

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу ПОПОВА Евгения Владимировича по теме:

«ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ НАГРЕВА МЕТАЛЛА И КОНСТРУКЦИИ НАГРЕВАТЕЛЬНОЙ ПЕЧИ»,

представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – Metallургия чёрных, цветных и редких металлов

1. Актуальность диссертационной темы

При всей важности высокотехнологического сектора основой нашей экономики являются базовые отрасли промышленности, такие как ТЭК и металлургия. Главным конструкционным материалом XXI века останется сталь. Этот тезис подтверждается и масштабами роста чёрной металлургии. В 2004 г. мировая выплавка стали составила 1046 млн. т. В 2013 г. выплавлен 1 млрд. 607 млн. т стали, т.е. за 9 лет прирост составил 53,6 %, причём на этот период пришёлся и кризис – выплавка в 2009 г. составила только 1 млрд. 200 млн. т. Таким образом, за последние 4 года средний ежегодный прирост выпуска стали составил 8,48%.

Практически весь этот металл проходит через нагревательные печи станов горячей прокатки, от совершенства работы которых зависит эффективность всего металлургического производства - расход топлива, потери металла с окалиной, качество готовой продукции и, в конечном итоге, прибыль.

Поэтому следует признать, что направление исследования, выбранное автором и решающее задачу повышения эффективности функционирования сложных агрегатов, какими являются нагревательные печи станов горячей прокатки, весьма актуально.

2. Содержание работы

Представленная диссертационная работа включает введение, четыре главы, заключение, список литературы из 76 наименований, 4 приложения. Основной текст содержит 71 рисунок, 12 таблиц и изложен на 134 страницах, весь объём работы - 152 страниц, из них 17 страниц приложений.

Во Введении автор хорошо обосновал актуальность решаемой проблемы, сформулировал цель и основные задачи диссертационной работы, научную новизну и практическую значимость, которая подтверждается реализацией полученных результатов в промышленном производстве. Указаны также основные положения, выносимые на защиту, и личный вклад автора исследования. Рассмотрены положения, подтверждающие достоверность и обоснованность результатов исследования. Приведены данные об апробации работы, о публикациях автора, о структуре диссертации и её объёме.

Следует отметить чёткость формулировок основных положений, приведённых автором в данном разделе диссертации.

В первой главе выполнен анализ конструкций методических печей толкательного типа станов горячей прокатки, включая особенности их тепловой работы, конструкции глissажных труб, рекуператоров, горелок и т.д.

На основании проведённого анализа диссертант делает обоснованный вывод об актуальности выбранного направления исследования, а также формулирует цели и задачи данной работы. Следует отметить, что автор чётко и обоснованно сформулировал достоинство методических печей толкательного типа и показал особенности их работы, в том числе функционирование агрегата при незапланированных простоях, Приведены также недостатки нагрева металла в указанных печных агрегатах. Попов Е.В. знает основные проблемы процесса производства горячекатаного металла, что позволило сформулировать задачи, которые необходимо решить в данном исследовании, для создания энергоэффективной технологии нагрева металла.

Вторая глава посвящена разработке реальной конструкции печи для нагрева заготовок рельсовых накладок. Сформулированы исходные требования к проектируемому печному агрегату и разработана концепция его конструктивного решения. Выполнено подробное описание созданной печи, реализованной на Нижнесалдинском металлургическом заводе («НСМЗ»), являющимся филиалом ОАО «ЕВРАЗ НТМК».

В выводах автор показывает основные особенности реализованного в настоящем исследовании реального промышленного печного агрегата, что является несомненным успехом представленной работы.

В **третьей главе** приведены результаты объёмного расчётно-экспериментального исследования особенностей нагрева металла в многозонных печах толкательного типа. Особое внимание автор уделяет созданию математических моделей с проверкой их по результатам экспериментальных данных, в том числе полученных в рассматриваемом исследовании. К достоинствам разработанных моделей нагрева относится использование в них реальных (немонотонных) зависимостей теплоёмкости и теплопроводности ряда марок сталей от температуры, учитывающих фазовые превращения. Исследовано влияние водоохлаждаемых глissажных труб на прогрев сляба в печи и показано уменьшение данного негативного эффекта с помощью выбора оптимальной разводки опорных труб в конце печи. Изучено влияние длительных незапланированных простоев печи (например, по вине стана) на процессы нагрева металла и предложено для уменьшения окалинообразования использовать охлаждение (подстуживание) поверхности заготовки при незапланированных длительных простоях агрегата.

Несомненным достижением автора является также создание и адаптация математической модели процесса нагрева слябов в методических печах толкательного типа, учитывающую как изменение теплофизических свойств металла при фазовых превращениях, так и незапланированные простои печного агрегата. На основании результатов адаптации автор делает обоснованный вывод о применимости разработанной математической модели для дальнейшего совершенствования работы нагревательных печей на базе выполнения расчётно-экспериментального исследования различных условий нагрева.

В четвёртой главе представлены результаты исследования тепловой работы промышленной печи для нагрева заготовок рельсовых накладок. Выполнен значительный объём расчётных исследований по определению времени и равномерности нагрева, а также количества получаемой окалины. Автором разработана методика исследования на промышленном печном агрегате, проведено большое количество измерений на действующей печи. Выполнен анализ полученных результатов, что позволило сформулировать и решить задачу теплообмена в печи с учётом импульсного характера отопления. Полученная модель адаптирована по результатам промышленных экспериментов и показала её эффективность для применения в производственной практике.

В Заключении в сжатой форме сформулированы основные научные и практические результаты выполненного исследования.

В Приложениях приводятся техническое задание на сооружение новой печи в рамках перевооружения литейного участка «НСМЗ», коэффициенты для расчёта окисления различных марок стали, режимная карта для нагрева рельсовых накладок, методика расчёта теплового баланса печи.

Как следует из приведённого выше анализа представленной диссертации, полученные научные и практические результаты, выводы, рекомендации, имеют достаточно чёткое научно-техническое обоснование, базирующееся на промышленных исследованиях созданного при участии автора печного агрегата и результатах математического моделирования.

3. Научная новизна

Научная новизна заключается в следующем:

- создана математическая модель процесса нагрева металла в толкательной печи станов горячей прокатки, позволяющая рассчитать изменение температурного поля по объёму заготовки в течение всего цикла нагрева металла, учитывающую длительные простои печи, процессы окалинообразования, теплоту фазовых переходов в системе перлит-аустенит и их влияние на изменение реальной теплоёмкости и теплопроводности металла;

- впервые предложена методика расчёта влияния схемы разводки глссажных труб на температурное поле в транспортируемой по ним заготовки, что в свою очередь обеспечило возможность предложить методику по уменьшению «тёмных пятен» на нижней поверхности заготовки;

- создана методика расчёта величины окалины, образующейся в процессе нагрева в нагревательной печи толкательного типа, учитывающая особенности температурно-временного режима работы агрегата;

- разработана математическая модель расчёта теплообмена излучением на основе скорректированного уравнения теплопроводности, впервые позволившая учесть циркуляцию продуктов сгорания через рекуперативные горелки и наличие режима импульсного сжигания топлива;

- получены реальные данные о величине несимметричности нагрева металла и определены управляющие воздействия на уменьшение указанного параметра для конкретных условий работы агрегата.

4. Достоверность и обоснованность результатов

Достоверность и обоснованность результатов работы подтверждаются значительным объёмом и обоснованным использованием современных математических методов и вычислительных процедур, а также средств измерительной техники для проведения промышленных экспериментов. Данные математических исследований и результаты, полученные на действующем агрегате, обеспечили достоверную адаптацию созданных моделей.

Достоверность и обоснованность полученных результатов также базируется на комплексном характере исследования, включающем различные виды исследования, и, что особенно важно, промышленный эксперимент на таком сложном объекте, как высокотемпературный печной агрегат.

5. Практическое значение диссертационной работы

Практическое значение диссертационной работы заключается в следующем:

1. Выполнены комплексные исследования тепловой работы действующего промышленного печного агрегата.
2. Получены новые данные по динамике нагрева, температурной неоднородности по сечению нагреваемых заготовок и процессов окалинообразования нагреваемого металла.
3. На базе выполнения пуско-наладочных работ на печи создана технологическая карта нагрева заготовок рельсовых накладок.

6. Апробация работы и публикации

Апробация работы и публикации. Результаты работы прошли необходимую апробацию. Они были доложены и обсуждены на: международной интерактивной научно-практической конференции «Инновации в материаловедении и металлургии» (г. Екатеринбург, 2011 г.); Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Теплотехника и информатика в образовании, науке и производстве» (г. Екатеринбург, 2012 г.); международном конгрессе ассоциации печетрубостроителей РФ «Новые направления в области теплотехнического строительства. Конструкции, технологии, материалы. Энергосбережение, экология и промышленная безопасность» (г. Москва, 2013 г.); конгрессе прокатчиков (г. Череповец, 2013 г.); научно-техническом семинаре «Совершенствование тепловой работы и конструкций нагревательных печей станов горячей прокатки» (г. Москва, НИТУ «МИСиС», 2013 г.).

По теме диссертации опубликовано 10 статей, в том числе 3 статьи в журналах по списку ВАК. Апробацию представленного исследования можно признать достаточной.

Автореферат в полной мере отражает содержание диссертационной работы. Иллюстрации, расположенные в нём, помогают понять ход и достижения представленного исследования.

7. Замечания

По представленной диссертации необходимо сделать следующие замечания.

1. Из текста приложения 1 не следует, что автор принимал непосредственное участие в разработке ТЗ и разработке конструкции печи.
2. Отсутствует количественная оценка адекватности разработанной модели нагрева (гл.4).
3. Не приведён реальный тепловой баланс внедрённой печи по результатам промышленных экспериментов.
4. Отсутствует нумерация точек сверлений в экспериментальной заготовке (рис. 4.6, стр.93), что затрудняет понимание кривых на рис. 4.21 – 4.25.
5. Вызывает сомнение вывод автора о том, что перепад по сечению заготовки перед выдачей из печи должен составлять 50 – 60 °С. В технологических инструкциях и паспортах на поставляемые печи (в том числе у зарубежных фирм) этот параметр находится в пределах 16 – 20 °С.
6. На стр. 69 ссылка на работу 40 не верна, т.к. это «Справочник термиста», а не работа, посвященная исследованию печи.

7. Предлагая подстуживать поверхность заготовок в печи при незапланированном длительном простое, автор не указывает как это сделать на действующем агрегате (стр.84).
8. Автор в тексте на стр.97 указывает, что двухпозиционное регулирование обеспечивает изменение температуры газов на уровне $950 - 1150$ °С, а на самом деле из графиков на рис.4.7 и 4.8 следует что колебания температуры находятся в пределах $950 - 1020$ °С.
9. На рис7 автореферата (стр.19) отсутствует перепад температур между расчётной и фактической температурой в центре массивного участка заготовки величиной $200 - 250$ °С. Фактически он не превышает 150 °С.

Вышеприведенные замечания не являются достаточно принципиальными и не снижают в целом положительного впечатления от представленного исследования.

8. Заключение по работе

Диссертационная работа ПОПОВА Е.В. посвящена решению актуальной проблемы современной науки и техники, связанной с совершенствованием процессов нагрева заготовок в печных агрегатах непрерывного действия. Рассмотренная диссертация является законченной научно-исследовательской работой, содержит ряд новых научных положений и практических рекомендаций. Выполнено весьма обширное и обстоятельное многоаспектное исследование, включающее анализ проблем, обоснование пути и методологии их решения, создание математической модели тепловой работы печного агрегата, математическое моделирование, проведение, обработку и анализ промышленных экспериментов, разработку практических рекомендаций. Высокий научно-технический уровень базируется на применении современных математических методов описания сложных процессов, сопровождающих процесс нагрева металла – в том числе окалинообразование и влияние фазовых превращений, на значительном объёме выполненных экспериментов как промышленных, так и расчётных, и доведении до внедрения полученных результатов в производственную практику. Следует также отметить хорошую информационную ценность рисунков, графиков и таблиц.

На основе анализа представленного материала можно утверждать, что в работе решена научная проблема повышения энергоэффективности сложных технических систем, какими являются нагревательные печи станов горячей прокатки, имеющая важное практическое значение в области совершенствования их тепловой работы, конструкции и системы автоматического управления. Это особенно актуально в свете растущего производства стали, задач снижения энергопотребления и повышения качества готового металла.

На основании вышеизложенного считаю, что диссертационная работа **Попова Евгения Владимировича** «Исследование и разработка энергоэффективной технологии

нагрева металла и конструкции нагревательной печи» соответствует требованиям ВАК Российской Федерации, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор – заслуживает присвоения учёной степени кандидата технических наук по специальности – 05.16.02 – Metallургия чёрных, цветных и редких металлов.

Официальный оппонент,
профессор кафедры «Теплофизика и экология
металлургического производства» Национального
исследовательского технологического университета
«МИСиС», д.т.н.



А.М.Беленький

11 сентября 2014 г.

Подпись профессора НИТУ «МИСиС» Беленького А.М. удостоверяю.

Проректор НИТУ «МИСиС» по
по науке и инновациям



М.Р.Филонов

Беленький Анатолий Матвеевич
119991, Российская Федерация
г.Москва, ул. Крымский вал, д.3
тел. (495) 638-46-10
e-mail: energomet@misis.ru