газе $40\text{--}60 \text{ кг/нм}^3$ [4]. Кроме этого в связи с сепарированием истекающего из фурмы потока и его уплотнением рационально осуществлять его диспергирование, обеспечивая это, например, микровзрывами в потоке за счет испаряющихся или дополнительно газообразующих добавок в струе, например, природного газа, газообразных или жидких углеводородсодержащих, а также другого типа добавок, в том числе испаряющихся.

При вдувании магния скорость истекающего потока и частиц является определяющим параметром, так как обеспечивает не только надежность процесса вдувания, но и максимальное внедрение зерен магния в расплав чугуна. По

результатам серий опытных и промышленных обработок чугуна установлено, что нижний предел скорости составляет $\geq 80 \text{ м/с}$.

Представленные выше рекомендации по обеспечению наиболее рационального механизма обменных процессов при внепечной десульфурации чугуна в ковшах позволяют сделать вывод о том, что вдувание моноинжекцией мелкодисперсного магния является недостаточно рациональным решением, так как мелкие частички магния не в состоянии внедряться в расплав чугуна и будут почти постоянно в контакте с газоносителем, что существенно снижает потенциальные возможности магния, нивелируя его преимущества.

Более рациональным является моноинжекция магния в виде зерен диам. $0,2\text{--}1,6 \text{ мм}$, когда обеспечиваются возможности отделения магния от газоносителя и внедрения частиц магния в расплав чугуна на глубину вплоть до 25 мм с освобождением при этом от газоносителя. Такие условия резко повышают парциальное давление магния в реакционной зоне, за счет чего повышается насыщение чугуна магнием и становится активным его взаимодействие с серой чугуна (при этом не только в прифурменной зоне, но и во всем объеме рафинируемой ванны).

Рис. 8. Зависимость степени десульфурации чугуна от удельного расхода вдуваемого реагента. Масса чугуна в ковше $130\text{--}180 \text{ т}$:
1 — вдувание молотой извести; 2 — вдувание смеси извести с 5 % кальцинированной соды

Fig. 8. Dependence of hot metal desulphurization degree on blow-in reagent specific consumption. Hot metal weight in the ladle $130\text{--}180 \text{ t}$:
1 — blow-in of milled lime; 2 — blow-in of lime and 5% soda ash mixture

Полученные научные предпосылки повышения эффективности десульфурации чугуна различными реагентами проверены в промышленных условиях. Моноинжекция зернистого (0,4–1,6 мм) магния через двухсопловую погружаемую фурму при достаточной скорости потока и требуемых режимах дозирования обеспечивает снижение серы в чугуне до $\leq 0,001$ % и степень десульфурации чугуна вплоть до 99 %.

При вдувании оксида кальция (извести) ввод алюминия в количестве 0,5–0,7 кг/т чугуна увеличивает степень десульфурации чугуна на 20 %. Применение природного газа для вдувания извести увеличивает степень десульфурации чугуна на 10 % (абс.). Добавка кальцинированной соды во вдуваемую известь (в количестве около 5 % в смеси) повышает степень десульфурации

на 10–15 % (абс.) (рис. 8). Таким образом, активизация обменных процессов при инъекционной десульфурации известью за счет смены восстановителя (растворенного в чугуне [Si] на вводимый извне [Al]), дробление крупных известьсодержащих полостей в чугуне за счет замены газоносителя (азота или воздуха) на природный газ позволяет реализовать более выгодный механизм обменных процессов и увеличить степень десульфурации чугуна на 20–30 %. Следовательно, оптимизация механизма обменных процессов при внепечной инъекционной десульфурации чугуна различными реагентами имеет реальные резервы повышения эффективности и снижения затратности процессов внепечного обессеривания чугуна в ковшах.

Заключение

На инъекционную десульфурацию чугуна в ковшах оказывает влияние не только химический состав реагента, но и в значительной степени фракционно-дисперсный состав, параметры вдувания реагентов и газоносителя (через погружаемую фурму).

В итоге принципиально изменяются механизм тепло- и массообменных процессов и результаты рафинирования. При диаметре частиц реагента $\leq 0,08$ мм не достигается их полное внедрение в расплав чугуна, а происходит лишь их временное погружение. С учетом этого эффективность массообменных процессов ухудшается, нивелируются преимущества инъекционной обработки и ухудшаются показатели десульфурации и экономики.

При вдувании реагентов в зернистом виде с диаметром частиц 0,3–1,6 мм происходит снижение активной поверхности реагента, но обеспечивается резкое увеличение глубины внедрения

частиц реагента в расплав чугуна на глубину вплоть до 25 мм. Это изменяет механизм обменных процессов, что в случае применения зернистого магния резко увеличивает возможности насыщения чугуна магнием и обеспечивает более выгодный механизм взаимодействия расплавленных [S] и [Mg].

Обосновано, что при вдувании порошковых немагнетических реагентов одним из важнейших параметров является концентрация реагента в газе. Рекомендована ее величина 40–60 кг/м³, применение восстановителя в виде алюминия, а также природного газа, кальцинированной соды (в смесь до 5 %) и других добавок, способствующих дроблению высококонцентрированных порошковых полостей в зоне истечения реагентов из фурмы.

При вдувании зернистых реагентов рекомендована скорость истечения потока из фурмы в расплав чугуна более 80 м/с.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кудрин В.А. Внепечная обработка чугуна и стали. — М.: Металлургия, 1992. — 335 с.
2. Найдек В.Л. Повышение эффективности металлургических технологий внепечной обработки железоуглеродистых расплавов. Производство стали в XXI веке. Прогнозы. Процессы, технологии, экономика: сб. докладов междунар. конф. — Киев: ЗАО “Укрсплав”, 2000. С. 16–23.
3. Воронова Н.А. Десульфурация чугуна магнием. — М.: Металлургия, 1980. — 239 с.
4. Внепечная десульфурация чугуна в ковшах. Технология. Исследования. Анализ. Совершенствование / А.Ф. Шевченко, И.А. Маначин, А.С. Вергун и др. — Днепропетровск: Дніпро-VAL, 2017. — 253 с.
5. Степанов А.А., Зинченко С.Д., Ламухин А.И. и др. Освоение технологии производства стали с использованием установки десульфурации чугуна в условиях конвертерного производства ОАО “Северсталь” // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2005. № 4. С. 31–33.
6. Ушаков С.Н., Авраменко В.Л., Бичеев В.А. и др. Производство трубной низкосернистой стали с ковшовой десульфурацией чугуна // Металлург. 2017. № 11. С. 47–61.
7. Шевченко А.Ф. Разработка и развитие теории и технологии процессов внепечной десульфурации чугуна в ковшах вдуванием диспергированных реагентов: дис. ... д-ра техн. наук. — Днепропетровск, 1997. — 425 с.
8. Большаков В.И., Шевченко А.Ф., Башмаков А.М. Технология и оборудование десульфурации чугуна магнием в большегрузных ковшах. — Киев: Наукова думка, 2011. С. 76.
9. Охотский В.Б. Физико-химическая механика сталеплавильных процессов. — М.: Металлургия, 1993. — 151 с.

MAIN CONDITIONS OF RATIONAL TECHNOLOGICAL SOLUTIONS OF INJECTION PROCESSES FOR LADLE DESULPHURIZATION OF HOT METAL BY VARIOUS DISPERSED REAGENTS

A. F. SHEVCHENKO, HD (Tech), Professor, Leading Research Associate, ovoch-isi@outlook.com;
I. A. MANACHIN, PhD (Tech), Senior Research Associate
(Institute of Ferrous Metallurgy after Z.I. Nekrasov,
National Academy of Sciences of Ukraine, Ukraine, Dnepr)

Abstract. Application of dispersed reagents in hot metal ladle treatment processes enabled for solving a wide range of tasks of increasing metal products quality and improving technical and economic indices of metal smelting processes. But there are reserves of existing technologies improving, since during their application a whole number of peculiarities of heat- and mass exchange processes, having place in ladle at wide range of parameters and refining conditions, are not taken into consideration. Therefore, elaboration of conceptions about exchange processes mechanisms at different reagents injection input and elaboration of most rational technological solutions are rather actual.

Influence of chemical and fraction-dispersed content of reagents on hot metal desulphurization processes studied. First priority of CaO and Mg application justified.

It was shown, that when using fine powders, particles less 0.08 mm practically do not penetrate into hot metal melt, and when grain reagents (0.2–1.6 mm) are used, their particles can penetrate into hot metal by a depth of 25 mm.

It was established that during the injection desulphurization there are conditions and separation of blow-in two-phase stream takes place in near-tuyere zone with division for gas and solid components.

During the desulphurization by powder non-magnesium reagents (lime), the powder concentration 40–60 kg/Nm³ in gas justified, usage of reducing agents not from hot metal components (C, Si, Mn), but Al introduced from outside. Besides, it was recommended to introduce evaporating and gas-forming (in the melt) additions into gas and solid phase for additional phase dispersion in the near-tuyere zone.

During the magnesium mono-injection its application in the form of grains (0.2–1.6 mm) justified and blow-in velocity >80 m/s.

The obtained scientific preconditions of hot metal desulphurization efficiency increase by different reagents were checked in industrial conditions.

Key words: hot metal ladle treatment; hot metal desulphurization; injection introduction of reagents; mono-injection of grain magnesium; calcium oxide blow-in; hot metal desulphurization efficiency.

For citation: Shevchenko A.F., Manachin I.A. Main conditions of rational technological solutions of injection processes for ladle desulphurization of hot metal by various dispersed reagents. *Chernaya metallurgiya. Byulleten nauchno-tehnicheskoy i ekonomicheskoy informacii = Ferrous metallurgy. Bulletin of scientific, technical and economic information*, 2018, no. 11, pp. 13–20. (In Russ.).

Doi: 10.32339/0135-5910-2018-11-13-20

REFERENCES

1. Kudrin V.A. *Vnepechnaya obrabotka chuguna i stali* [Ladle treatment of hot metal and steel]. Moscow: Metallurgiya, 1992, 335 p. (In Russ.).
2. Naidek V.L. *Povyshenie effektivnosti metallurgicheskikh tekhnologii vnepechnoi obrabotki zhelezouglerodistykh rasplavov. Proizvodstvo stali v XXI veke. Prognozy. Protssessy, tekhnologii, ekonomika: sb. dokladov mezhdunar. konf.* [Efficiency increase of metallurgical technologies of iron-carbon melts ladle treatment. Steel production in the twenty-first century. Predictions. Processes, technology, economics: a collection of reports of the Intern. conf.]. Kiev: ZAO "Ukrsplyav", 2000, pp. 16–23. (In Russ.).
3. Voronova N.A. *Desul'furatsiya chuguna magniem* [Desulphurization of hot metal by magnesium]. Moscow: Metallurgiya, 1980, 239 p. (In Russ.).
4. Shevchenko A.F., Manachin I.A., Vergun A.S. etc. *Vnepechnaya desul'furatsiya chuguna v kovshakh. Tekhnologiya. Issledovaniya. Analiz. Sovershenstvovanie* [Desulphurization of hot metal in ladles. Technology. Study. Analysis. Improving]. Dnepropetrovsk: Dnipro-VAL, 2017, 253 p.
5. Stepanov A.A., Zinchenko S.D., Lamukhin A.I. etc. Mastering of steel production technology with desulphurization facility application under conditions of JSC "Severstal" BOF shop. *Chernaya metallurgiya. Byulleten nauchno-tehnicheskoy i ekonomicheskoy informacii = Ferrous metallurgy. Bulletin of scientific, technical and economic information*, 2005, no. 4, pp. 31–33. (In Russ.).
6. Ushakov S.N., Avramenko V.L., Bicheev V.A., Stolyarov A.M., Potapova M.V. Production of pipe low-sulphur steel with ladle hot metal desulphurization. *Metallurg*, 2017, no. 11, pp. 47–61. (In Russ.).
7. Shevchenko A.F. *Razrabotka i razvitie teorii i tekhnologii protsessov vnepechnoi desul'furatsii chuguna v kovshakh vduvaniem dispergirovannykh reagentov: dis. ... dokt. texnich. nauk* [Elaboration and development of a theory and technology of hot metal desulphurization in ladles by blowdown of dispersed reagents. Dr. Sci. Dis.]. Dnepropetrovsk, 1997, 425 p. (In Russ.).
8. Bol'shakov V.I., Shevchenko A.F., Bashmakov A.M. *Tekhnologiya i oborudovanie desul'furatsii chuguna magniem v bol'shegruznykh kovshakh* [Technology and equipment of hot metal desulphurization by magnesium in big volume ladles]. Kiev: Naukova dumka, 2011, p. 76.
9. Okhotskii V.B. *Fiziko-khimicheskaya mekhanika staleplavil'nykh protsessov* [Physical and chemical mechanics of steelmaking processes]. Moscow: Metallurgiya, 1993, 151 p. (In Russ.).