



УТВЕРЖДАЮ:

Генеральный директор
Федерального государственного
унитарного предприятия «Центральный
научно-исследовательский институт
черной металлургии им. И.П. Бардина»



В.В. Семенов

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного унитарного предприятия
«Центральный научно-исследовательский институт черной металлургии
им. И.П. Бардина»

по диссертационной работе Тереховой Анастасии Юрьевны
на тему: «Исследование и совершенствование конструкции и работы
печей с барботажным слоем для жидкофазного восстановления железа»,
представленной на соискание учёной степени кандидата технических
наук по специальности 2.6.2 – Металлургия черных, цветных и редких
металлов

По результатам рассмотрения диссертации «Исследование и совершенствование конструкции и работы печей с барботажным слоем для жидкофазного восстановления железа» принято следующее заключение:

Актуальность диссертационной работы не вызывает возражений. Диссертация посвящена изучению работы печи жидкофазного восстановления железа, предназначенной для внедоменного получения первичного металла из любого сырья без его первичной подготовки с целью разработки мероприятий, позволяющих повысить ее удельную производительность и сократить удельные энергозатраты.

Диссертация состоит из введения, обзора литературы, главы исследование работы агрегата жидкофазного восстановления железа, главы с описание

принципиальной схемы процесса и печи жидкофазного восстановления и списка использованной литературы. Число страниц с диссертационной работе составляет 127, рисунков 15, таблиц 37, приложений 6, ссылок в списке литературы 65.

В качестве объекта исследования выбраны процесс и печь Ромелт. Данные по ее работе на ПАО НЛМК используются как условия однозначности при постановке численных экспериментов на компьютере и для верификации их результатов.

Задачи работы сформулированы следующим образом:

1. Выполнить физико–химический анализ процесса плавки исходного сырья в печи жидкофазного восстановления с целью определения оптимальной температуры ванны и концентрации кислорода в дутье на нижних фурмах и в зоне дожигания.

2. Выполнить теплофизический анализ тепловой работы печи с целью определения возможности сократить потери теплоты в печи.

3. Разработать рекомендации по усовершенствованию процесса и печи жидкофазного восстановления.

Научная новизна исследования:

1. 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. Предлагается исключить существующую схему обогрева ванны и вынести процесс сжигания топлива за пределы рабочего пространства печи, а продувку ванны осуществлять не дутьем, обогащенным кислородом, а высокотемпературными продуктами сгорания. Это позволит исключить применение в процессе плавки технического кислорода.

2. Установлено неполное использование объема барботажного слоя в процессе плавки. Для улучшения качества перемешивания ванны предлагается перейти на струйный режим ее продувки.

3. Установлено, что в печах типа Ромелт уменьшение удельного расхода технического кислорода возможно только за счет сокращения степени дожигания отходящих газов в надслоевом пространстве. Величина такого сокращения определяется количеством теплоты, которое можно передать в расплав за счет предварительного подогрева дутья.

Теоретическая значимость:

1. Выявлены и исследованы фундаментальные причины, обуславливающие высокую энергозатратность и ограниченную удельную производительность процесса жидкофазного восстановления в изучаемой печи.

2. Показана принципиальная возможность без ущерба для технологического процесса исключить применение технического кислорода в рабочем пространстве печи и понизить сверхвысокие температуры в ее надслоевом пространстве.

3. Разработаны модель теплообмена между барботажным слоем и надслоевым пространством печи.

Практическая значимость:

Для базового образца

1. Разработаны рекомендации, позволяющие сократить удельный расход технического кислорода на тонну произведенного чугуна на 11%, а удельные потери теплоты на 13%.

2. Предложена альтернативная схема использования физической и химической теплоты отходящих из печи газов. Реализация указанной схемы позволит вернуть в ванну печи до 77% теплоты этих газов.

Для агрегатов, создаваемых вновь

1. Предложено исключить сжигание топлива в расплаве и дожигание отходящих газов в надслоевом пространстве печи. Это позволит исключить применение технического кислорода в плавке и снизить температуру в ее надслоевом пространстве до уровня температуры ванны, что сократит потери теплоты с отходящими газами и в системе принудительного охлаждения печи, а также уменьшит степень химического недожега.

2. Рекомендовано изменить режим продувки печи, перейдя с переходного режима на струйный, что позволит вдвое увеличить поверхность теплообмена в ванне и интенсивность ее перемешивания.

3. Рекомендовано сжигать топливо в топках, установленных на печи вместо фурм. Это позволит осуществлять управляемый процесс сжигания топлива любого качества и состава с получением продуктов сгорания необходимого химического состава и с заданной температурой.

4. Предложена принципиальная схема организации процесса жидкофазного восстановления железа с модифицированными печью и системой утилизации теплоты отходящих газов.

Степень достоверности:

Достоверность полученных результатов обеспечивается хорошим согласованием результатов с данными по эксплуатации базового образца.

Результаты физико-химических исследований процессов, протекающих в рабочем пространстве печи

Результаты физико-химического анализа процессов в барботажном слое

При проведении анализа использована программа ИВТАНТЕРМО.

В результате проведенного анализа установлено:

1. При работе в режиме идеального смешения и термодинамическом равновесии в барботажной зоне управляющим параметром процесса является содержание кислорода в дутье нижних фурм. При превышении его концентрации значения, определяемого термодинамическим расчетом для каждого состава шихты, форсирование плавки невозможно.

2. Влияние подфурменной зоны печи Ромелт на степень восстановления металла в барботажном слое незначительно.

3. В подфурменной зоне в процессе разделения компонентов плавки протекают реакции вторичного (незначительного) окисления уже восстановленного металла (на границах зон спокойного расплава и чистого металла).

4. При работе печи в режиме идеального смешения не целесообразно повышать температуру расплава выше 1350 °С, т.к. это приводит к снижению процента восстановленного железа.

Имеющее место восстановление железа в базовом процессе объясняется тем, что в ванне отсутствуют термодинамическое равновесие и режим идеального смешения.

Результаты физико-химического анализа процессов дожигания отходящих газов в надслоевом пространстве печи

Установлено, что экономия кислорода в зоне дожигания наиболее целесообразна за счет понижения степени дожигания отходящих газов в надслоевом пространстве печи. Для базового режима минимально допустимая степень дожигания составляет 46,1 %. При этом часовой расход технического кислорода сократится на 2357 м³/ч.

Результаты теплофизического анализа процессов, протекающих в рабочем пространстве печи

Теплофизический анализ работы барботажного слоя показал что:

1. Потери теплоты через систему принудительного охлаждения этой зоны печи весьма ограничены.

2. Ванна обладает большими потенциальными возможностями в плане повышения удельной производительности печи по перерабатываемому сырью за счет вовлечения в процессы активного теплообмена застойных объемов слоя, что повлечет снижение удельного расхода топлива.

3. Следует признать неудовлетворительным существующий механизм генерации теплоты в объеме барботажного слоя.

Теплофизический анализ процессов в надслоевом пространстве показал, что

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

2. При фиксированных температуре в надслоевом пространстве и режиме продувки ванны невозможно увеличить тепловой поток из зоны дожигания в барботажный слой. Предельно достижимая величина указанного потока

соответствует значению, полученному на базовом образце и достигнута в результате локализации зоны дожигания отходящих газов в зоне сепарации уноса.

3. Большие потери теплоты в системе принудительного охлаждения верхнего строения печи можно сократить за счет нанесения на их поверхность огнеупорной теплоизоляции. Это позволит примерно втрое сократить потери теплоты в системе принудительного охлаждения верхнего строения печи.

На основании физико-химических и теплофизических исследований работы базового образца сделан вывод о том, что основным препятствием в дальнейшем совершенствовании процесса и печи жидкофазного восстановления железа типа Ромелт является выбранная схема генерации теплоты. Предлагается вынести процесс сжигания топлива за пределы рабочего пространства печи. Это позволит осуществлять управление сжиганием топлива и отказаться от применения технического кислорода в процессе. Для повышения удельной производительности печи рекомендуется перейти на струйный режим продувки ванны. По прогнозным расчетам это позволит вдвое увеличить производительность печи,

Предложена схема практической реализации разработанных рекомендаций. В качестве прототипа выбран процесс и печь для переработки шлаков тяжёлых цветных металлов, успешно эксплуатируемые в цветной металлургии.

Представлены расчеты, показывающие, что в сравнении с базовым режимом удельные расходы энергоносителей изменятся следующим образом:

Кислорода – 0

Условного топлива – 47,3%

Специальность, которой соответствует диссертация. Тема и содержание диссертации соответствует специальности 2.6.2 (05.16.02) – «Металлургия черных, цветных и редких металлов».

По результатам слушания диссертационной работы отмечен ряд замечаний:

1. В схеме модифицированного агрегата исключено использование технического кислорода в рабочем пространстве печи, но в тексте 2-ой главы указывается, что сокращение кислорода возможно только за счет уменьшения степени дожигания отходящих газов. И это сокращение не может быть больше 7,4%. Как понимать данную нестыковку?

2. В разделе теплофизика процессов в надслоевом пространстве, отмечается, что повышение действительной температуры в зоне дожигания невозможно. Необходимо пояснить с чем это связано.

В целом работа представляет обстоятельное исследование с применением современной цифровой методике, базирующейся на опубликованных данных эксплуатации опытно-промышленного образца.


Диссертационная работа «Исследование и совершенствование конструкции и работы печей с барботажным слоем для жидкофазного восстановления железа», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, соответствует требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском технологическом университете "МИСиС".

Соискателю Тереховой Анастасии Юрьевне может быть присвоена степень кандидата технических наук по специальности 2.6.2 — «Металлургия черных, цветных и редких металлов» по результатам публичной защиты диссертации.

Заключение принято на заседании научно-технического совета Научного центра металлургических технологий, ГНЦ ФГУП «ЦНИИчермет им И.П. Бардина». Присутствовало на заседании 16 человек, из них 10 членов НТС.

Результаты голосования: «за» – 16 человек, «против» – 0 человек, «воздержалось» – 0 человек, протокол № 5 от 14 сентября 2022 г.

Председатель:
Директор НЦМТ, д.т.н.

 Куклев А.В.

Секретарь:
Ведущий научный сотрудник НЦМТ, к.т.н.

 Кац Я.Л.