

ОТЗЫВ

официального оппонента
на диссертацию Потапенко Александра Сергеевича
**«Совершенствование тепловых процессов в установке непрерывного
совмещенного литья и прессования цветных металлов»**,
представленную на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности
05.14.04 «Промышленная теплоэнергетика».

Актуальность темы диссертации.

Разработка научных основ сбережения энергетических ресурсов в использующих тепло системах и установках является не только областью исследований паспорта специальности 05.14.04 - Промышленная теплоэнергетика. Это научное направление становится все более и более актуальным для России в связи с тем, что рост потребления электрической энергии в социальной сфере по прогнозам специалистов в ближайшие десятилетия будет составлять до 1% в год, а потребление электроэнергии в различных отраслях промышленности, по крайней мере, не уменьшится (высока вероятность роста). Нарастивание же мощностей электрогенерации в современных условиях очень сложная и финансовозатратная задача, решение которой в ближайшие 10-15 лет маловероятно в связи с близким к критическому состоянию основных фондов большинства тепловых электростанций РФ (большая часть оборудования работает на продленном ресурсе уже многие годы и даже десятилетия). По этой причине сохранение в России выработки электроэнергии на современном уровне, вполне возможно, будет приоритетной задачей энергетики в ближайшие 10-15 лет. Соответственно, наиболее логичным решением проблемы является снижение затрат тепловой и электрической энергии во всех сферах жизнедеятельности и, особенно, в энергоемких отраслях промышленности. Одной из наиболее энергоемких отраслей является цветная металлургия (ряд заводов по производству алюминия были построены в непосредственной близости от крупных электростанций). В этой связи снижение затрат теплоты на организацию технологических процессов цветной металлургии является одним из основных

резервов энергосбережения в России. Решение же задачи снижения затрат энергии на реализацию любого технического процесса невозможно, как правило, без детального анализа тепловых режимов работы технических систем или установок. По этой причине тема диссертации А.С. Потапенко, целью которой является совершенствование тепловых процессов в установках непрерывного совмещенного литья и прессования алюминиевых сплавов с карусельным горизонтальным кристаллизатором на основе результатов экспериментального и теоретического исследования тепломассопереноса, является актуальной.

В дополнение к выше изложенному следует отметить, что по своим цели, задачам, методам их решения, защищаемым положениям и основным результатам исследований диссертация А.С. Потапенко в полной мере соответствует приоритетному направлению развития науки, технологий и техники в Российской Федерации «Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика» (утвержден указом Президента РФ № 899 от 07 июля 2011 года).

Общая характеристика работы.

Диссертационная работа А.С. Потапенко состоит из введения, пяти глав, заключения и списка используемых источников. Текст рукописи изложен на 186 страницах (из них 2 таблицы, 123 рисунка и 3 приложения).

Во введении автор в традиционном стиле обосновывает актуальность темы своего исследования, цель и задачи, теоретическую и практическую значимость работы, научную новизну. В этом разделе диссертации также приведены выносимые на защиту положения, представлены обоснования достоверности полученных результатов, сведения об их апробации результатов.

В первой главе автор привел результаты выполненного им анализа современных достижений по теоретическому и экспериментальному исследованию процессов переноса теплоты при непрерывном литье и прессовании цветных металлов. Много внимания в этой главе уделено описанию и, в какой-то части, анализу отечественного и зарубежного опыта реализации технологии непрерывного литья и прессования металлов. Показано, что

температура металлов является важнейшим фактором обеспечения высокого качества процесса прессования.

Вторая глава посвящена описанию методики проведения и результатов экспериментальных исследований автора диссертации. Зарегистрированы тренды температуры расплава при затвердевании последнего и выделены пять зон, соответствующих, по мнению автора, различными доминирующими механизмами теплопереноса в расплаве. По результатам выполненных экспериментов сформулирована физическая модель процессов теплопереноса в системе «установка непрерывного совмещенного литья и прессования – расплав металла».

В третьей главе сформулирована соответствующая математическая модель теплопереноса. Компьютерное моделирование исследуемых в диссертации процессов проведено с использованием программного комплекса ANSYS CFX. Область решения пространственной нестационарной задачи теплопереноса разделена на восемь частей (корпус, кристаллизатор, слой изоляции, дугообразный сегмент с матрицей, подставка дозатора, слой воздуха между кристаллизатором и корпусом, расплав). Численный анализ проведен методом контрольных объемов на сетке $3,7 \cdot 10^6$ ячеек. Результаты численного моделирования в целом хорошо соответствуют экспериментальным данным по углам затвердевания исследовавшегося расплава АК12 в период работы установки.

В четвертой главе приведены результаты численного моделирования нестационарных температурных полей в рассматриваемой системе при литье и прессовании расплава АК12. Выделены режимы возможного перегрева расплава и отдельных конструктивных элементов. Результаты теоретических исследований автора диссертации использовались при разработке конструкции и выборе режимов работы установки с водяным охлаждением.

В пятой главе приведены рекомендации по изменениям в конструкции установки, сформулированные на основании анализа и обобщения теоретических следствий, полученных при проведении численных исследований изучаемых процессов теплопереноса в установке непрерывного литья и прессования цветных

металлов и сплавов. В этой главе приведено описание разработанного автором диссертации и запатентованного устройства управления тепловыми режимами рассматриваемой в диссертации установки. Предложенное техническое решение дает возможность управления ее тепловым режимом в нестационарных условиях (в частности, регулировать длину дуги кристаллизации металла в зависимости от температуры заливаемого расплава и изменяющихся во времени условий теплопереноса).

В заключении сформулированы основные выводы и результаты диссертационного исследования.

Общая методология и методика исследования.

Методики исследований, используемые автором диссертации, включает эксперимент и математическое моделирование изучаемых им процессов теплопереноса в системе «установка непрерывного совмещенного литья и прессования –расплав металла». Достоинством работы А.С. Потапенко является логическое сочетание экспериментальных исследований и теоретического изучения рассматриваемых процессов. Эти исследования заканчиваются разработкой технического решения, направленного на повышение энергоэффективности процессов непрерывного совмещенного литья и прессования цветных металлов. А.С. Потапенко применил современные средства математического и компьютерного моделирования в виде лицензированного пакета программ. При выборе математической модели автор использовал современные представления о физике процессов теплопереноса в рассматриваемой им технической системе. Логическим завершением комплекса выполненных автором экспериментальных и теоретических исследований стали патент на устройство и свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендации, сформулированных в диссертации.

Достоверность результатов выполненных экспериментов подтверждается использованием сертифицированного оборудования (прошедшего

метрологическую экспертизу использовавшихся средств регистрации основных характеристик исследованных процессов). Компьютерное моделирование проведено с использованием лицензионного программного продукта. Достоверность сформулированных по результатам компьютерного моделирования выводов подтверждается удовлетворительным соответствием характеристик изучаемых процессов, полученных при расчетах и в экспериментах. Также обоснованием достоверности научных положений, выводов и рекомендаций автора диссертации является использование результатов исследования на предприятии.

Научная новизна полученных результатов.

А.С. Потапенко получена группа результатов, соответствующих критерию новизны, что подтверждается публикациями четырех статей в журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ для публикации материалов кандидатских и докторских диссертаций. Наиболее значимыми, по мнению оппонента, являются следующие:

1. Разработана методика и проведены экспериментальные исследования температурных полей в элементах конструкции опытно-промышленной установки непрерывного совмещенного литья и прессования цветных металлов и сплавов с карусельным горизонтальным кристаллизатором. Установлено, что на начальном этапе работы установки необходим дополнительный подвод теплоты к дозатору заливаемого расплава.
2. Разработана компьютерная модель нестационарного теплопереноса в установке непрерывного совмещенного литья и прессования, учитывающая кроме процессов теплопроводности и конвекции выделение теплоты фазового перехода при кристаллизации расплава.
3. По результатам численного моделирования установлены основные закономерности исследованных процессов: выделены зоны подвода теплоты к элементам конструкции установки и отвода в окружающую среду; установлено, что разогрев кристаллизатора приводит к формированию существенно несимметричного температурного поля

расплава (область максимальных температур смещается к поверхности кристаллизатора вблизи дугообразного сегмента (инструмента прессования)); выделены максимальные температуры расплавов алюминия, при достижении которых металл поступает под инструмент прессования в расплавленном состоянии.

4. Сформулированы рекомендации по установке теплоизоляции между кристаллизатором и подшипником, обеспечивающей сохранение на допустимом уровне температуры последнего.
5. Разработана система принудительного водяного охлаждения установки непрерывного совмещенного литья и прессования цветных металлов и сплавов. Система обеспечивает стабилизацию температуры ее конструктивных элементов за счет управления в переходном режиме отводом избыточной теплоты из зон кристаллизации металла и прессования.
6. Разработаны устройства для терморегулирования и управления тепловым режимом процесса непрерывного совмещенного литья и прессования цветных металлов и сплавов, обеспечивающие при совместной работе с системой водяного охлаждения вывод установки на стационарный тепловой режим без нарушения регламента технологического процесса.

Практическая значимость.

Практическая значимость результатов диссертационного исследования А.С. Потепенко подтверждается актами использования в промышленности и в учебном процессе СФУ. Кроме того соответствие рецензируемой диссертации этому критерию подтверждается патентом на изобретение, а также свидетельством о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Замечания по диссертационной работе.

1. Автор использует на стр. 69 (глава 3) при постановке задачи выражение «Нелинейное трехмерное уравнение сохранения энергии для обрабатываемого металла и элементов установки записывалось в виде субстанциональной производной». Записать уравнение энергии в виде

субстанциональной производной можно, если только производная равна нулю. Такой вариант возможен, если в правой части уравнения энергии нет «диффузионного» слагаемого и источниковых членов. В уравнениях (3.1) на стр. 70 такие слагаемые есть. Поэтому процитированное выше выражение (оно же приведено и в автореферате) использовано необоснованно.

2. Обозначение субстанциональной производной на стр. 70 рукописи и стр. 10 автореферата записано с опечаткой (скорее всего), которая искажает впечатление о качестве постановки задачи.
3. Также к числу недоработок третьей главы рукописи следует отнести отсутствие описания всех граничных условий для каждого из уравнений системы (3.1). Таких условий в случае пространственной постановки задачи для каждого уравнения системы (3.1) должно быть шесть. Если область решения разбивается (как написано на стр. 65) на восемь доменов, то необходимо более 40 граничных условий (на границах сопряжения элементов с разными теплофизическими характеристиками записываются условия четвертого рода, которые используются для границ двух элементов).
4. На стр. 70 рукописи приведены только граничные условия второго (3.3) и третьего (3.4) рода для системы (3.1), хотя решить уравнения (3.1) без граничных условий четвертого рода на границах сопряжения «доменов» невозможно.
5. Не вполне логично использование термина «затвердевание» расплава при описании как постановок задач, так и их результатов. Термин «затвердевание» обоснован при описании состояния бетона или раствора (при кирпичной кладке). В условиях фазового перехода в металлах логично использование термина «кристаллизация» (тем более, что процесс изменения фазового состояния происходит в кристаллизаторе).
6. Результаты диссертационного исследования, приведенные в главе 5, получены в связи с необходимостью отвода теплоты от колеса –

кристаллизатора и дугообразного сегмента. Такая необходимость возникает в связи с возможным в определенных условиях высоким уровнем перегрева заливаемого расплава. В этой связи возникает вопрос о том насколько целесообразно создание системы водяного охлаждения в условиях достаточно интенсивного выделения теплоты кристаллизации расплава при его движении по каналу кристаллизатора. Логичным было бы теоретическое обоснование минимально допустимых температур расплава на входе в кристаллизатор (в условиях фазового перехода расплавов «сам себя разогревает»). Такой анализ автор диссертации не провел, что в некоторой степени снижает положительное впечатление о результатах диссертационного исследования.

7. Во второй главе при описании методики экспериментальных исследований автор диссертации не приводит анализ систематических и случайных погрешностей результатов измерений (или неопределенностей, как принято говорить в последние годы).

Ценность полученных в диссертации А.С. Потапенко результатов, положений и выводов отмеченные недостатки не снижают. Диссертация А.С. Потапенко является законченной научно-квалификационной работой, выполненной автором самостоятельно, содержит результаты теоретических и экспериментальных исследований, соответствующие критерию новизны. На основании анализа содержания рукописи диссертации А.С. Потапенко можно сделать вывод, что в ней содержится новое решение задачи совершенствования тепловых процессов в установке непрерывного совмещенного литья и прессования алюминиевых сплавов с карусельным горизонтальным кристаллизатором, имеющей существенное значение для теории и практики систем и установок цветной металлургии, использующих тепло.

Диссертация А.С. Потапенко соответствует специальности 05.14.04 – промышленная теплоэнергетика. Автореферат диссертации полностью соответствует тексту рукописи, которая написана правильным русским языком, в доказательном стиле и хорошо иллюстрирована. Автор диссертации опубликовал

4 статьи в журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ для публикации материалов кандидатских и докторских диссертаций, получил патент на изобретение по теме диссертации и свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Заключение о соответствии диссертации критериям.

На основании анализа содержания рукописи и автореферата диссертации А.С. Потапенко «Совершенствование тепловых процессов в установке непрерывного совмещенного литья и прессования цветных металлов» можно сделать обоснованное заключение о ее соответствии требованиям п.9 Положения о присуждении ученых степеней (утверждено постановлением Правительства Российской Федерации от 21.04.16 г. № 335), а ее автор Александр Сергеевич Потапенко заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.04 – промышленная теплоэнергетика.

Официальный оппонент,
Главный научный сотрудник
НОЦ И.Н. Бутакова
Инженерной школы энергетики
Федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования
Национального исследовательского
Томского политехнического университета,
доктор физико-математических наук,
профессор

Генерал
26.11.2018

Кузнецов Геней Владимирович

Адрес: 634050, г. Томск, пр. Ленина, д.30,
ФГАОУ ВО НИ ТПУ
E-mail: marisha@tpu.ru
Сайт: <http://tpu.ru/>
тел.: 8(3822)606-248

Подпись Г.В. Кузнецова удостоверяю:

Ученый секретарь Национального
исследовательского Томского
политехнического университета



Ананьева
Ананьева Ольга Афанасьевна