

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки
ИНСТИТУТ МЕТАЛЛУРГИИ
И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ
им.А.А. Байкова
Российской академии наук
(ИМЕТ РАН)

119334, Москва, Ленинский пр., 49
Тел. (499) 135-20-60, факс: 135-86-80
E-mail: imet@imet.ac.ru <http://www.imet.ac.ru>
ОКПО 02698772, ОГРН 1027700298702
ИНН/КПП 7736045483/773601001

03.10.2019 г. № 12202 - 2115/ДС-05

На № _____

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИМЕТ РАН
чл.-корр. В.С. Комлев

« 03 » 10 2019 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Коростелева Алексея Александровича «Исследование влияния горячебрикетированного железа в металлошихте на технологические показатели плавки с целью повышения эффективности производства стали в дуговой сталеплавильной печи», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 - «Металлургия черных, цветных и редких металлов».

При производстве полупродукта в дуговой сталеплавильной печи (ДСП) традиционно используют металлический лом различных категорий и переделный чугуны. Для получения высококачественных сталей, чистых по вредным примесям, плавку могут вести с добавлением металлизированного сырья в виде окатышей или брикетов.

Актуальность темы диссертации заключается в том, что использование горячебрикетированного железа (ГБЖ) в металлошихте сопровождается изменением энерготехнологических показателей плавки, в том числе и стойкости футеровки печи. Причем влияние ГБЖ на разных металлургических предприятиях проявляется по-разному. Все это зависит от ряда факторов: конструкции ДСП, энерготехнологических режимов, характеристик ГБЖ, способа загрузки его в печь и других. В этой связи диссертационная работа Коростелева Алексея Александровича представляет научный и практический интерес, так как отражает результаты анализа влияния ГБЖ на технологические показатели плавки в условиях промышленных ДСП-150.

Цель диссертационной работы заключалась в исследовании влияния добавки ГБЖ в металлошихту на технологические показатели плавки и стойкость футеровки ДСП повышенной вместимости, работающей на твердой завалке и имеющей порционную загрузку шихты с целью повышения эффективности производства стали.

Для достижения поставленной цели были поставлены и решены следующие основные задачи:

1. Изучен механизм плавления металлошихты, содержащей более 20 % ГБЖ. Показано, что при порционной загрузке наиболее рациональная доля ГБЖ определенного состава на уровне 25%. Увеличение доли ГБЖ в металлошихте более 25-30% при завалке корзиной вместе с ломом приводит к образованию в жидкой ванне крупных конгломератов, представляющих собой нерасплавившиеся глыбы, состоящие из компонентов завалки - ГБЖ, лома, кокса, извести и имеющие оплавленную корочку на поверхности.

2. На примере ДСП-150 показано, что при увеличении доли ГБЖ увеличивается содержание MgO в шлаке, поступающего из периклазоуглеродистой футеровки, что свидетельствует о повышенном ее износе. Установленная зависимость, показывающая

приращение MgO в шлаке при увеличении доли ГБЖ, позволяет прогнозировать стойкость футеровки в зависимости от доли ГБЖ в шихте и планировать проведение ремонта футеровки ДСП.

3. Анализ плавов показал, что увеличение добавки ГБЖ приводит к ухудшению основных энерготехнологических показателей плавки, а также к повышению расхода шлакообразующих материалов в ДСП-150. Это обусловлено наличием оксидов железа в ГБЖ, для восстановления которых углеродом необходимы тепловые затраты. Наличие пустой породы в брикетах увеличивает количество шлака в печи и снижает коэффициент теплопроводности шихты, что также отражается на расходе электроэнергии.

Предложена методика оценки распределения примесей цветных металлов в полупродукте в зависимости от доли ГБЖ в шихте с использованием функции нормального распределения примесей в исходных сырьевых материалах. Использование данной методики позволит прогнозировать риски, связанные с отклонением химического состава стали по примесям цветных металлов при производстве полупродукта.

4. Исследовано влияние ГБЖ на состав шлака в печи и разработаны мероприятия по повышению эффективности производства стали в ДСП-150, включая увеличение стойкости футеровки. Предложены рекомендации по отдаче огнеупорных материалов (магнезиальная подварочная масса, торкрет-масса) для обслуживания футеровки печи с целью поддержания плановой стойкости футеровки печи в условиях использования ГБЖ. Даны рекомендации по отдаче извести и магнезиального флюса для оптимального ведения шлакового режима.

5. Рассмотрены различные способы распределения ГБЖ в завалочной бадье совместно с ломом при загрузке шихты в ДСП. Показано, что оптимальным вариантом загрузки ГБЖ является его послойная отдача совместно с металлическим ломом. Такой способ подачи ГБЖ позволяет избежать образования больших тугоплавких конгломератов в ванне ДСП, состоящих преимущественно из ГБЖ, избежать образования крупных настывлей на стенах футеровки и водоохлаждаемых панелях печи, а также предотвратить локальные перегревы рабочего слоя футеровки. В то же время взаимное расположение ГБЖ и лома в печи может позволить искусственное создание гарнисажного слоя и защитить футеровку печи, повысить ее стойкость и снизить расход огнеупорных материалов для ее обслуживания.

6. Предложена методика оценки затрат на производство полупродукта с учетом замены традиционно используемой шихты (металлический лом и передельный чугун) на ГБЖ в различном объеме включая оценку изменения затрат на энергоресурсы и вспомогательные материалы.

Структура и содержание работы.

Во введении диссертационной работы обоснована актуальность темы, обозначены цель и задачи исследования, сформулированы научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе представлен аналитический обзор литературы по тематике исследования. Показаны технологические приемы повышения эффективности производства стали в ДСП. Отмечена роль ГБЖ при производстве стали, основные преимущества и недостатки при использовании металлизированного сырья, в частности ГБЖ. Приводится влияние металлизированного сырья на стойкость футеровки ДСП. Сформулированы задачи исследования диссертационной работы.

Во второй главе представлена методика исследования технологии выплавки стали в ДСП на примере схемы ДСП-150 ПАО «ТАГМЕТ». Представлены основные характеристики печи и требования к производимому полупродукту. Показана типовая технологическая схема загрузки ГБЖ совместно с металлическим ломом и типовой режим ведения плавки. Указаны технологические параметры, контроль которых проводили при анализе плавов на АО «ВТЗ» и ПАО «ТАГМЕТ». Анализ температуры металла, а также проб металла и шлака проводили на действующем оборудовании в условиях указанных предприятий.

В третьей главе приведены данные анализа влияния добавки ГБЖ на технологические показатели плавки в ДСП-150 - расход энергоресурсов, содержание примесей в полупродукте, исследован механизм плавления металлошихты, содержащей ГБЖ, рассмотрены различные способы порционной загрузки ГБЖ в печь. При изучении механизма плавления металлошихты, содержащей в своем составе более 25-30% ГБЖ обнаружено, что в жидкой ванне образуется тугоплавкий конгломерат, представляющий собой непроплавившуюся часть ГБЖ, лома и шлакообразующих, обладающий пониженной скоростью плавления. Механизм образования конгломерата заключается в первоначальном расплавлении ГБЖ с образованием на поверхности конгломерата тугоплавкой корочки, представляющую собой оксидный раствор с высокой основностью, обладающий повышенной пористостью и пониженной теплопроводностью, имеющий повышенную температуру плавления, что значительно снижает скорость проплавления шихты. Это приводит к тому, что перед выпуском полупродукта конгломерат остается в печи нерасплавленным.

В четвертой главе представлен анализ износа футеровки и изменения состава шлака при разной доле ГБЖ в шихте, предложены рекомендации по ведению шлакового режима. При оценке состояния рабочего слоя футеровки в процессе эксплуатации ДСП-150 отмечено, что использование добавки ГБЖ в металлошихте отрицательно отражается на стойкости футеровки печи. Это обусловлено изменением количества и состава шлака, а также энергетических показателей плавки. Наличие оксидов железа в ГБЖ оказывает значительное влияние на окисленность металла и шлака и требует дополнительных энергетических затрат для восстановления железа. В связи с этим появляется необходимость повышения расхода электрической энергии. Наличие пустой породы в ГБЖ приводит к повышенному количеству образующегося шлака в печи, что также отражается на расходе электроэнергии и влияет на стойкость магнезиальной футеровки ДСП.

Пятая глава посвящена оценке экономической целесообразности использования ГБЖ при замене им передельного чугуна и дорогостоящего вида лома при производстве полупродукта в ДСП-150 с учетом изменения технологических показателей плавки. Предложена методика оценки затрат на производство полупродукта с учетом замены традиционно используемой шихты (металлический лом и передельный чугун) на ГБЖ в различном объеме включая оценку изменения затрат на энергоресурсы и вспомогательные материалы. Экономический эффект при использовании ГБЖ достигается за счет замены им дорогостоящего вида сырья. При замене в металлошихте дорогостоящего передельного чугуна на ГБЖ затраты на производство полупродукта снижаются. При анализе типовой технологической схемы производства максимальный экономический эффект от добавки ГБЖ находится при доле ГБЖ, составляющей 20 %. Учитывая влияние ГБЖ на технологические показатели плавки – расход электроэнергии, электродов, огнеупорных и шлакообразующих материалов, выход годного, затраты на производство полупродукта возрастают, и при увеличении доли ГБЖ более 33% превышают затраты на производство полупродукта с использованием традиционно применяемой металлошихты. Даны рекомендации по расходу огнеупорных и шлакообразующих материалов для обслуживания печи с целью поддержания ее заданной стойкости.

В результате проведенных исследований автором диссертационной работы Коростелевым А.А. получены и сформулированы **новые научные результаты**:

1. Установлено, что при включении в металлошихту, содержащую в качестве основного компонента металлический лом, более 25-30% брикетов железа прямого восстановления, сконцентрированных в локальных зонах, образуется конгломерат, состоящий из непроплавившейся шихты (брикеты, лом, известь, кокс), заключенной в тугоплавкую пористую твердую корочку. Механизм образования корочки заключается в частичном расплавлении ГБЖ с образованием пористого оксидного твердого раствора с повышенной основностью и пониженной теплопроводностью. В связи с чем в целом конгломерат обладает низкой скоростью проплавления из-за низкой плотности и пониженной теплопроводности.

2. Установлено влияние доли ГБЖ на окисленность системы (металла и шлака) и получена количественная зависимость между конечным содержанием углерода в полупродукте и долей ГБЖ в металлошихте при одинаковой длительности периода расплавления, совмещенного с окислительным. Увеличение доли ГБЖ приводит к повышению окисленности металла и шлака, что обуславливает снижение углерода в металле.

3. Показано, что при доле ГБЖ в шихте на уровне 10-20 % при отдаче его по периферии ванны печи на футеровке происходит образование защитного гарнисажного слоя повышенной толщины, состоящего из непроплавившегося ГБЖ в смеси с нерастворившимися известью, коксом и ломом.

4. Установлено, что на неравномерный износ футеровки и образование гарнисажа влияет изменение основности и окисленности шлака, а также увеличение его количества, вызванное наличием значительного содержания в металлошихте пустой породы и оксидов железа.

5. Показано, что снижение стойкости футеровки печи при увеличении доли ГБЖ связано с ростом тепловой нагрузки, вызванной увеличением количества шлака, а также с повышением его окисленности и снижением основности.

Практическая значимость представленной диссертационной работы заключается в следующем:

1. Предложена схема распределения металлошихты, состоящей из ГБЖ и металлического лома в завалочной корзине, которая позволяет снизить или устранить эффект образования массивных тугоплавких конгломератов, так как локально расплавившееся ГБЖ с образованием большей доли жидкой ванны стимулирует процесс растворения и проплавления лома. Показано, что наиболее рациональной является послойная загрузка ГБЖ в корзину совместно с ломом, при этом доля ГБЖ не должна превышать 25-30 %.

2. Предложена методика оценки затрат на производство полупродукта с учетом замены традиционно используемой шихты (металлический лом и передельный чугун) на ГБЖ в различном объеме включая оценку изменения затрат на энергоресурсы и вспомогательные материалы.

3. Разработаны рекомендации по усовершенствованию режима отдачи шлакообразующих и огнеупорных материалов с целью поддержания заданной стойкости футеровки ДСП-150. Отмечено, что использование защитного гарнисажа позволит увеличить срок службы футеровки и повысить технико-экономические показатели плавки.

4. Рекомендации, направленные на повышение стойкости футеровки печи и оптимизации шлакового режима были опробованы при выплавке полупродукта в ДСП-150 в условиях АО «ВТЗ» и ПАО «ТАГМЕТ», что подтверждено актами. Данные рекомендации показали положительный эффект и применяются в настоящее время. Разработанные рекомендации могут быть использованы при выплавке полупродукта на других электропечах, использующих добавку ГБЖ и имеющих порционную загрузку твердой шихты.

Используемый массив данных промышленных плавов (более 100 плавов по каждому предприятию - АО «ВТЗ» и ПАО «ТАГМЕТ») позволяет обоснованно судить о **достоверности полученных результатов** и сделанных на их основе выводах. Анализ экспериментальных данных при проведении промышленных плавов с использованием ГБЖ подтверждает их соответствие расчетным показателям. Температуру металла, химический анализ металла и шлака, расходы материалов и другие показатели определяли на действующем на период проведения анализируемых плавов современном оборудовании металлургических предприятий АО «ВТЗ» и ПАО «ТАГМЕТ».

Личный вклад автора заключается в непосредственном участии автора в получении экспериментальных данных и проведении плавов с использованием ГБЖ в шихте, теоретическом анализе влияния доли ГБЖ на показатели плавки и подготовке публикаций по данной работе.

Автореферат отражает содержание диссертации. Основные результаты, положения и выводы диссертации изложены в приведенных публикациях и соответствуют содержанию диссертации.

По диссертационной работе имеются следующие замечания:

1) Не достаточно внимания в работе уделено способу изготовления брикетов ГБЖ, энергетическим затратам при их производстве. Отсутствуют рекомендации по фракционному составу ГБЖ.

2) Важным показателем при эксплуатации промышленных ДСП является расход электроэнергии, который, как и другие показатели, увеличивается при повышении доли ГБЖ. В связи с этим не совсем видно из автореферата за счет чего получается экономический эффект от внедрения данного материала.

3) Из работы не совсем понятно как растет качество металла при применении ГБЖ. Хотелось бы видеть сравнение на конкретных марках стали.

Заключение

Высказанные замечания представляют уточняющий, дополняющий и дискуссионный характер, не несут принципиального мнения против защищаемых положений и не оказывают негативного влияния на научную и практическую значимость полученных результатов.

Диссертация представляет собой завершенную научно-квалификационную работу на актуальную тему, выполненная автором на высоком научном и методическом уровне. Результаты, полученные диссертантом и изложенные в работе, обладают научной новизной и практической значимостью.

Изложенные автором результаты исследования, полученные при выплавке полупродукта в дуговой сталеплавильной печи, можно рекомендовать к использованию и на других металлургических предприятиях, таких как ПАО «Северсталь», ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат», АО «Оскольский электрометаллургический комбинат», АО «Уральская сталь» и другие.

Диссертационная работа соответствует требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском технологическом университете «МИСиС», а ее автор Коростелев Алексей Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 - «Металлургия черных, цветных и редких металлов».

Доклад по диссертационной работе заслушан и одобрен на расширенном заседании секции «Физико-химические основы металлургии».

Зам. председателя секции
«Физико-химические
основы металлургии», д.т.н.



В.Я. Дашевский

Ученый секретарь секции
диссертационного совета
Д002.060.03, к.т.н.



Т.Н. Ветчинкина

Подписи д.т.н. Дашевского В.Я. и к.т.н. Ветчинкиной Т.Н. удостоверяю:

Ученый секретарь ИМЕТ РАН,
к.т.н.



Фомина О.Н.

