

*Ассистент Эссельбах В. С.  
Канд. техн. наук, доцент Эссельбах С. Б.  
Канд. техн. наук, доцент Куберский С. В.  
Канд. техн. наук, профессор Дорофеев В.Н.  
Канд. техн. наук, доцент Семирягин С.В.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБРАБОТКИ РАСПЛАВОВ

*Наведені результати досліджень магнієвої обробки переробного чавуну з використанням електромагнітних впливів. Встановлено фракційний склад десульфуратора і витрати основних матеріалів. Розроблена конструкція установки та технологія десульфурзації чавуну.*

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Высокое качество металлопродукции в значительной степени обеспечивается внепечной подготовкой сырьевых материалов и внеагрегатной обработкой чугуна и стали.

Одной из основных технологических операций способствующих повышению качества стали является внепечная десульфурация передельного чугуна. Обеспечение низкого содержания серы в передельном чугуне способствует снижению расхода сырья, топлива, длительности плавки, а также повышению выхода годного и качественных показателей металлопродукции.

**Анализ исследований и публикаций.** В настоящее время в отечественной и зарубежной практике наиболее распространенным десульфуратором чугуна является магний. Использование для обработки гранулированного магния и в виде порошковой проволоки позволяет провести довольно эффективную десульфурацию, однако резервом повышения эффективности является снижение расхода магнийсодержащего материала, увеличение степени десульфурации, упрощение технологической схемы обработки и используемого оборудования. В последние годы разрабатываются новые способы магниевой обработки из которых необходимо выделить разработки НМетАУ и ДонГТУ использующие глубинное восстановление магния и электромагнитные воздействия на обрабатываемый чугун. Несмотря на перспективность данных технологических схем, требуются дополнительные исследования для их дальнейшего совершенствования.

**Постановка задачи.** Основной задачей предложенной работы было усовершенствование технологических параметров магниевого об-работки чугуна с использованием электромагнитных воздействий на него в процессе десульфурации.

**Изложение материала и его результаты.** На основании ранее проведенных теоретических и экспериментальных теплотехнических исследований было установлено, что для параметров лабораторной установки по электромагнитной обработке расплавов созданной в условиях кафедры «Металлургии черных металлов» ДонГТУ время подготовительных операции не должно превышать 40 с, а общее время обработки чугуна (при первоначальной температуре ковша 300 – 400 °С и чугуна 1400 – 1450 °С) составляет от 3 до 7 мин.

Кроме теплотехнических характеристик процесса, важное значение имеют газодинамика и массообмен которые должны быть исследованы при разработке технологии ввода магния в утяжеленный электромагнитным способом поток чугуна, нисходящий в активной зоне ковша-реактора.

Важным вопросом обработки является управление процессом парообразования. Необходимо учитывать, что испарение магния может быть контролируемым в том случае, если подавать его равномерно в течение времени обработки в виде частиц, при испарении которых образуются пузыри, не превышающие ширину активной зоны (30 мм). Влияние размера частицы магния на процессы ее нагрева и испарения, а также параметры образующегося из нее пузыря приведены на рисунке 1 и в таблице 1.

Из таблицы 1 и рисунка 1 следует, что частицы применяемого для электромагнитной обработки магния должны быть фракции 2 мм. В этом случае испарение магния не вызывает выбросов чугуна из активной зоны.

Часть испаряющегося из частицы магния расходуется на взаимодействие с компонентами чугуна и на растворение в расплаве. Наиболее желательно иметь гранулы магния 1 – 2 мм, в этом случае размер пузырей не будет превышать 30 мм. Время испарения частицы должно быть больше, чем время получения электрического контакта частицы с расплавом, чтобы электромагнитное утяжеление частицы произошло. По этой причине применение гранул меньше 0,5 мм нежелательно. Часть магния, который испарился, но не усвоился чугуном, уходит в газовую фазу над металлом активной зоны. Его нужно вернуть в конденсированную фазу если не полностью, то хотя бы частично. Для этого на поверхности металла активной зоны должен быть слой твердого или жидкого вещества, способного поглотить пар магния. Это может быть фторидный шлак (например, криолит), ферросилиций или их смесь.

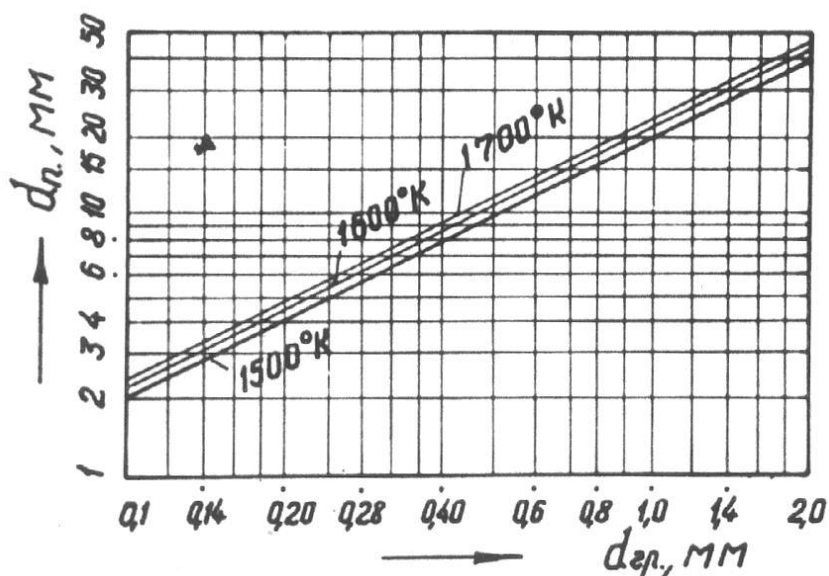


Рисунок 1 — Время прогрева и испарения частиц магния

Таблица 1 — Влияние размера гранул магния на время прогрева и испарения, а также размеры образующихся пузырей.

Размер гранул магния, мм	0,3	0,4	0,5	1,0	2,0
Время прогрева частицы $\tau_{np}$ , с	0,002	0,003	0,004	0,006	0,012
Время испарения частицы, с	0,13	0,18	0,22	0,45	0,9
Размер образующегося пузыря, мм	8	9	12	22	40

Таким образом, на 30 кг обрабатываемого в реакторе чугуна за 3 – 7 минут требуется ввести равномерно 30 – 50 г магния в гранулах, 100 – 150 г дробленого ферросилиция и 30 – 50 г криолита. Криолит способствует освобождению поверхности гранул магния от пассивных пленок и облегчению их электрического контакта с окружающим веществом. Часть улетающих паров магния, абсорбированных криолитом и ферросилицием, остается в системе и продолжает участвовать во взаимодействии с циркулирующим через активную зону чугуном. Увлечение потоком чугуна, нисходящим в активной зоне, криолита и ферросилиция с поверхности ослаблено утяжелением чугуна. Увлечение частиц магния тем самым утяжелением усилено.

При выбранном способе обработки каждый килограмм чугуна, заполняющего ковш-реактор, проходит через активную зону в среднем 2

раза и находится в контакте с поданными реагентами 3 – 4 минуты, т.е. практически на протяжении всего времени циркуляции расплава.

Усвоение чугуном частиц ферросилиция экзотермично, что иллюстрируется рисунком 2. Тепловые эффекты рассчитаны по температурным рядам теплоемкости. Частица ферросилиция, получив контакт с жидким чугуном, прогревается докрасна. Затем на границе контакта появляется ослепительно белая кромка, которая увеличивается и быстро занимает всю частицу. Время усвоения частиц ферросилиция определяли визуально.

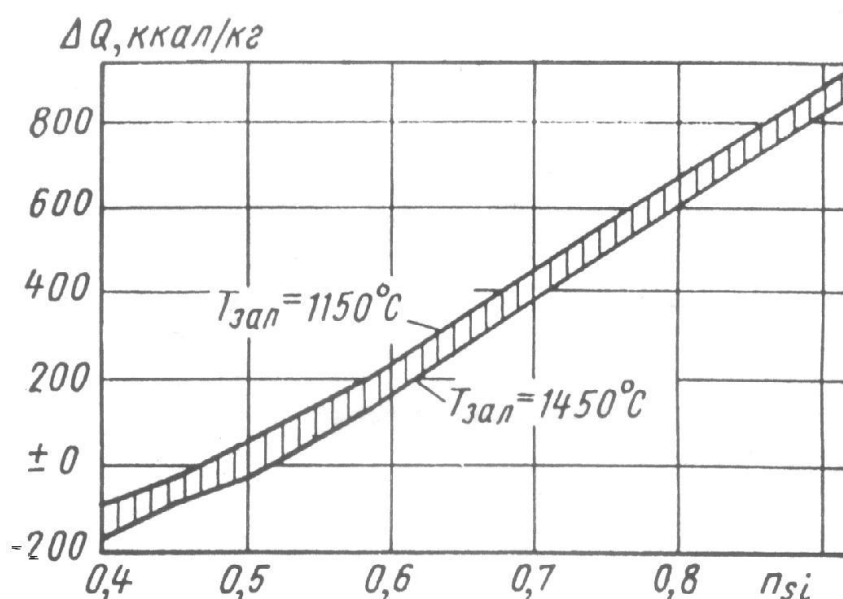


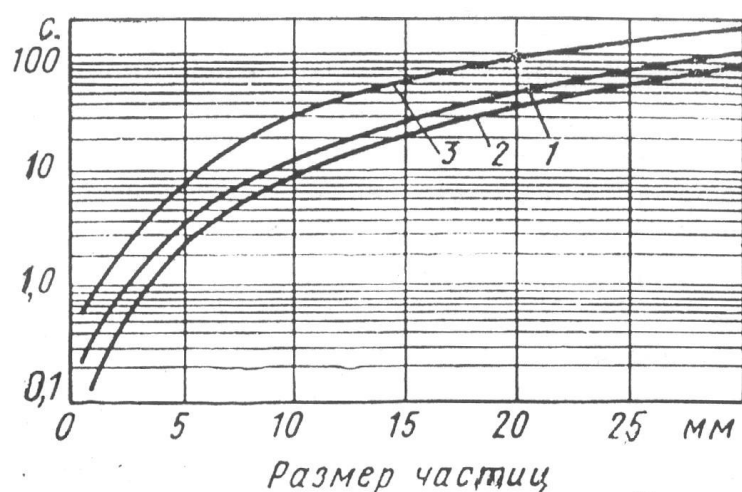
Рисунок 2 — Тепловые эффекты усвоения ферросилиция чугуном

По сравнению с твердым состоянием, электропроводность «побелевшей» расплавленной частицы возрастает на 1 – 2 порядка [1] и становится чуть больше, чем у чугуна. Электромагнитное утяжеление способствует усвоению расплавившихся частиц, но препятствует вовлечению в поток еще твердых частиц. Время усвоения чугуном отдельных кусочков ферросилиция показано на рисунке 3.

Это время одного порядка с испарением частиц магния (рис. 2). Так что размеры зерен ферросилиция, подаваемого в расплав совместно с магнием и криолитом, должны быть примерно такие же, как и у частиц магния. Однородный по фракционному составу вид присадки облегчает ее подачу в активную зону ковша-реактора. Вводимый с магнием ферросилиций служит также как графитизирующий модификатор и корректирующая добавка к химическому составу чугуна.

С учетом тепло-массообменных параметров процесса была разработана установка для электромагнитной обработки расплавов (рис.4),

которая может использоваться не только в лабораторных но и в промышленных условиях.

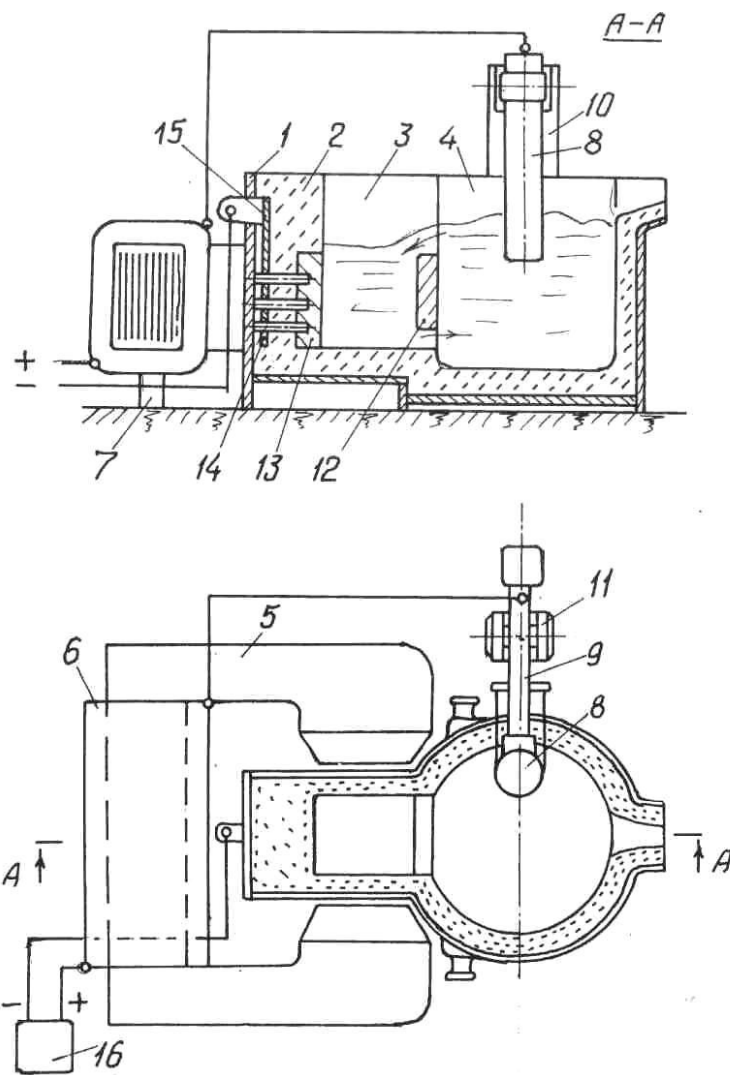


1 – ФС75; 2 – ФС90; 3 – лигатура  $Si-Ca-Ba$

Рисунок 3 — Время усвоения частиц чугуном при 1350 °С

Ковш-реактор установки содержит неферромагнитный корпус 1, футеровка 2 активной зоны 3 и миксерной зоны 4 шамотная плюс асбест. Стенка торца активной зоны 3 выполнена теплоизолирующей и токопроводящей. Такие несовместимые свойства ей приданы за счёт того, что стенка состоит из графитированной плиты 13, медной шины 15, плита и шина электрически соединены жаропрочными шпильками 14, а пространство между шпильками заполнено кварцитом с добавкой борной кислоты. Ток от плиты 13 к шине 15 свободно проходит по шпилькам 14. В резьбах обеспечивается надёжный электрический контакт. Передача тепла от плиты 13 к шине 15 затруднена, потому что площадь поперечного сечения всех шпилек 4-5 % от тепловоспринимающей поверхности плиты 13, и тепло уходит фактически только по шпилькам 14.

Электромагнит установки имеет С-образный магнитопровод 5 с обмотками 6 на тыльной стороне. С точки зрения индукции В, это не выгодно, но конструктивно вынужденно. Магнит размещён на опорах 7. На границе активной 3 и миксерной 4 зон ковша-реактора размещена перегородка 12 с каналами для перетекания расплава. Перегородку делали графитовой, графито-шамотной и шамотной. Лучше работает графитовая, циркуляция интенсивнее. При шамотной перегородке циркуляция вялая, влияет пережим пинчем и утяжеление металла в верхнем канале. Графито-шамотная перегородка наиболее приемлема: она выполняется из плит стандартных размеров, обладает электропроводностью и не препятствует циркуляции расплава.



- 1 – корпус, 2 – футеровка, 3 – активная зона,  
 4 – миксерная зона, 5 – магнитопровод, 6 – катушки,  
 7 – опоры, 8 – электрод, 9 – электрододержатель,  
 10 – стойка, 11 – подшипник, 12 – перегородка,  
 13 – графитовая плита, 14 – жаропрочные шпильки,  
 15 – шина, 16 – источник тока.

Рисунок 4 — Установка для электромагнитной обработки распла-  
 вов.

Ток на перегородку 12 и далее в активную зону 3 подводится че-  
 рез металл миксерной зоны 4 погружаемым графитированным электро-  
 дом 8. Электрод 8 прижат к медной головке, приваренной на шинную  
 проводку, смонтированную на поворотную конструкцию 9. Прижим  
 выполнен в виде ленты из стали 1X18Н9Т, прижим резьбовой, подпру-  
 жиненный.

При постановке ковша-реактора на рабочую позицию, как показано на рис. 4, производится его подключение в цепь рабочего контура пневматическими зажимами на шины 9 и 15 (зажимы на рис. 4 не показаны).

Поворотная конструкция с шиной 9 (электрододержатель) размещена своими цапфами в глухих подшипниках 11 с текстолитовыми вкладышами на стойке 10. По стойке 10 выполнен подвод тока шинами, изолированными от металлоконструкции асбестовым картоном и закреплёнными болтами с изоляционными втулками. Таким образом, весь участок токоподвода от вывода «плюс» источника тока 16 до электрода 8 электрически изолирован от металлоконструкций цеха и установки. Пневмозажим, подсоединяющий шину 9 на электрододержателе к шинопроводу, размещённому на стойке 10, включают, когда электрододержатель 9 с электродом 8 повернут в горизонтальное положение и конец электрода погружён в расплав миксерной зоны 4.

Работа установки по электромагнитной обработке расплава заключается в следующем.

Устанавливают на специальный стенд прогретый ковш-реактор. Подают жидкий расплав и наливают его в ковш-реактор до заданного уровня. Ковш-реактор переводят в рабочую позицию активной зоной в зазор электромагнита, как показано на рис. 4. Поворачивают электрододержатель 9 в горизонтальное положение и погружают электрод 8 в расплав. Подключают пневмозажимами электроды 8 и 13 в цепь рабочего тока установки. Включают подачу тока от выпрямителя 16 и плавно доводят его величину до заданной. В ковше-реакторе происходит циркуляция расплава, как показано стрелками на рис. 4. По лотку подают магний. Магний попадает в активную зону. При использовании чушкового магния через 1 – 2 с чушка начинает постепенно погружаться вглубь металла активной зоны. Когда чушка магния скрывается под уровень металла, подают следующую. Весь цикл продолжается около 20 с в зависимости от количества использованного магния. Пироэффекта и выбросов нет. После ввода всего магния выключают подачу тока. Отключают пневмозажимы ковша. Поднимают электрододержатель с электродом из миксерной зоны.

Таким образом, проведенная работа позволила определить фракционный состав и расход десульфуратора, необходимые добавочные материалы, уточнить конструкцию установки для магниевой обработки чугуна и ее технологические параметры. В дальнейшем необходимо проведение опытных плавок на лабораторной установке по десульфурации передельного чугуна с целью уточнения параметров обработки и ее оптимизации.

*Приведены результаты исследований магниевой обработки переплавленного чугуна с использованием электромагнитных воздействий. Определен фракционный состав десульфуратора и расход основных материалов. Разработана конструкция установки и технология десульфурации чугуна.*

*The research results of magnesium treatment of pig-iron using the electromagnetic effect are presented. It was determined the fractional content of desulfurizing agent and consumption of main products. It was developed the design of installation and technology of desulfurization of iron.*

**Библиографический список.**

1. Ватолин Н.А. и др. Исследование электросопротивления расплавов на основе кальция, кремния и магния. Сб. Свойства расплавленных металлов, М. Наука, 1974.