

А.Ф.Шевченко, И.А.Маначин, А.П.Толстопят

**ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССОВ КОВШЕВОГО
РАФИНИРОВАНИЯ ЖИДКОГО ЧУГУНА ВДУВАНИЕМ
ДИСПЕРГИРОВАННОГО МАГНИЯ**

Обоснованы основные условия диспергирования и деления вдуваемых двухфазных магнийсодержащих потоков в железоуглеродистые расплавы при десульфурации чугуна. Показано, что за счет гидроаэродинамических режимов и условий инжектирования двухфазных потоков величина межфазной массообменной поверхности в расплаве может быть увеличена на 40–50 %. Обоснованы условия вдувания магния в расплав через многосопловые фурмы с обеспечением лучшего его усвоения и увеличения интенсивности подачи магния в расплав.

чугун, десульфурация, магний, погружаемые фурмы, инжектирование

Актуальность. Практически все процессы инъекционного ковшевого рафинирования железоуглеродистых расплавов связаны с созданием в жидкой ванне развитой и активной тепло– и массообменной зоны, в объеме которой образуются и всплывают пузыри, и различного типоразмера газовые полости, содержащие инжектирующий газ и частицы рафинирующего реагента. На поверхности этих газовых полостей и в приграничной зоне расплава протекает комплекс физико-химических процессов, обеспечивающих его рафинирование. Поэтому создание наиболее развитой реакционной поверхности способствует увеличению степени усвоения вдуваемых реагентов и скорости их взаимодействия с расплавом, что в свою очередь приводит к возможности увеличения интенсивности вдувания реагентов и сокращения продолжительности цикла операции рафинирования чугуна при обеспечении высокой степени усвоения вводимых реагентов.

Одним из весьма перспективных путей увеличения тепло– и массообменной поверхности в расплаве является максимальное рассредоточение и диспергирование вдуваемых двухфазных потоков. Особенно это актуально при внепечной десульфурации чугуна с использованием магнийсодержащих реагентов, так как увеличение интенсивности ввода магния при обеспечении высокой степени его усвоения позволяет реализовать рациональный процесс рафинирования нового научно–технического уровня с широкими технологическими возможностями.

Состояние решение проблемы. Наиболее распространенными в настоящее время процессами внепечной обработки чугуна являются технологические процессы вдувания зернистого (гранулированного) магния без разубоживающих добавок и продувка чугуна смесями на основе порошкового (или зернистого) магния и высококачественной

молотой известью [1–3]. При вдувании порошковых магнийсодержащих смесей диспергирование двухфазного потока пытаются осуществить вдуванием через двухсопловые (Т-образные фурмы) или другого типа многосопловые фурмы [2]. Однако этот опыт нельзя признать удовлетворительным, так как фурмы на выходе закупориваются и «забиваются», фурмы неуправляемо превращаются в односопловые, а неудовлетворительное и ненадежное дробление двухфазного потока ограничивает практическую интенсивность вдувания магния пределами 9–12 кг/мин. Приведенные отрицательные результаты вдувания магния (в составе порошковых смесей) через многосопловые фурмы обусловлены нерациональностью параметров вдуваемых двухфазных порошкосодержащих потоков, их пульсацией и нестабильностью течений, а также другими параметрами инжестирования.

При анализе изложенной ситуации авторы настоящей публикации и сотрудники ИЧМ пришли к выводу, что основной причиной ограничения интенсивности ввода магния в расплав является неудовлетворительное распределение вдуваемых магнийсодержащих порошков в тепло- и массообменной зоне, что сопровождается весьма локализованным парообразованием магния с последующим повышением бурности процесса обработки чугуна. Для устранения указанных недостатков американская фирма ESM (для повышения интенсивности ввода магния) была вынуждена реализовать [2,4] вдувание магний–известковых порошковых смесей двумя независимыми инжесторными системами через две фурмы (рис.1).

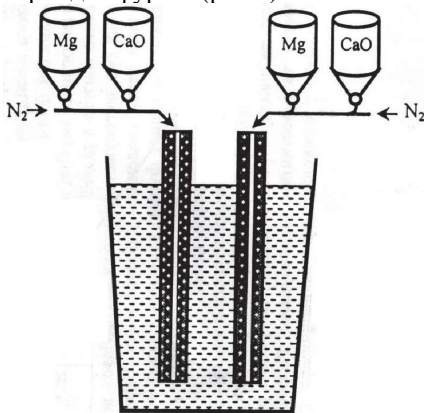


Рис.1. Принципиальная схема рассредоточенного вдувания смеси магния с известью при помощи одновременной подачи реагентов через две индивидуальные инжесторные установки [4,5]

Основные параметры этой инжесторной обработки были следующими:

- | | |
|---------------------------------------|----------------------------|
| – система вдувания | – 2 установки (на 1 ковш); |
| – содержание магния в смеси | – до 25 %; |
| – интенсивность вдувания магния | – 14–24 кг/мин; |
| – продолжительность операции вдувания | – 6÷13 мин; |

- расход вдуваемого азота – 120–160 нм³/ч;
- степень усвоения магния – 30–40 %.

Анализ промышленного применения приведенного технического решения показал следующие его недостатки:

- высокие капитальные затраты;
- высокие эксплуатационные затраты;
- ограниченность в возможности применения;
- невысокая степень усвоения реагентов;
- значительная себестоимость обработки чугуна.

Постановка задачи. С учетом изложенного Институтом черной металлургии НАН Украины (г. Днепропетровск) был предложен новый подход и сформулирована концепция в решении задач интенсификации процесса ввода магния в ковш с жидким чугуном. Основные составляющие этой концепции включают следующие положения:

- рассредоточение частиц магния равномерно по сечению канала в период подготовки двухфазного потока к вдуванию;
- исключение пульсаций в магниепроводе;
- подготовка и деление единого потока перед истечением из фурмы на несколько равных;
- применение магния без пылевидных фракций и добавок;
- максимальное рассредоточение и диспергирование вдуваемого двухфазного потока в зоне истечения его в расплав и в прифурменной зоне.

Реализация процесса в основе включала специальные режимы дозирования магния, применение зернистого (0,4–1,6 мм) магния, специальные режимы разгона потока и подготовки к вдуванию, специальные условия деления потока и вдувание потока в расплав через погружаемую фурму с многосопловым оголовком (рис.2).

Исследования, разработки, результаты. Отработку режимов и условий вдувания магния осуществляли на холодных физических и опытных моделях, в т.ч. на лабораторной установке с кино съемкой и замером процессов и параметров вдувания и барботирования жидкой ванны (рис.3), а также последующей компьютерной обработкой материалов исследований [5].

Исследованиями на лабораторной и опытно-промышленной установке инъекционной подачи магния было установлено, что при скорости потока выше расчетной (для устойчивого вдувания) частицы магния равномерно распределяются по сечению канала, что создает благоприятные предпосылки для деления потока на несколько равноценных. При концентрации магния около 8 кг/нм³ (или около 30 кг/м³) и скорости потока более 90 м/сек практически не наблюдается пульсаций потока, а по своим свойствам двухфазный поток азота с зернистым магнием приближается к газовому потоку, способному делиться на несколько.

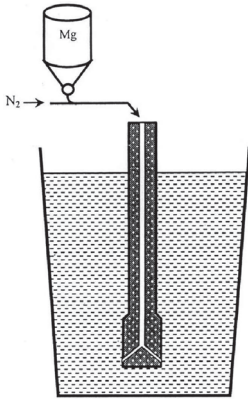


Рис.2. Намеченное общее принципиальное решение обеспечения диспергированного вдувания зернистого или гранулированного магния в ковши с жидким чугуном при повышенной интенсивности подачи магния

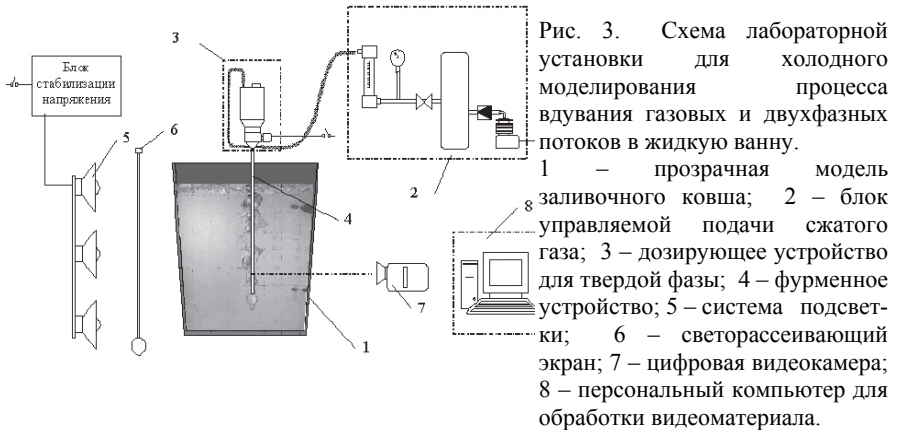


Рис. 3. Схема лабораторной установки для холодного моделирования процесса вдувания газовых и двухфазных потоков в жидкую ванну.

1 – прозрачная модель заливочного ковша; 2 – блок управляемой подачи сжатого газа; 3 – дозирующее устройство для твердой фазы; 4 – фурменная трубка; 5 – система подсветки; 6 – светорассеивающий экран; 7 – цифровая видеокамера; 8 – персональный компьютер для обработки видеоматериала.

При вдувании потока в жидкую ванну в зоне истечения и в прифурменной зоне ванны образуется тепло- и массообменная барботирующая зона. Выполненные замеры (при варьировании расхода газа, диаметра сопла и угла истечения струи в ванну) показали, что при прочих равных условиях величина суммарной поверхности газовых полостей в ванне зависит от угла отклонения вдуваемого потока (α) от вертикальной оси (рис.4). Наиболее высокие значения условной поверхности создаются при вдувании потока под углом 45° . Эта закономерность установлена при продувках одноканальной фурмой.

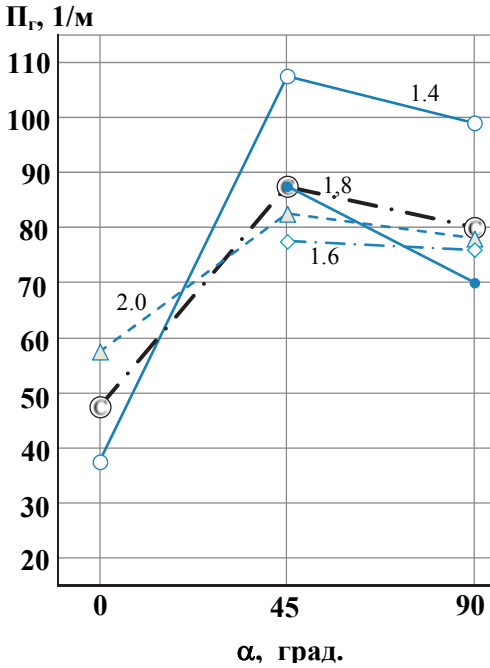


Рис.4.Изменение условной поверхности (Π_r) газовых полостей в жидкой ванне при различных углах отклонения (α) канала односплошной фурмы (в оголовке) от вертикальной оси. Расход ддуваемого газа $1,3 \text{ м}^3/\text{ч}$. Цифры у линий – диаметр канала (мм).
 ○-◇-△-● - Фактические значения (Π_r) при различных параметрах.
 ◎ - средние значения (Π_r) по серии экспериментов

При ддувании потока через двухсплошную фурму условная межфазная поверхность Π_r , также как при продувках через одноканальную фурму увеличивается с повышением расхода инжектирующего газа (рис.5), но в большей степени, чем при одноканальной фурме, что обусловлено ббльшими абсолютными значениями поверхности образующейся парогазовой среды при использовании двухсплошной фурмы. Последний факт свидетельствует о том, что в случае использования многосплошной (в частности двухсплошной) фурмы при всех прочих равных условиях и равных расходах (объеме) ддувания газа происходит ббльшее диспергирование парогазовой фазы, что сопровождается увеличением условной поверхности в ванне на $35\text{--}45 \text{ 1/м}$ или, судя по изменению фактических значений условной поверхности (рис.5), на $40\text{--}60 \%$ относительных. Следовательно, ддувание парогазовых сред в жидкую ванну через многосплошные фурмы способствует ббльшему диспергированию и дроблению газовой фазы с образованием более развитой (на $40\text{--}60 \%$) межфазной поверхности.

В случае ддувания зернистого магния через многосплошную фурму процесс сопровождается образованием в жидкой ванне на $40\text{--}60 \%$ более развитой поверхности, что способствует ускорению тепло- и массообменных процессов между жидким чугуном и паробразной магни- газовой средой. Изложенное является благоприятной предпосылкой для повышения эффективности усвоения магния и

увеличения интенсивности его вдувания при использовании многосопловых фурм.

Сопоставление величин суммарной условной поверхности газовых полостей в жидкой ванне (рис.6) подтверждает, что абсолютные значения Π_r при двухсопловой фурме в среднем на 40 $\frac{1}{м}$ или на 45–50 % (относительных) больше чем при односопловой фурме. На двухсопловой фурме также как и на одноканальной большее диспергирование достигается при угле отгиба сопел на 22–45° от вертикальной оси.

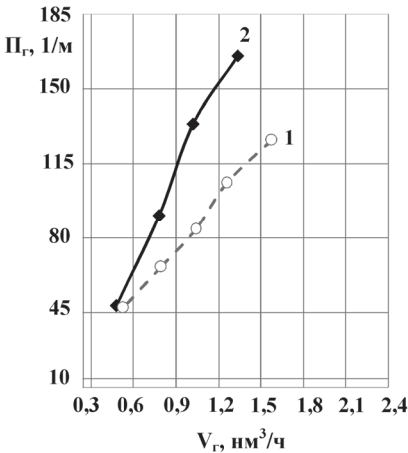


Рис.5. Зависимость условной межфазной поверхности (Π_r) пузырей газа в ванне от расхода газа (V_r) при вдувании через двухсопловую фурму с диаметром сопел 1,0 мм и эквивалентную ей односопловую фурму с диаметром канала 1,4 мм. Угол отклонения сопел на выходе от вертикальной оси (α) составляет 45°

1 - вдувание через односопловую фурму;
2 - вдувание через двухсопловую фурму

Таким образом, экспериментально показано, что при прочих равных условиях вдувание двухфазных потоков через многосопловую (в частности, через двухсопловую) фурму сопровождается большим диспергированием парогазовой среды с образованием более развитой тепло- и массообменной поверхности в рафинируемой ванне. Последнее является научной основой для организации процесса вдувания диспергированного магния через многосопловые фурмы, которые должны обеспечивать более высокое усвоение магния и увеличение интенсивности вдувания магния в ковши с жидким чугуном.

На основании проведенных исследований сформулированы исходные данные для промышленной технологии и конструкции, погружаемых двухсопловых фурм вдувания зернистого магния в ковши с жидким чугуном.

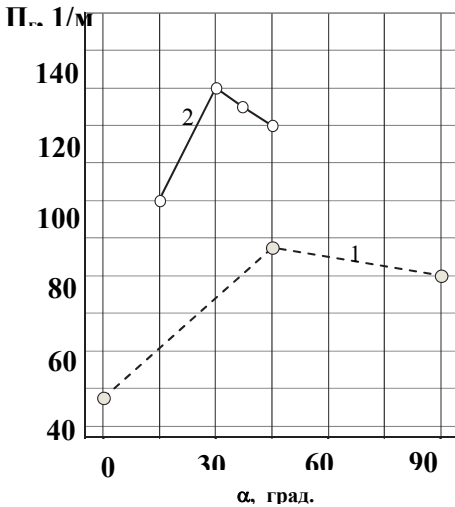


Рис.6.Изменение условной межфазной поверхности (P_i) газовых полостей в жидкой ванне (вода) при варьировании угла отклонения (α) канала сопел фурмы от вертикальной оси. Удельный расход газа $1,3 \text{ нм}^3/\text{ч}$, диаметр каналов фурм – $1,4-2,0 \text{ мм}$
 1 – вдувание одноканальной погружаемой фурмой;
 2 - вдувание двухсопловой погружаемой фурмой.

Выводы. Исследованиями на холодных физических моделях показано, что в случае вдувания зернистого магния имеются условия и предпосылки для диспергирования и деления двухфазных магнийсодержащих потоков на несколько равных с последующим диспергированием их в жидкой ванне после истечения из канала фурмы. Этот процесс сопровождается увеличением межфазной поверхности на 40–60 %, образующейся в ванне, что в случае вдувания зернистого магния определяет благоприятные предпосылки для увеличения степени усвоения магния и возможности увеличения интенсивности ввода магния в жидкий чугун.

Реализация рекомендуемого процесса включает вдувание зернистого магния через двухсопловые и многосопловые погружаемые фурмы с отклонением сопел на выходе на $22-45^\circ$ от вертикальной оси.

По результатам исследований на моделях сформированы исходные условия для технологии и устройств вдувания магния в чугун через многосопловые фурмы.

1. Шевченко А.Ф., Большаков В.И., Башмаков А.М. Технология и оборудование десульфурации чугуна магнием в большегрузных ковшах. – Киев. Наукова думка, 2011. – 207 с.
2. IX Международный симпозиум по десульфурации чугуна и стали. Сб. докладов. – Галати/Румыния. 18-21 сент. 2006. – 91 с.
3. Создание и развитие рациональных технологий внепечной десульфурации чугуна. / В.И. Большаков, А.Ф.Шевченко, Лю Дун Ие и др. // Сталь. – 2009. – № 4. – С.13-20.

4. *Освоение технологии производства сталей с использованием установки десульфурации чугуна в условиях конвертерного производства ОАО «Северсталь».* / А.А.Степанов, А.М.Ламухин, С.Д.Зинченко и др. // Сб. докладов VII Международного симпозиума по десульфурации чугуна и стали. 20-24 сент. 2004. – Нижний Тагил. – С.83-87.
5. *Компьютерная обработка кинограмм процесса взаимодействия газовых струй с жидкостью.* / Т.А.Рузова, А.П.Толстопят, А.Ф.Шевченко и др. // Науковий вісник НГУ. Енергетика та автоматизація виробничих процесів. Дніпропетровськ. –2007. – № 12. – С.91-99.

*Статья рекомендована к печати
докт. техн. наук А.С.Вергуном*

А.П.Шевченко, І.О.Маначин, О.П.Толстоп'ят

**Інтенсифікація процесів ковшового рафінування рідкого чавуну
вдуванням диспергованого магнію**

Обґрунтовано основні умови диспергування та розділення двофазних магнійвмісних потоків, що вдуваються в залізовуглецеві розплави. Показано, що за рахунок гідроаеродинамічних режимів та умов інжектування двофазних потоків величина міжфазної масообмінної поверхні в розплаві може бути збільшена на 40–50%. Обґрунтовано умови вдування магнію в розплав через багатосоплові фурми із забезпеченням кращого його засвоєння і збільшення інтенсивності подачі магнію в розплав.