

*к.т.н., доц. Куберский С.В.,  
к.т.н., доц Эссельбах С.Б.,  
ст.преподаватель Эссельбах В.С.,  
к.т.н., доц Семирягин С.В.,  
(ДонГТУ, Алчевск, Украина)*

## **ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ РЕАКТОР ДЛЯ ВНЕПЕЧНОЙ ДЕСУЛЬФУРАЦИИ ЧУГУНА ПРОЦЕССА РОМЕЛТ**

*Запропонована конструкція електромагнітного реактора для десульфурзації чавуну процесу Ромелт під час його підготовки до виплавки сталі.*

Наиболее эффективным способом дальнейшей переработки чугуна Ромелт является прямое использование его в жидком виде для производства жидкой стали с последующим получением непрерывнолитых заготовок и затем металлопроката.

Особенно эффективен этот способ для районов с весьма ограниченными ресурсами металлолома, предприятий с относительно небольшой производительностью (до 1 – 1,5 млн. т стали/год, слишком малой для современных домен, а тем более для производства кокса и железорудного сырья), имеющих местные ресурсы железной руды и угля или металлосодержащие отходы металлургического производства.

Задачей сталеплавильного процесса в этом случае является, получение стали при высокой доле в шихте жидкого чугуна – вплоть до 90–100%. Наиболее распространенным в настоящее время способом получения стали с такой долей чугуна в составе металозавалки является конвертерный процесс.

Состав чугуна, выплавляемого в печах Ромелт, очень близок к составу обычного передельного чугуна и отличается лишь более низкими концентрациями кремния и марганца, которые составляют 0,10–0,15% по сравнению с 0,30–0,80% в передельном чугуне [1].

Современные тенденции развития эффективного конвертерного передела предполагают тщательную подготовку чугуна к плавке, особенно с точки зрения содержания серы. Использование низкосернистого чугуна позволяет значительно снизить затраты на получение конвертерной стали при повышении выхода годного и качества заготовок в случае использования непрерывной разливки.

Сравнение чугуна процесса Ромелт с передельным чугуном по содержанию серы показывает, что они практически идентичны и для глу-

бокой десульфурации при внепечной подготовке чугуна к конвертерному переделу можно использовать традиционные технологические схемы обессеривания.

В настоящее время наиболее распространенными способами внепечной десульфурации чугуна на отечественных и зарубежных предприятиях являются технологические схемы, предусматривающие магниевую обработку расплава гранулированным магнием и магниевой проволокой. Оборудование, используемое для такого способа рафинирования, достаточно сложное, металлоемкое, а сами способы не предусматривают возможности работы в непрерывном режиме, что является достаточно важным для повышения эффективности процесса Ромелт.

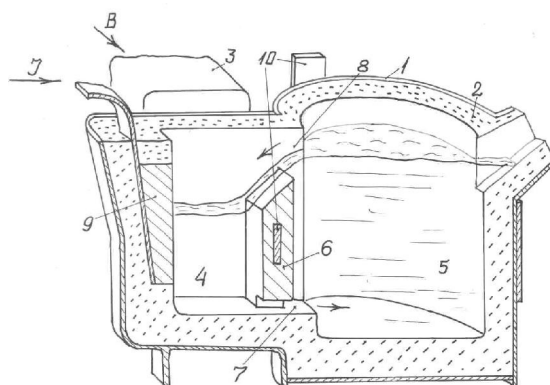
Многочисленные исследования и разработки сотрудников кафедры «Металлургии черных металлов» Донбасского государственного технического университета (г. Алчевск) в области электромагнитной обработки железоуглеродистых расплавов позволили установить основные закономерности их электромагнитного и электродугового рафинирования и легирования. Полученные теоретические и практические результаты позволили разработать реактор непрерывного действия для глубокого рафинирования чугуна, получаемого процессом Ромелт.

При разработке реактора были использованы теоретические положения электромагнитного погружения в расплав присадок, имеющих плотность меньшую, а электропроводность большую по сравнению с ним, которые были положены в основу проектирования различных установок по электромагнитному управлению гравитацией (ЭМУГ).

Предложенный электромагнитный реактор состоит из двух основных зон: активной и миксерной.

Размеры активной зоны должны быть минимально возможными как по ширине, так по длине и глубине. Вместе с тем в ней должно быть достаточно места для вводимой присадки десульфуратора и циркуляции вокруг нее обрабатываемого расплава. Кроме того, на каждом из боков по ширине нужно разместить минимально допустимой толщины слой футеровки и оставить место для металлоконструкции и постановочного зазора. В качестве основных десульфураторов в разработанной схеме рафинирования могут использоваться гранулированный и чушковый магний, магниевая проволока и различные магниевые лигатуры (например типа ЖКМ). Для ввода через активную зону чушек магния имеющих наибольший габарит из всех используемых материалов  $600 \times 140 \times 80$  мм, заполняемая полость имела размеры  $700 \times 200 \times 700$  мм. Во время работы уровень металла в активной зоне понижался, и глубина становилась около 500 мм. Работу активной зоны можно проследить по рисунку 1, на котором ковш-реактор изображен в продольном (вдоль направления тока) разрезе. Для сохранения в активной зоне достаточного коли-

чества расплава необходимо соблюдать определенные пропорции между площадями поперечного сечения нижнего 7 и верхнего 8 каналов, а именно:  $S_{НИЖН} : S_{ВЕРХН} = (0,2...0,25)$ . При уменьшении этого соотношения циркуляция расплава становится вялой. При чрезмерном увеличении из активной зоны через нижний канал может быть выдавлен весь расплав, через верхний он не успевает поступать обратно, возможен разрыв цепи тока, прекращение процесса и пироэффект, если идет работа с магнием. Электрод-перегородка 6 играет еще роль стопора для усваиваемой присадки. Устройство на рисунке 1 может работать и без электрода-перегородки 6. Циркуляция расплава при этом очень интенсивная, и присадка в активной зоне не удерживается, выносится в миксерную зону.



- 1 – корпус; 2 – футеровка; 3 – полюс; 4 – активная зона;  
 5 – миксерная зона; 6 – электрод-перегородка;  
 7, 8 – каналы; 9 – торцевой электрод; 10 – шины

Рисунок 1 – Реактор для ковшевого рафинирования чугуна  
 выплавленного в печи Ромелт

Установки такого типа успешно использовались для получения железокремнемагниевого лигатур, когда расплав ферросилиция насыщался магнием с использованием электромагнитного утяжеления. При вводе магния в чугун требуется значительно большая величина утяжеления, чем при вводе магния в ферросилиций. Но и самого магния при этом нужно меньше (1 – 2 кг/т против 80 – 100). Подавать его можно не целыми чушками, а кусками чушек магния или лигатуры, массой до 0,1 кг, гранулами, проволокой. При одной и той же индукции магнитного поля  $B$  и силе тока  $I$  ширину активной зоны можно делать меньше (например, 120 – 150 мм), соответственно увеличивается электромагнитное ускорение  $g_e$ . Толщина боковой кладки активной зоны составляет 65 мм. С учетом толщины асбеста, раствора, брони общий наружный раз-

мер активной зоны составит 380 мм, а ширина рабочего зазора между полюсными наконечниками составляет 400 мм. Поперечный размер изображенной на рисунке 1 активной зоны в свету между стенками ковша-реактора при этих условиях 360 мм, и выполнять кладку такого узкого и глубокого кармана неудобно.

С учетом отмеченного недостатка были внесены изменения в конструкцию узла активной зоны с полюсными наконечниками, как показано на рисунках 2 и 3.

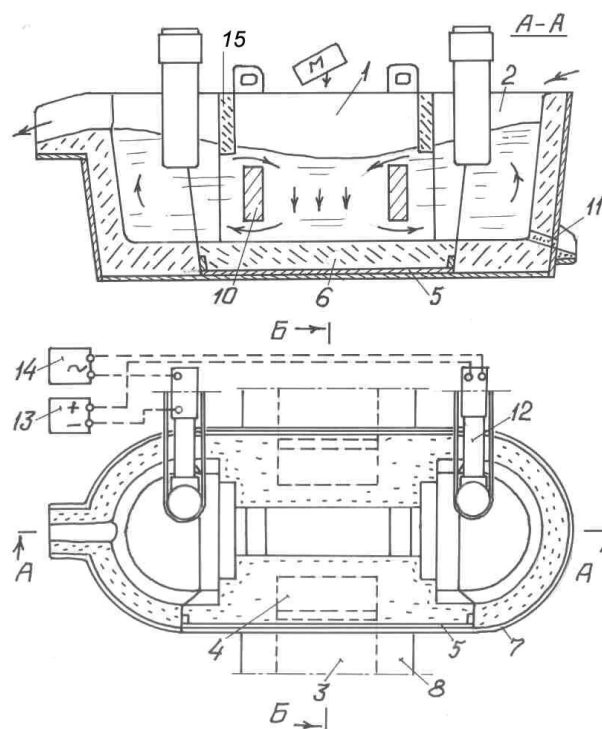


Рисунок 2 – Установка ЭМУГ непрерывного действия

- 1 – активная зона; 2 – миксерная зона; 3 – электромагнит;
- 4 – полюсный наконечник; 5 – внутренний слой корпуса;
- 6 – футеровка; 7 – наружный слоя корпуса; 8 – обмотка;
- 9 – ферромагнитный лист; 10 – перегородка со сквозным каналом;
- 11 – летка; 12 – токоподводящий электрод;
- 13 – источник постоянного тока;
- 14 – дополнительный источник переменного тока;
- 15 – шлаковая перегородка

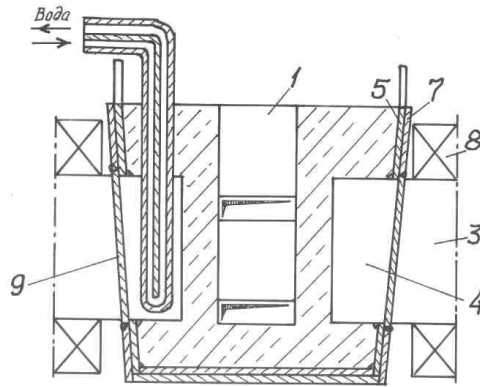


Рисунок 3 – Поперечный разрез активной зоны установки ЭМУГ непрерывного действия

- 1 – активная зона; 3 – полюс; 4 – наконечник;  
 5 – внутренний корпус; 7 – наружный корпус;  
 8 – обмотка; 9 – ферромагнитный лист

Ферромагнитные детали 4, 9 полюсных наконечников 3 вварены в неферромагнитную металлоконструкцию 5, 7 активной зоны 1. В этом случае удастся расширить сам карман металлоконструкции ковша-реактора 7 до удобного для работы размера, увеличить толщину кладки до безопасной в отношении прогара и на несколько десятков миллиметров уменьшить ширину рабочего зазора. Но при этом приходится охлаждать детали 4 полюсов во избежание их перегрева выше точки Кюри и потери ферромагнитных свойств. Охлаждение может быть воздушное (предпочтительнее) и водяное.

Второй недостаток конструкции по рисунку 2 – увеличение магнитного потока рассеяния из-за удлинения полюсных наконечников. Только конкретными измерениями в промышленных условиях или на полупромышленных установках можно установить, что эффективнее для сохранения величины  $B$ : уменьшать ширину зазора при удлинении полюсных наконечников или не делать ни того, ни другого.

Все изложенное относительно активной зоны позволяет утверждать, что ширина зазора между полюсами около 400 мм, а также размеры полости  $500 \div 700 \times 120 \div 200 \times 500 \div 700$  мм могут оставаться в этих пределах в установке ЭМУГ любого предназначения, периодического или непрерывного действия. Соответственно и источник электропитания для этих установок один и тот же.

Активная зона одна и та же для ковшей-реакторов любой емкости. Это является в некотором смысле преимуществом, потому что предпо-

лагает разработку и серийное производство источников электропитания установок ЭМУГ [3].

Кроме того, необходимо обратить внимание на малые габариты полости активной зоны в плане. Даже то мизерное количество пыли, которое образуется при обработке металлического расплава на установках типа ЭМУГ, от такой полости легко уловить и утилизировать с помощью достаточно простых устройств, а это позволяет добиться существенного улучшения экологической ситуации и условий работы обслуживающего персонала в сравнении с аналогичными устройствами и технологиями, используемыми в настоящее время в промышленности.

Представленная установка предназначена для работы в комплексе с печью Ромелт с целью рафинирования чугуна в потоке при его выдаче из печи в передаточный ковш для последующего передела в сталеплавильном агрегате. Рафинирование в установке осуществляется магниесодержащими материалами, расход магния предусматривается только на удаление серы, без дополнительных затрат на модифицирование, которое нецелесообразно для передельного чугуна.

Установка ЭМУГ содержит футерованную ванну (реактор), имеющую активную зону 1 и две миксерные емкости 2. Активная зона 1 размещена между полюсами электромагнита 3, а полюсные наконечники 4 введены в футеровку активной зоны 1 и выполнены охлаждаемыми. Внутренний слой 5 корпуса активной зоны вместе с футеровкой 6 выполнен с возможностью извлечения из наружного слоя 7. Корпус реактора сделан из неферромагнитной стали. Полюсы с обмоткой 8 прилегают вплотную к ферромагнитному листу 9 (рис. 3), сваренному в немагнитный наружный слой корпуса реактора. Перегородки 10 с каналами для перетекания расплава и шлаковые перегородки 15 разделяют активную 1 и миксерные 2 зоны. Летки 11 служат для слива остатков металла. Токоподвод к металлу выполнен двумя вертикально перемещаемыми электродами 12. Установка снабжена источником постоянного тока 13, подключенным к обмоткам электромагнита и электродам. Дополнительно имеется источник переменного тока 14, подключенный только на электроды.

Применение полюсных наконечников, введенных в футеровку активной зоны через прорези в немагнитной стенке корпуса, позволяет на 10 – 15 % уменьшить ширину рабочего зазора и на 15 – 20 % увеличить индукцию магнитного поля, а следовательно, электромагнитное ускорение при одинаковой силе тока в рабочем контуре.

При нагреве концов полюсов в футеровке ухудшается их магнитная проницаемость, и для сохранения величины магнитной индукции в активной зоне наконечники выполнены охлаждаемыми.

При непрерывном вводе в чугуны магнийсодержащих материалов постоянный ток подведен к электродам с такой полярностью, чтобы в активной зоне 1 происходило электромагнитное утяжеление расплава. Движение металла в ванне установки при этом такое, как показано стрелками на рисунке 2. В правую миксерную зону непрерывно поступает чугун из печи Ромелт. Из левой миксерной зоны чугун с такой же скоростью отбирают. В активную зону 1 непрерывно подают магнийсодержащий материал в виде кусков, проволоки или гранул из расчета около 1 кг магния на 1 т пропускаемого чугуна.

Кроме того, в установке возможна непрерывная десульфурация чугуна карбидом кальция, который непрерывно подают в активную зону 1. Полярность подключения постоянного тока при этом такая, что в активной зоне создается электромагнитное облегчение. Электропроводность у карбида кальция на порядок меньше, чем у чугуна, он почти не облегчается и, погружаясь в чугун, хорошо с ним смешивается и взаимодействует. Движение расплава при этом противоположно показанному на рисунке 2.

При необходимости, для компенсации тепловых потерь, а также для дополнительного нагрева расплава в проточном реакторе электроды поднимают из расплава и вводят ток через столб плазмы, образованный электрической дугой между электродом и расплавом. Выделение тепла в ванне при наличии дуг увеличивается на два порядка, происходит дуговой нагрев металла, интенсифицируется его рафинирование.

Ввод тока через дугу применяют также в том случае, если хотят избежать науглероживания расплава от электродов.

Дополнительный источник переменного тока 14 используют для интенсификации металлургических процессов в активной зоне. На электрическое поле постоянного тока накладывают поле переменного тока с силой 5-50 % от величины постоянного тока. Такая обстановка заставляет присадку колебаться относительно расплава, потому что она становится «то легче, то тяжелее».

На поверхности металла в активной зоне создают шлаковый покров из активных флюсов – флюорита, криолита, соды, силикатной глыбы и т. д. Шлаковые перегородки 15 препятствуют выносу шлака из активной зоны, а циркуляция расплава создает условия для активной металлургической обработки. Малые габариты активной зоны и всей ванны облегчают эвакуацию аспирационных выделений через вытяжной зонтик. Немаловажным преимуществом ЭМУГ является ее высокая ремонтпригодность. В случае необходимости можно быстро заменить всю ванну или активную зону установки.

*Предложена конструкция электромагнитного реактора для десульфурации чугуна процесса Ромелт в процессе его подготовки к выплавке стали.*

*The construction of electromagnetic reactor is offered for delete sulfur of cast-iron of process of Romelt in the process of his preparation to smelting became.*

### **Библиографический список**

- 1. Процесс Ромелт/Под ред. В.А. Роменца. – М.: МИСиС, Издательский дом «Руда и Металлы», 2005. – 400 с.*
- 2. Установка для обработки расплавов: А. с. 1478610*
- 3. Гольстрем В. А. и др. Справочник энергетика промышленных предприятий. / В. А. Гольстрем, А.С. Иваненко. – К.: Техника, 1977. – 463 с.*

*Рекомендовано к печати д.т.н., проф. Петрушовым С.Н.*