

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ЭКСПЕРТНОЙ КОМИССИИ

по защите диссертации Тереховой Анастасии Юрьевны на тему «Исследование и совершенствование конструкции и работы печей с барботажным слоем для жидкофазного восстановления железа», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.2 – «Металлургия черных, цветных и редких металлов» и состоявшейся в НИТУ «МИСиС» 13 октября 2022 г.

Диссертация принята к защите Диссертационным советом НИТУ «МИСиС» 27 июня 2022 г., протокол № 3.

Диссертация выполнена на кафедре «Энергоэффективные и ресурсосберегающие промышленные технологии» и в Инновационном научно-учебном центре «Ромелт» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Министерство науки и высшего образования РФ.

Научный руководитель – Петелин Александр Львович, д.ф.-м.н., профессор, профессор кафедры «Энергоэффективные и ресурсосберегающие промышленные технологии» НИТУ «МИСиС».

Научный консультант – Сборщиков Глеб Семенович, д.т.н., профессор, научный руководитель ООО «Тепломаш».

Экспертная комиссия утверждена Диссертационным советом НИТУ «МИСиС» (протокол № 3 от 27 июня 2022 г.) в составе:

1. Павлов Александр Васильевич – д.т.н., профессор, профессор кафедры металлургии стали, новых производственных технологий и защиты металлов;
2. Кожухов Алексей Александрович – д.т.н., доцент, заведующий кафедрой металлургии и металловедения им. С.П. Угаровой Старооскольского технологического института им. А.А. Угарова;
3. Бухмиров Вячеслав Викторович – д.т.н., профессор, профессор кафедры теоретических основ теплотехники Ивановского государственного энергетического университета имени В.И. Ленина;
4. Харченко Александр Сергеевич – д.т.н., доцент, заведующий кафедрой металлургии и химических технологий Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова;
5. Дуб Владимир Семенович – д.т.н., профессор, научный руководитель Института металлургии и машиностроения Государственный научный центр РФ АО «НПО «ЦНИИТМАШ».

В качестве ведущей организации утвержден Государственный научный центр Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт черной металлургии им. И.П. Бардина».

Экспертная комиссия отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- разработана методика цифрового исследования технологического процесса жидкофазного восстановления железа. Методика предполагает выбор базового образца, для которого известны данные промышленной или опытно-промышленной эксплуатации в необходимом для проведения работы количестве; деление базового объекта на зоны исследования; составление математического описания для каждой из выделенных зон,

сформулированных условий однозначности, в которые входят величины из исходных данных по эксплуатации базового образца.

- предложен теплофизический расчет процессов в надслоевом пространстве печи с барботажным слоем, включающий в себя расчет количества и размера брызг, образующихся при выходе технологических газов из барботажного слоя. В данном расчете были определены высота зоны сепарации, средний размер брызг возвращаемого уноса, время пребывания брызг в зоне сепарации, масса возвращаемого уноса, предельная температура, до которой успевают нагреваться брызги возвращаемого уноса и количество тепла, приносимое возвращаемым уносом в барботажный слой. Из данного расчета можно сделать выводы: тепло из надслоевого пространства в барботажный слой передается в равных долях конвекцией и излучением; при фиксированных температурах в надслоевом пространстве и режиме продувки ванны невозможно увеличить тепловой поток из зоны дожигания в барботажный слой.

- автором предложена замена существующей разомкнутой схемы утилизации тепла отходящих газов на замкнутую схему, позволяющую вернуть в рабочее пространство печи более половины тепла отходящих газов. Для этого предполагается установить на печи и газоходном тракте отходящих газов радиационный воздухоподогреватель и трубчатую вращающуюся печь. Радиационный воздухоподогреватель предполагается установить в надслоевом пространстве печи, вмонтировав его в систему принудительного охлаждения. Вращающуюся трубчатую печь предполагается использовать для подогрева поступающей на переработку шихты, исключая из нее уголь, используемый в качестве генератора-восстановителя.

- доказана нецелесообразность сжигания топлива в барботажном слое с последующим дожиганием продуктов сгорания отходящих газов в надслоевом пространстве печи. Известно из теории горения, что в замкнутом объеме полное сжигание частички топлива невозможно, т.к. в процессе горения объем заполняется продуктами сгорания топлива и нейтральным азотом или другими нейтральными газами. В результате при определенной концентрации этой инертной среды прекращается процесс горения.

- установлено неполное использование объема барботажного слоя в процессе жидкофазного восстановления железа. Для описания этого процесса была создана математическая модель, которая описывает процесс жидкофазного восстановления железа в барботажном слое. С помощью нее установлено, что при реализуемом режиме продувки ванны, дутье, подаваемое через нижние фурмы, не проникает вглубь расплава, а поднимается вдоль фурменной стенки либо в виде отдельных пузырей, либо в виде газожидкостного потока, при этом глубина проникновения не превышает 0,54 м, а ширина составляет 2,5 м, что составляет треть объема барботажного слоя.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- установлено, что в печах жидкофазного восстановления железа типа Ромелт основной причиной, обуславливающей высокие удельные энергозатраты и ограниченную удельную производительность, является выбранная схема обогрева ванны расплава, предусматривающая частичное сжигание топлива в расплаве и дожигание продуктов неполного горения в надслоевом пространстве.

- установлено, что только половина объема ванны печи Ромелт участвует в тепломассообменных процессах. Причиной этого является некачественное перемешивание расплава в барботажном слое. Рекомендовано перейти на струйный режим продувки ванны.

- выявлено, что в режиме идеального смешения и при неизменных составах загружаемой шихты и топлива в барботажной зоне процесс восстановления железа может протекать без участия свободного кислорода, подаваемого на нижние фурмы.

- предложена физическая модель теплофизических процессов в надслоевом пространстве печи и выполнено их математическое моделирование. И установлено, что

теплота из надслоевого пространства в барботажный слой передается в равных долях конвекцией и излучением.

- установлено, что на опытно-промышленной установке Ромелт большие удельные расходы топлива. Для того чтобы снизить его необходимо провести ряд мероприятий, а именно: необходимо организовать подогрев воздуха, кислорода и шихты за счет физической и химической теплоты уходящих газов, при этом экономия угля составит 14%.

- установлено, что для опытно-промышленной установки процесса Ромелт можно сократить расход кислорода за счет регулирования степени дожигания отходящих газов в надслоевом пространстве печи.

- установлено, что в печах жидкофазного восстановления с погружным горением топлива и дожиганием продуктов неполного сгорания в надслоевом пространстве печи типа Ромелт уменьшение удельного расхода технического кислорода возможно только за счет сокращения степени дожигания газов. Предельная экономия технического кислорода тогда составит 7,4%. Для реализации такой экономии требуется применение подогрева воздуха и кислорода, подаваемых в печь, в отдельных подогревателях.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

- разработаны рекомендации для базового образца, позволяющие сократить удельный расход технического кислорода на тонну произведенного чугуна на 11%, а удельные потери тепла на 13%.

- предложена альтернативная схема использования физической и химической теплоты отходящих из печи газов для базового образца. Реализация указанной схемы позволит вернуть в ванну печи около 80% тепла этих газов.

- разработан модифицированный агрегат процесса жидкофазного восстановления с выносным горением топлива.

- предложено исключить сжигание топлива в расплаве и дожигание отходящих газов в надслоевом пространстве печи. Это реализуется с помощью выносных камер сгорания и позволяет, не понижая производительности агрегата, исключить применение дорогостоящего технического кислорода в плавке и снизить температуру в надслоевом пространстве агрегата до температуры ванны.

- рекомендовано изменить режим продувки ванны печи типа Ромелт, перейдя от переходного режима, который сейчас установлен в агрегате, к струйному. Данная рекомендация позволит увеличить поверхность теплообмена и интенсифицировать перемешивание в ванне.

- рекомендовано сжигать топливо в выносных камерах сгорания, установленных на печи вместо нижних фурм. Это позволит управлять процессом сжигания топлива любого качества и состава, с получением продуктов сгорания необходимого химического состава и с заданной температурой.

- рекомендовано использовать ограждения верхнего строения печи в качестве воздухоподогревателя. С этой целью применить стальные ошипованные кессоны с огнеупорной набивкой.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- использованы фундаментальные законы природы при построении математических моделей с большим числом итераций, реализуемых при получении каждого результата численного эксперимента.

- использованы современные методики сбора и обработки исходной информации, представительные выборочные совокупности с обоснованием подбора объекта исследования.

- теория построена на известных, проверенных данных и фактах, а также согласуется с опубликованными экспериментальными данными.
- результаты численных исследований получены с использованием современного оборудования.
- установлено качественное совпадение авторских результатов с результатами, представленными по эксплуатации опытно-промышленной плавки печи типа Ромелт.
- основные результаты работы приведены в статьях, опубликованных в журналах, рецензируемых ВАК/Scopus/WoS.

Личный вклад соискателя состоит в: высокой степени автономности и активном участии автора на всех этапах реализации диссертационной работы; в проведении структурного анализа существующих разработок технологических процессов внедоменного получения первичного металла; исследовании физико-химических и теплофизических процессов, протекающих в барботажном слое и в надслоевом пространстве печи жидкофазного восстановления железа; разработке рекомендаций для базового образца печи типа Ромелт; разработке модифицированной схемы процесса и печи жидкофазного восстановления железа.

Соискатель представил 10 печатных работ, из которых 6 работ - в изданиях, входящих в перечень ВАК, 4 - в базах Web of Science/Scopus и 2 - свидетельства ЭВМ.

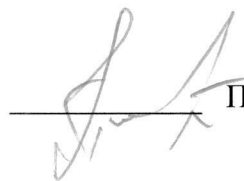
Пункт 2.6 Положения присуждения ученой степени кандидата наук, ученой степени доктора наук НИТУ «МИСиС» соискателем ученой степени не нарушен.

Диссертация Тереховой Анастасии Юрьевны является научно-квалификационной работой и соответствует критериям п. 2 Положения о порядке присуждения ученых степеней в НИТУ «МИСиС», так как в ней на основании выполненных автором исследований: решена научно-производственная задача, состоящая в выявлении и исследовании факторов, мешающих дальнейшему развитию перспективного процесса жидкофазного восстановления железа, и разработаны рекомендации, позволяющие нейтрализовать действие этого фактора и улучшить показания работы исследуемого агрегата, то есть полностью отказаться от использования технического кислорода и более чем на 50% сократить удельный расход условного топлива.

Экспертная комиссия приняла решение о возможности присуждения Тереховой Анастасии Юрьевне ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.2 – «Металлургия черных, цветных и редких металлов».

Результаты голосования: при проведении тайного голосования экспертная комиссия в количестве 4 человек, участвовавших в заседании, из 5 человек, входящих в состав комиссии, проголосовали: за – 4, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель Экспертной комиссии
д.т.н., профессор



Павлов Александр Васильевич

13.10.2022 г.