

О Т З Ы В

Официального оппонента на диссертационную работу
Калганова Михаила Владимировича
«Повышение энергоэффективности технологии нагрева материалов
в металлургических печах для производства вакуумированных труб,
работающих в условиях вечной мерзлоты», представленную на
соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности
05.16.02- Металлургия черных, цветных и редких металлов.

Актуальность темы диссертационной работы

Одним из важных направлений развития отечественной металлургии является повышение технико-экономических показателей работы нагревательных печей. В связи с этим актуальность диссертационной работы Калганова М.В., посвященной решению научно-практической задачи – повышение энергоэффективности технологии нагрева материалов в конвективных печах, не вызывает сомнения.

Цель работы:

Повышение энергоэффективности нагрева материалов в конвективных печах на основе использования новых конструкций электронагревателей и высокотемпературных вентиляторов.

Общее содержание работы

Диссертация изложена на 163 страницах, состоит из введения, 6 глав и заключения, включает 20 таблиц 59 рисунков и список литературы из 78 наименований и приложения. Материал в диссертации изложен последовательно, логично и лаконично, соответствует выбранной тематике и поставленной цели.

В **введении** сформулированы актуальность и степень разработанности темы. Здесь же определены цели и задачи работы и представлены оценки научной и практической значимости.

В **первой главе** представлен обзор литературных источников, в которых рассматриваются процессы конвективного теплообмена в нагревательных печах при движении газовой среды и методы расчета струйных течений в ограниченном пространстве. Проведен анализ способов нагрева и охлаждения металла в современных нагревательных и термических печах с принудительной циркуляцией газового теплоносителя.

Рассмотрены направления дальнейшего совершенствования печей данного типа и поставлены задачи исследования.

Во **второй главе** сформулированы требования к конструкции новых печей конвективного типа, используемых при производстве вакуумированных труб для работы в условиях вечной мерзлоты. Разработана методика расчета нагрева садки, муфеля, циркулирующего газа, а также – удельных энергозатрат, для существующей конвективной печи. Расчетный анализ позволил выявить недостатки конструкции печи и разработать конструкцию с использованием новых узлов: электронагревателей с

внутренней циркуляцией теплоносителя и высокотемпературных вентиляторов, оборудованных устройствами охлаждения теплонагруженных узлов.

В *третьей главе* на основе балансовой модели, описывающей теплообмен внутри нагревателя в установившемся режиме, обоснованы исходные данные к проектированию нового электронагревателя.

В *четвертой главе* представлены результаты разработки и исследования конструкции воздушного охлаждения вала высокотемпературных вентиляторов для конвективных печей с циркуляцией газовой среды. На разработанной экспериментальной установке исследован теплообмен в устройствах воздушного охлаждения вала печных вентиляторов различных конструкций. Сравнительный анализ этих конструкций позволил выбрать конструкцию, обеспечивающую наибольший коэффициент теплопередачи от поверхности устройства охлаждения вала. Получены безразмерные зависимости конвективного теплообмена для опробованных устройств.

В *пятой главе* разработана математическая модель теплообмена в ходовой части высокотемпературного вентилятора, содержащая систему 33-х уравнений баланса тепловых потоков. Модель использована для исследования тепловых режимов работы печных вентиляторов, оснащенных устройствами охлаждения различных типов, и оценки эффективности их работы. В результате исследования установлены оптимальные параметры тепловых режимов работы печных вентиляторов, оснащенных устройствами воздушного охлаждения различных типов, обеспечивающих эффективность их работы.

В *шестой главе* приведены результаты промышленных исследований разработанной печи теплового обезжиривания материалов, оборудованной электронагревателями и вентиляторами новых конструкций. В результате исследований установлено, что время нагрева садки сокращается в 2,5 – 3,0 раза, достигнута необходимая производительность печи. При этом удельные энергозатраты снизились в 2,7 раза по сравнению с существующими конструкциями печей подобного типа.

Представлены результаты разработки типового ряда новых конструкций устройств воздушного охлаждения валов вентиляторов для нагрева и термообработки алюминиевых заготовок.

На основе результатов исследований разработан и внедрен высокотемпературный вентилятор для печи термообработки сварных конструкций массой до 15 т. в диапазоне 20-650 °С. Эксплуатация печи подтвердила надежную работу печного вентилятора.

В *заключении* приведены основные научные и практические результаты диссертационной работы:

1. Модели теплообмена :
 - в рабочем объеме конвективной печи с циркуляцией газовой среды для нестационарного режима,
 - в электронагревателе для установившегося режима,
 - в устройстве воздушного охлаждения вала высокотемпературных вентиляторов для установившегося режима.
2. Экспериментальная установка для исследования теплообмена в устройствах воздушного охлаждения вала высокотемпературных вентиляторов.
3. Впервые получены безразмерные зависимости, описывающие конвективный теплообмен в устройствах воздушного охлаждения вала высокотемпературных вентиляторов.

4. Новые конструкции и режимы работы конвективных печей на основе использования новых конструкций электронагревателей и высокотемпературных вентиляторов.
5. Результаты экспериментальных и промышленных исследований новых конструкций и режимов их работы, подтвердившие достижение планируемых показателей по производительности печей, равномерности нагрева материала и снижения энергозатрат до 2,7 раза на единицу производимой продукции.
6. Результаты диссертационной работы использованы на металлургических и машиностроительных предприятиях: ПАО «Синарский трубный завод», ОАО «Каменск-Уральский металлургический завод», ПАО «Машиностроительный завод им. Кирова» и других.

Автореферат в полной мере отражает основные положения диссертации.

Значимость результатов, полученных автором, для науки

Разработанные математические модели процесса теплообмена и полученные закономерности расширяют существующие представления и вносят вклад в теорию конвективного теплообмена в печах с принудительной циркуляцией газовой среды и с использованием новых электронагревателей и высокотемпературных вентиляторов.

Значимость результатов, полученных автором диссертации, для практики

Разработанные на основе результатов теоретических и экспериментальных исследований новые конструкции печей конвективного типа с использованием новых конструкций электронагревателей и устройств воздушного охлаждения валов высокотемпературных вентиляторов опробованы и внедрены на металлургических и машиностроительных заводах. При внедрении достигнуты следующие технико-экономические показатели:

1. ПАО «Синарский трубный завод» - сокращение времени обработки садки на 30-50%, уменьшение удельных затрат на единицу продукции в 2,0 – 2,7 раза по сравнению с известными муфельными печами камерного типа.
2. ОАО «Каменск-Уральский металлургический завод» - увеличение межремонтного срока службы печных вентиляторов на 15-25%.
3. ПАО «Машиностроительный завод им.Кирова»:
 - создание равномерного поля температуры внутри печи с точностью $\pm 10^{\circ}\text{C}$ на всех режимах термообработки,
 - эксплуатация нагревательных печей в течение 5 лет подтвердила надежную работу высокотемпературного вентилятора.

Разработанный ряд тепловых высокотемпературных вентиляторов, оснащенных новыми устройствами охлаждения, рекомендуется использовать в различных печах с циркуляцией газовой среды.

Достоверность результатов работы

Достоверность результатов исследования, выводов, рекомендаций, приведенных в диссертации, подтверждается корректным применением теоретических основ металлургической теплотехники, в частности, теории процессов конвективного теплообмена в металлургических печах, методов математического моделирования, а также результатами исследований на действующем производстве металлургических и машиностроительных заводов.

По содержанию работы имеются следующие замечания:

1. На стр.7 диссертации в п.1 «Научной новизны» указано «Проведен сравнительный анализ режимов нагрева садки». Следует заметить, что анализ не является научным результатом, так как анализ – это «процесс» получения результатов. Научным результатом может являться только конкретный результат анализа.
2. На стр. 9 – 10 п. « Положения, выносимые на защиту » сформулированы в виде «Результаты исследования...», «Результаты анализа...», «Результаты внедрения...» и т.д. Такие формулировки являются слишком общими, неконкретными.
3. На стр.34 в начале изложения модели теплообмена следовало бы привести схему теплопередачи внутри рабочего объема печи.
4. На стр. 34-35 не приведены результаты исследования погрешности результатов моделирования от параметра расчетного шага по времени - Δt_i и расшифровка индекса i .
5. На стр. 34-35 из приведенного текста не ясно: система уравнений (2.1), представляющая собой, по мнению автора, методику расчета нагрева, является математической моделью или алгоритмом, полученным с использованием метода конечных разностей ?
6. На рис. 2.2.1, стр.37 приведены кривые нагрева садки, муфеля, циркулирующего газа и температуры печи, которые, по-видимому, являются результатами решения системы (2.1), но в системе (2.1) обозначение температуры печи отсутствует. Возникает вопрос: как получена кривая температуры печи на рис. 2.2.1?
7. Для системы (2.1) следовало бы привести формулы для определения коэффициентов теплоотдачи.

Указанные замечания не снижают научной и практической значимости общего впечатления от работы.

Основные результаты диссертации доложены и обсуждены на двух международных конференциях, опубликованы в 10 научных статьях, в том числе , 7 статей в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК.

Заключение

Таким образом, диссертация Калганова М.В. является завершённой научно-квалификационной работой, имеющей логическую структуру и внутреннее единство, полностью соответствует требованиям п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (постановление Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 с изменениями, внесенными постановлением Правительства Российской Федерации от 21 апреля 2016г. №335 «О внесении изменений в Положение о присуждении ученых степеней»), предъявляемым к диссертации на соискание ученой степени кандидата наук,

а ее автор Калганов Михаил Владимирович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02- Metallургия черных, цветных и редких металлов.

Официальный оппонент:

Профессор кафедры металлургии,
машиностроения и технологического оборудования,
доктор технических наук
(0.5.16.02- Metallургия черных, цветных
и редких металлов), профессор

Кабаков Зотей Константинович

31.03.2019г.

ФГБОУ ВО «Череповецкий государственный университет»

Пр-т Луначарского, д.5,

Г.Череповец, Вологодская область, Россия, 162600

Телефон (8208) 51-78-29

e-mail:kabakovzk@mail.ru