На правах рукописи

ТКАЧЕВ АЛЕКСАНДР СЕРГЕЕВИЧ

ИССЛЕДОВАНИЕ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТРУБЧАТЫХ ЭЛЕКТРОДОВ С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗАТРАТ ПРИ ВЫПЛАВКЕ СТАЛИ В ДУГОВЫХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧАХ МАЛОЙ И СРЕДНЕЙ ВМЕСТИМОСТИ

Специальность 05.16.02 – «Металлургия черных, цветных и редких металлов»

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание
ученой степени
кандидата технических наук

Москва 2016

Работа выполнена на кафедре «Металлургия стали и ферросплавов» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» и кафедре «Металлургия и металловедение им. С.П. Угаровой» Старооскольского технологического института (филиала) Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС».

Научный руководитель:	
кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой «Металлургия и металловедение им. С.П. Угаровой» СТИ НИТУ МИСиС	**Кожухов Алексей Александрович**
Официальные оппоненты:	
доктор технических наук, Генеральный директор ООО «Научно-производственная фирма «КОМТЕРМ»	**Нехамин Сергей Маркович**
доктор технических наук, профессор, пенсионер	**Смирнов Николай Александрович**
Ведущая организация:	**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова» Российской академии наук**

Защита состоится 24 ноября 2016 г. в 10:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.132.02 при Национальном исследовательском технологическом университете «МИСиС» по адресу: 119049, г. Москва, Ленинский проспект, д.6, ауд. А-305.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на официальном сайте Национального исследовательского технологического университета «МИСиС» - http://misis.ru.

Отзывы на автореферат диссертации (в двух экземплярах, заверенных печатью учреждения) просьба направлять по адресу: 119049, г. Москва, Ленинский проспект, д. 4, Ученый Совет. Копии отзывов можно присылать на e-mail: misistlp@mail.ru.

Автореферат разослан « ___ » _____ 2016 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.132.02,
доцент, кандидат технических наук А.В. Колтыгин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В настоящее время производство стали в дуговых сталеплавильных печах (ДСП) является одним из наиболее эффективных и перспективных способов получения металла заданного химического состава. Это подтверждается постоянным ростом объемов производства электростали. К основным преимуществам ДСП можно отнести работу на твердой шихте при высокой скорости расплавления, что обеспечивает низкие удельные капиталовложения и энергозатраты, более высокую производительность и меньшее количество выбросов вредных веществ в окружающую среду. Несмотря на вышеперечисленные преимущества важным фактором развития электросталеплавильного производства является внедрение различных высокоэффективных способов интенсификации электроплавки. Это позволяет снизить удельный расход электроэнергии, сократить длительность плавки и повысить технико-экономические показатели работы ДСП. Сегодня большинство исследований направленно на повышение эффективности электроплавки стали в сверхмощных ДСП. Применительно к ДСП повышенной вместимости предложен ряд технологических и конструкционных приемов позволяющих существенно снизить как затраты производства стали так и повысить производительность агрегатов, однако прямой перенос этих предложений на ДСП средней и малой вместимости как правило малоэффективен либо практически невозможен. Исследований направленных на повышение эффективности электроплавки стали в ДСП малой и средней вместимости ограниченно. В связи с этим представляется актуальным поиск технологических приемов, обеспечивающих снижение энергоемкости производства стали в ДСП малой и средней вместимости, так как данные печи являются основными агрегатами для выплавки высоколегированных сталей и сплавов в различных отраслях промышленности (машиностроении, авиастроении и др.). Одним из путей решения проблемы снижения энергетических затрат в печах малой и средней вместимости является проведение исследований направленных на изучения влияния трубчатых (полых) электродов на тепловые и технологические показатели работы печей данного типа, а также оценка эффективности использования электродов данного типа на печах средней и малой вместимости.

Работа выполнена в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 – 2020 годы». Соглашение о предоставлении субсидии № 14.578.21.0023 от «5» июня 2014 года по теме «Разработка и внедрение ресурсосберегающих технологий производства сложнолегированных марок сталей и сплавов с заданными свойствами для деталей и узлов авиакосмической техники». Уникальный идентификатор соглашения RFMEFI57814X0023

Цель работы. Исследование влияния трубчатых электродов на тепловые и технологические показатели работы ДСП малой и средней вместимости и оценка эффективности их применения на печах данного типа с целью снижения энергетических затрат на выплавку электростали.

Задачи исследования

1. Исследовать режим горения электрической дуги при использовании трубчатых электродов.
2. Исследовать эксплуатационные характеристики трубчатых электродов (прочность, удельный расход).
3. Исследовать влияние трубчатых электродов на характер распределения тепловых потоков в рабочем пространстве ДСП и оценить эффективность тепловой работы печи при их использовании.
4. Оценить технико-экономические показатели ДСП при применении трубчатых электродов.

Научная новизна полученных результатов состоит в следующем:

1. Показано, что изменяя отношение диаметра отверстия в электроде ($d_{отв}$) к диаметру электрода ($D_{эл}$) можно получить определенную направленность тепловых потоков электрической дуги в рабочем пространстве ДСП, за счет изменения электромагнитной силы «выдувания» электрической дуги.
2. Установлено, что изменяя величину отношения внутреннего к внешнему диаметру трубчатого электрода ($\mu = d_{отв}/D_{эл}$) от 0,1 до 0,35 можно обеспечить снижение угла отклонения электрической дуги от оси электрода до 20° - 10°. При этом наибольший положительный эффект наблюдается при $\mu = 0,1$, исходя из критериев максимизации механической прочности и минимизации расхода электродов за счет окисления и эрозии рабочих торцов, обеспечивающее снижение энергетических затрат на выплавку электростали и повышение тепловых и технологических показателей работы ДСП, а именно повышение доли тепла передаваемой ванне на 15 %, снижение доли излучения тепла на поверхность футеровки стен и свода на 9 %.
3. Предложена аналитическая зависимость, которая позволит рассчитать угол отклонения электрической дуги от оси электрода в зависимости от величины отношения внутреннего к внешнему диаметру трубчатого электрода (μ).
4. Разработана компьютерная программа цифровой обработки видеоизображений позволяющая оценить угол отклонения электрической дуги от оси электрода, во время ее горения в рабочем пространстве дуговой печи; разработан алгоритм и программа расчета распределения тепловых потоков в рабочем пространстве печи, учитывающая геометрические размеры трубчатого электрода.

Практическая значимость.

1. Теоретически и экспериментально доказано, что применение трубчатых электродов в сравнении с типовыми (сплошными), позволяет повысить эффективность электроплавки стали на печах малой и средней вместимости, за

счет снижения времени плавки и удельного расхода электроэнергии, а также увеличения срока эксплуатации футеровки.

2. На основании результатов исследований предложена наиболее рациональная величина $\mu = 0,1$ для трубчатых электродов, обеспечивающая снижение величины эрозии рабочих концов электродов на 9 % и повышение механической прочности на 10 %, в сравнении с ранее предлагаемой величиной $\mu = 0,2$[1].

3. На основе результатов промышленного опробования трубчатых электродов на ДСП емкостью 7 т. с величиной $\mu = 0,1$ установлено, что их применение позволяет сократить общее время плавки в среднем на 13 мин., снизить удельный расход электроэнергии в среднем на 65 кВт*ч/т, а также увеличить срок эксплуатации футеровки на 16 %, что подтверждено актом проведения промышленных исследований на ОАО «ОЗММ».

Достоверность научных результатов. Достоверность полученных результатов подтверждается хорошей воспроизводимостью и согласованностью полученных данных с результатами промышленных экспериментов и литературных источников. Текст диссертации и автореферат проверены на отсутствие плагиата с помощью программы "Антиплагиат" (http://antiplagiat.ru).

Апробация результатов работы. Основные положения и результаты диссертационной работы доложены и обсуждены на международных и региональных научно-практических конференциях: областной конкурс научных молодежных работ «Молодежь Белгородской области», Белгород, 2009 г.; областная научно – практическая конференция «Белгородская область: прошлое, настоящее и будущее», Белгород, 2009 г; всероссийская научно-практическая конференция «Череповецкие научные чтения – 2010» Череповец, 2010 г.; 5-я научно-практическая конференция «Энергосберегающие технологии в промышленности. Печные агрегаты. Экология. Безопасность технологических процессов» Москва НИТУ МИСиС, 2010 г.; 3-я научно-техническая конференция ОАО «ОЭМК» Старый Оскол, 2010 г.; 3-я всероссийская научно практическая конференция «Моделирование, программное обеспечение и наукоемкие технологии в металлургии 2011» Новокузнецк, 2011 г.; всероссийский смотр - конкурс научно-технического творчества «Эврика 2012», Новочеркасск, 2012 г.; 6-я международная научно-практическая конференция «Энергосберегающие технологии в промышленности. Печные агрегаты. Экология» Москва НИТУ МИСиС, 2012 г.; 9-я международная научно-техническая конференция «Современная металлургия начала нового тысячелетия», Липецк, 2012 г.

Публикации. По наиболее важным темам диссертационной работы имеется 26 публикаций в центральных и региональных изданиях, в том числе 7 статей в журналах, входящих в список ВАК.

[1] Окороков Н.В., Никольский Л.Е., Егоров А.В. Эффективность работы дуговой печи на трубчатых электродах. //Электротермия, 1962, №9. с. 13-18.

Структура и объем работы. Работа состоит из введения, пяти глав, заключения, библиографического списка из 108 наименований. Диссертация изложена на 181 странице машинописного текста, содержит 19 таблиц, 53 рисунка и три приложения.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность общего направления диссертационной работы, исходя из перспективы и важности дальнейшего развития отечественной электрометаллургии.

В первой главе «Состояние вопроса и постановка задач исследования» произведен анализ современного состояния и развития ДСП в России и за рубежом. Рассмотрены основные факторы, способствующие развитию электросталеплавильных процессов, основные современные принципы организации и совершенствования технологических и энергетических процессов при выплавке стали в ДСП. Приведены электрические и технологические показатели работы, а также основные энерготехнологические параметры функционирования ДСП.

На основе анализа научно-технической литературы установлено, что одним из путей решения проблемы снижения энергетических затрат в печах малой и средней вместимости является применение на дуговых печах этого типа трубчатых электродов. Вопросами применения трубчатых электродов на дуговых печах занимались еще в середине 20-го века. Большинство работ, в этом направлении, посвящено вопросам повышения эффективности электрического режима ДСП. Однако нет точных данных о влиянии данного типа электродов на режим горения электрической дуги, тепловую работу ДСП и эффективность электроплавки в целом. В связи с этим необходимо выполнить ряд исследований в данном направлении, что позволит приблизить применение трубчатых электродов при плавке стали в ДСП малой и средней вместимости.

Во второй главе «Экспериментальное изучение влияния трубчатых электродов на характер горения электрической дуги и их эксплуатационные характеристики в зависимости от отношения диаметра отверстия к диаметру электрода» выполнены исследования по определению характера горения электрической дуги от трубчатого электрода в сравнении с типовым (сплошным) электродом. Выполнена оценка механической прочности трубчатых электродов в сравнении с типовыми (сплошными), и определено наиболее рациональное отношение диаметра отверстия к диаметру электрода, исходя из критериев максимизации механической прочности и минимизации расхода электродов за счет окисления и эрозии рабочих торцов.

Исследования были выполнены на электропечной установке, представленной на рисунке 1.

В ходе выполнения исследований использовались графитированные электроды двух типов: сплошные и трубчатые с наружным диаметром $D_{эл}$ = 35

мм. Величина μ варьировалась от 0,05 до 0,5. Электропитание установки осуществлялось от источника, представляющего собой два соединенных последовательно выпрямителя с номинальной мощностью Р = 23,7 кВт. Для более устойчивого горения электрической дуги, горящей между графитовым и подовым электродом, и создания условий, близких к реальным в ДСП, на подовый электрод подкладывалась металлическая пластина для образования жидкого металла.

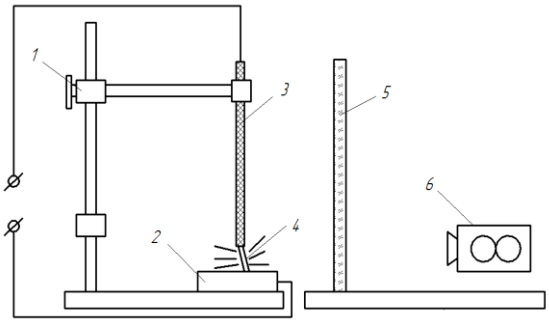


Рисунок 1 - Схема экспериментальной лабораторной установки для изучения угла отклонения электрической дуги: 1 – механизм перемещения электрода; 2 – графитовая пластина; 3 – графитированный электрод; 4 – электрическая дуга; 5 – защитный экран; 6 - видеокамера

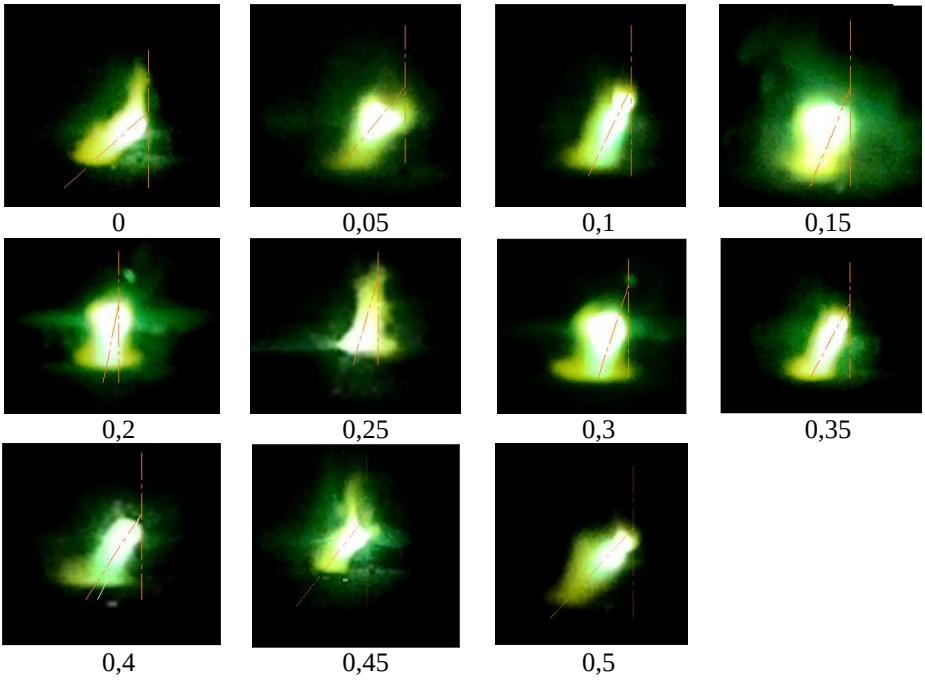


Рисунок 2 - Фотографии электрической дуги при величине отношения внутреннего к

внешнему диаметру трубчатого электрода (μ), изменяющейся от 0 до 0,5 (цифры под фото)

Для создания равных условий эксперимента и горения электрической дуги фиксированной мощности, поддерживалась одинаковая сила тока и напряжения на электрической дуге. Для каждого типа электродов было выполнено по 10 опытов по 5 минут. После каждого опыта осуществлялся замер расхода электрода за счет окисления и эрозии рабочих торцов.

В ходе эксперимента велась скоростная видеосъемка (240 кадров в секунду) режима горения электрической дуги через защитный экран. Результаты видеосъемки были подвергнуты цифровой обработке с помощью программы, написанной в среде Blitz 3d. Суть обработки заключалась в разбиении полученного в ходе эксперимента видео на кадры с последующим переводом кадров из цветного спектра в серый. Затем кадры подвергались оценке каждого пикселя по яркости (пиксели с высокой яркостью оценивались как электрическая дуга, с низкой - как свободное пространство). Анализ полученного в ходе эксперимента видеоматериала (рис. 2) позволил установить, что величина степени выдувания электрической дуги из под электрода определяется отношением μ. По результатам обработки полученных данных был построен график зависимости угла отклонения электрической дуги от оси электрода при различном отношении μ (рис. 3).

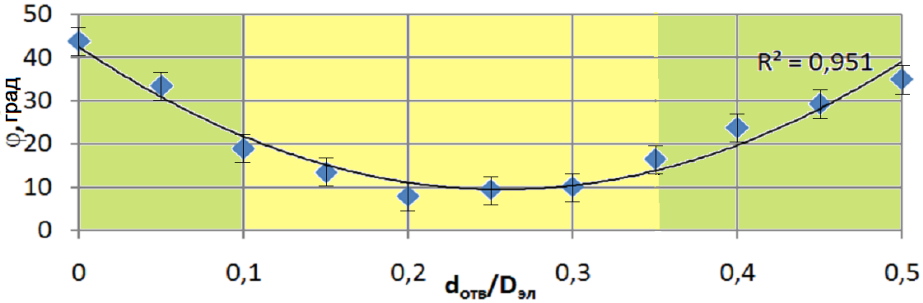


Рисунок 3 - График зависимости угла отклонения электрической дуги от оси электрода в зависимости от величины отношения внутреннего к внешнему диаметру трубчатого электрода (μ)

Анализ рисунка 3 показывает, что применение трубчатых электродов позволяет снизить величину угла отклонения электрической дуги от оси электрода в сравнении со сплошными электродами с 45° до 10°. При этом наименьший угол отклонения электрической дуги достигается при μ = 0,2, что подтверждает данные Окорокова Н.В., Никольского Л.Е., Егорова А.В. Из рисунка 3 также следует, что существует диапазон отношений диаметра отверстия к диаметру трубчатого электрода (μ = 0,1 ÷ 0,35), при котором можно обеспечить снижение угла отклонения электрической дуги от оси электрода с 20° до 10°. На основе полученных данных, было получено выражение, позволяющее

рассчитать угол отклонения электрической дуги от оси электрода в зависимости от величины μ:

$$\varphi = 502{,}6\mu^2 - 258{,}3\mu + 42{,}56 \quad (1)$$

Данные о величине расхода электрода за счет окисления и эрозии рабочих торцов представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Расход электродов за счет окисления и эрозии рабочих торцов

Тип электрода	μ	Расход по массе, г	Расход по длине, мм
Сплошной	0	27,7	13,1
Трубчатый	0,05	30,3	14,4
	0,1	32,3	15,4
	0,15	33,6	16,2
	0,2	34,5	16,9
	0,25	35,1	17,7
	0,3	35,6	18,5
	0,35	36,1	19,4
	0,4	36,5	20,5
	0,45	36,8	21,8
	0,5	37,1	23,4

Анализ данных таблицы 1 показывает, что расход трубчатых электродов за счет окисления и эрозии рабочих торцов несколько выше, в сравнении со сплошными электродами. Кроме того, по мере увеличения величины отношения диаметра отверстия к диаметру трубчатого электрода (μ = 0,05 ÷ 0,5) происходит рост величины расхода электрода за счет окисления и эрозии рабочих торцов. Этот факт можно объяснить увеличением поверхности контакта рабочей поверхности электрода с окислительной атмосферой печи.

В целях сравнения механической прочности трубчатых и типовых электродов во время эксплуатации в ДСП, а именно, способности выдерживать механические нагрузки, были выполнены расчеты в программе "Лира". Результаты расчета представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Результаты расчета в программе «Лира»

μ	График подобласти: напряжение $\cdot 10^4$Па	Срез, напряжение $\cdot 10^4$Па	График перемещения $\cdot 10^{-6}$ м
0	5,179	2,934	6,23
0,1	5,332	3,007	6,348
0,2	6,66	3,224	6,492

Анализ данных таблицы 2 показывает, что наибольшей механической прочностью обладают сплошные электроды. Однако следует отметить, что при величине отношения диаметра отверстия к диаметру трубчатого электрода (μ) равной 0,1, происходит незначительное снижение механической прочности, однако дальнейшее увеличение величины (μ) значительно сказывается на механической прочности.

Обобщая полученные данные можно сказать, что наиболее оптимальным будет применение трубчатых электродов с отношением диаметра отверстия к диаметру электрода равным 0,1, так как именно это отношение обеспечит незначительное снижение механической прочности в сравнении со сплошными электродами. Кроме того, использование трубчатых электродов с величиной μ = 0,1, обеспечит незначительное повышение величины расхода электродов за счет окисления и эрозии рабочих концов. Однако использование трубчатых электродов с отношением (μ = 0,1) в сравнении с трубчатыми электродами с отношением (μ = 0,2), позволит снизить расход электродов за счет окисления и эрозии рабочих концов на 9 %, повысить механическую прочность к нагрузкам, возникающим при эксплуатации дуговых печей на 10 % и обеспечить снижение степени выдувания электрической дуги из под электрода.

В третьей главе «Экспериментальное исследование эффективности тепловой работы ДСП при использовании трубчатых электродов» была проведена оценка эффективности тепловой работы ДСП при использовании сплошных и трубчатых электродов.

Исследования были выполнены на физической модели ДСП, которая представляла собой сектор рабочего пространства печи, выполненный из стали и футерованный изнутри магнезитовым порошком с жидким стеклом. Модель сектора была выполнена в соответствии с теорией подобия в масштабе 1:8,5. Основные характеристики представлены в таблице 3. Общий вид опытной электропечной установки представлен на рисунке 4.

Таблица 3 - Основные характеристики промышленной печи и экспериментальной установки

Величина	Промышленная печь ОАО "ОЗММ" ДСП-6-2Н	Экспериментальная установка
Ток электрической дуги, А	8220	325
Напряжение электрической дуги, В	118	40
Диаметр электрода, мм	300	35
Критерий подобия $K = \frac{U_Д d}{\rho I_Д}$	4,3	4,3
Диаметр рабочего пространства, мм	2200	260

На электропечной установке использовались графитированные электроды двух типов: сплошные и трубчатые с наружным диаметром $D_{эл}$ = 35 мм (выполнены в масштабе 1 : 8,5 к реальному размеру электрода 7 т. ДСП). Диаметр отверстий трубчатого электрода составлял 3,5 и 7 мм, что соответствовало отношению μ = 0,2 и 0,1. Для каждого из электродов была выполнена серия опытов, каждый из которых был разбит на три части: 30, 60 и 90 секунд с момента зажигания электрической дуги.

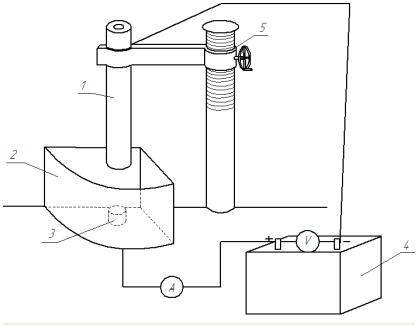


Рисунок 4 - Схема экспериментальной установки для изучения интенсивности теплового излучения на футеровку от электрической дуги: 1 – графитированный электрод; 2 – модель сектора печи; 3 – металлическая заготовка; 4 – выпрямитель ВД – 306 У 3; 5 – механизм перемещения электрода

Для более устойчивого горения электрических дуг и создания условий, близких к реальным, в ДСП на подовый электрод подкладывалась металлическая заготовка для образования жидкого металла. Электропитание модели осуществлялось аналогично первому эксперименту.

Исследование распределения мощности теплового излучения электрической дуги по поверхности стен проводилось с использованием тепловизионной аппаратуры. В качестве которой служил тепловизор HotFind DXT с диапазоном измерения температуры от - 20 до 1500 °С, обеспечивающий точность измерения ± 2°С.

В ходе проведения эксперимента помимо контроля степени разгара футеровки стен, осуществлялся контроль электрических параметров (сила тока и напряжение электрической дуги), а также длины электрической дуги, общего времени эксперимента, времени под током, количества обрывов электрической дуги, которые представлены в таблице 4.

Таблица 4 - Результаты проведения эксперимента на ЭПУ с различными типами электродов

Тип электрода	Сплошной электрод	Трубчатый электрод (μ = 0,2)	Трубчатый электрод (μ = 0,1)
Общее время эксперимента, сек	180	180	180
Чистое время под током, сек	126,6	142,2	136,8
Общее количество обрывов электрической дуги	64	49	53
Количество обрывов электрической	5	4	5

дуги в первой части опыта (30 сек)			
Количество обрывов электрической дуги во второй части опыта (60 сек)	20	18	18
Количество обрывов электрической дуги в третьей части опыта (90 сек)	39	27	33
Максимальная сила тока, А	700	750	730

На основе полученных в ходе эксперимента данных (табл. 4) было установлено, что при использовании трубчатого электрода электрическая дуга горит более стабильно, это подтверждается меньшим количеством обрывов электрической дуги и большим временем работы под током.

Анализ металлической заготовки (рис. 5 а) подвергающейся расплавлению показал, что заготовка, расплавленная электрической дугой от сплошного электрода (рис. 5 б) имела ярко выраженное боковое расплавление, в сравнении с металлическими заготовками, расплавленными электрической дугой от трубчатого электрода (рис. 5 в, г), которая имела более сильное и равномерное расплавление.

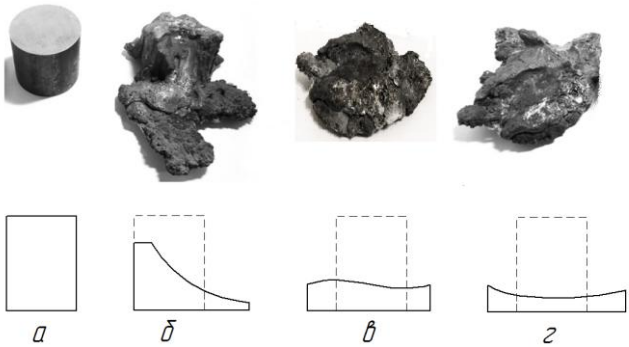
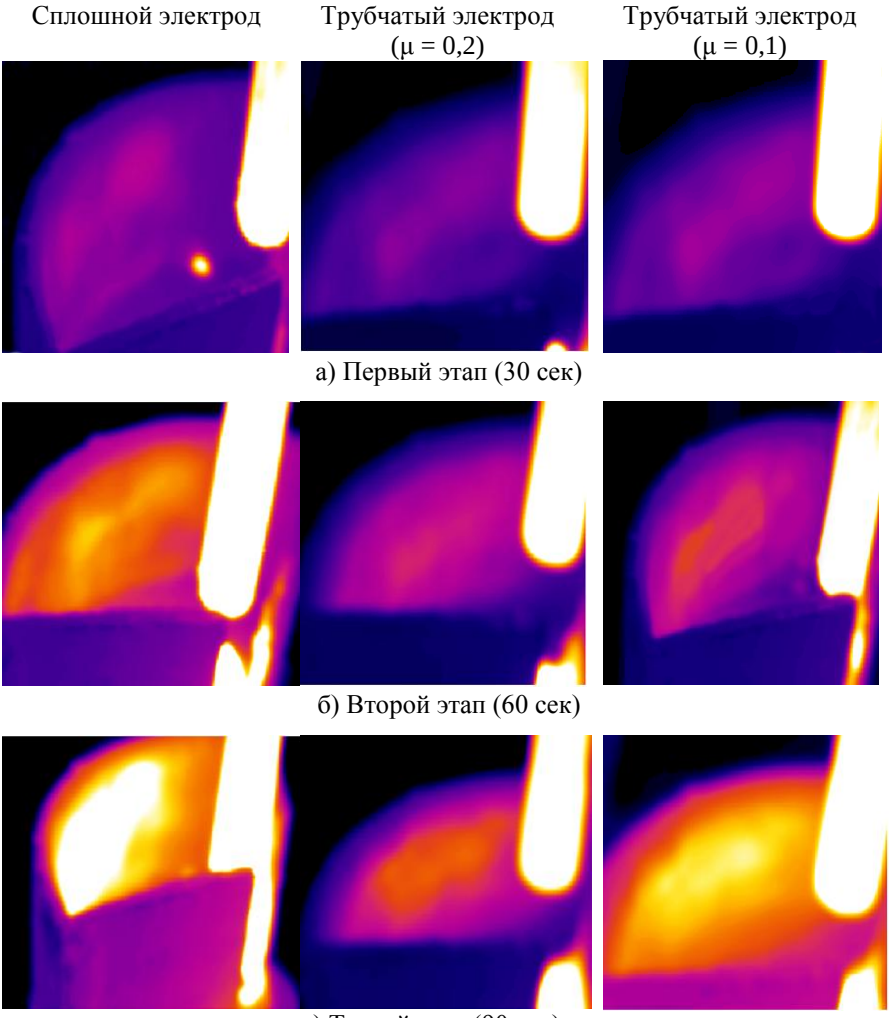


Рисунок 5 - Фотографии металлической заготовки и схематический характер её расплавления: а - до расплавления; б - при расплавлении электрической дугой от сплошного электрода; в - при расплавлении электрической дугой от трубчатого электрода с отношением $\mu = 0{,}1$; г - при расплавлении электрической дугой от трубчатого электрода с отношением $\mu = 0{,}2$

Анализ термограмм и фотографий, полученных в ходе проведения каждой части опытов представленных на рисунках 6, 7 и 8 показывает, что доля излучения на вертикальную боковую стенку экспериментальной установки значительно ниже при использовании трубчатых электродов, в сравнении с сплошным электродом. Анализ полученных термограмм с помощью программы SatReport позволил получить характер распределения теплового потока по поверхности вертикальных стен сектора (рис. 8). Из полученных графиков видно, что применение трубчатых электродов позволяет снизить величину теплового

потока на поверхность стен в наиболее горячей точке в среднем на 18 % у электрода с отношением μ = 0,2, на 14,5 % у электрода с отношением μ = 0,1.

Таким образом, применение трубчатых электродов на ДСП малой и средней вместимости позволит снизить температуру поверхности стен, увеличить срок эксплуатации (стойкость) кирпичной футеровки, а также снизить величину тепловых потерь через стены дуговой печи и как следствие сократить удельный расход электроэнергии и повысить технико-экономические показатели выплавки стали в ДСП.



а) Первый этап (30 сек)

б) Второй этап (60 сек)

в) Третий этап (90сек.)

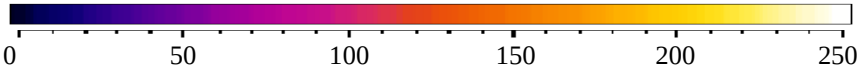


Рисунок 6 - Термограммы вертикальной боковой стенки экспериментальной установки во время эксперимента

Сплошной электрод	Трубчатый электрод (μ = 0,2)	Трубчатый электрод (μ = 0,1)

а) Первый этап (30 сек)

б) Второй этап (60 сек)

в) Третий этап (90 сек.)

Рисунок 7 - Фотографии разгара футеровки вертикальной боковой стенки

экспериментальной установки в ходе проведения эксперимента

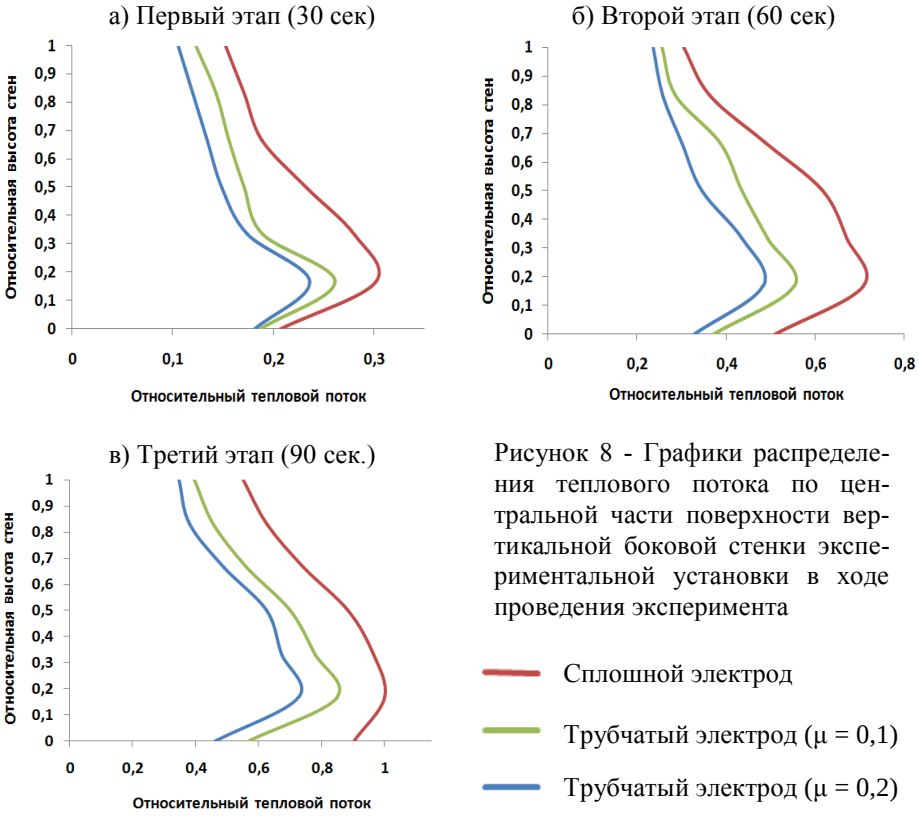


Рисунок 8 - Графики распределения теплового потока по центральной части поверхности вертикальной боковой стенки экспериментальной установки в ходе проведения эксперимента

Для изучения и оценки скорости расплавления металлической шихты при использовании трубчатых электродов была использована электропечная установка, представленная на рисунке 9. Она аналогична электропечной установке, которая была описана выше, но была видоизменена, а именно в качестве подового электрода (анода) была использована графитовая "подложка".

Методика исследования заключалась в следующем - металлическая заготовка (сталь 45) цилиндрической формы (размер 32×50 мм, массой 300 г.), помещалась на графитовую "подложку" и подвергалась расплавлению. Расплавле-

ние заготовки осуществляли с использованием сплошного электрода и трубчатых электродов с отношением μ = 0,2 и 0,1. Для каждого типа электродов была сделана серия из 10 опытов.

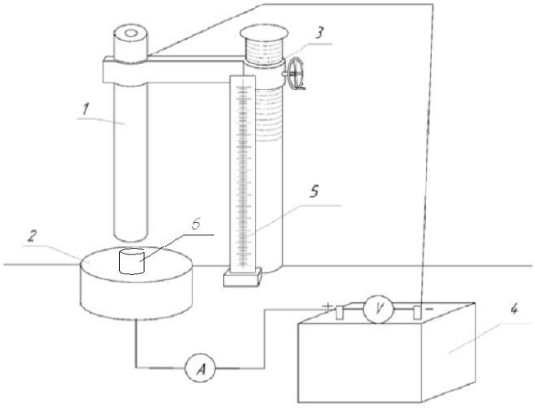


Рисунок 9 - Схема экспериментальной установки для изучения скорости расплавления шихты при использовании различных типов электродов: 1 – графитированный электрод 2 – графитовая "подложка" 3 – механизм перемещения электрода 4 – выпрямитель ВД – 306 У 3; 5 – измерительная шкала; 6 – металлическая заготовка

Результаты замеров времени расплавления металлической заготовки представлены в таблице 5.

Таблица 5 - Результаты замеров времени расплавления металлической заготовки при проведении эксперимента на электропечной установке с различными типами электродов

	Время расплавления, сек.										
№ плавки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	сред.
Сплошной электрод	140	136	137	138	134	139	133	137	135	136	136
Трубчатый электрод (μ = 0,1)	127	128	130	129	126	128	131	129	128	129	128
Трубчатый электрод (μ = 0,2)	122	126	124	123	127	125	127	124	125	122	124

Из анализа данных представленных в таблице 5 следует, что применение трубчатых электродов позволяет сократить продолжительность расплавления в среднем на 9 % у электрода с отношением μ = 0,2, на 6 % у электрода с отношением μ = 0,1. Данный факт, можно объяснить тем, что применение данного типа электродов позволяет создать более направленный тепловой поток на металли-

ческую заготовку, повысить мощность электрической дуги, что и приводит к уменьшению времени расплавления.

В четвертой главе «Оценка эффективности тепловой работы ДСП при использовании трубчатых электродов методом математического моделирования» изложены особенности тепловой работы ДСП, где рассмотрена качественная картина теплообмена в рабочем пространстве ДСП, а также изменение характера теплообмена при использовании трубчатых электродов. Произведен анализ научно-технической литературы по изучению процессов теплообмена в рабочем пространстве ДСП. Рассмотрены различные методики расчета теплообмена в свободном пространстве ДСП. Для выполнения анализа эффективности тепловой работы ДСП при применении трубчатых электродов в сравнении со сплошными электродами была выбрана методика, разработанная А.Н. Макаровым[2].

На основе вышеупомянутой методики была разработана математическая модель расчета теплообмена в рабочем пространстве ДСП с учетом полученного выражения для определения угла отклонения электрической дуги от оси электрода.

При разработке математической модели применены следующие допущения:

– форма печи упрощена и принята цилиндрической;

– распределение мощности по фазам симметричное (предполагается, что между поверхностью торца электрода и излучением дуги существует локальное термодинамическое равновесие, вследствие чего излучение дуги, падающее на торец электрода, отражается на металл);

– электрическая дуга представляет собой излучающий канал цилиндрической формы;

– температура оси дуги одинакова по всей высоте цилиндра;

– теплоотдача осуществляется преимущественно излучением;

– дуга излучает как абсолютно чёрное тело, т.е. поверхностью;

– рассматривалось установившееся тепловое состояние печи;

– радиус зеркала металла принят равным внутреннему радиусу печи;

– среда рабочего пространства лучепрозрачная;

– тепловой поток, падающий от электрической дуги на стены и свод печи, поглощается полностью.

Для расчета все поверхности, на которые падает тепловой поток от электрической дуги, были разбиты на ячейки.

В основе модели лежали следующие уравнения для расчета величины плотности теплового потока:

---

[2]Теплообмен в электродуговых и факельных печах и топках паровых котлов: Монография / А.Н. Макаров. Тверь, ТГТУ, 2003, 348 с.

- для площадок на поверхности металлической ванны, расположенных слева от электрической дуги:

$$q_{ik} = \frac{F_{ik} \cdot \alpha \cdot P_Д}{2\pi^2 r_{ik} \cdot l_Д}\Big[\Big[\Big(\sin\big(\beta + (502{,}6\mu^2 - 258{,}3\mu + 42{,}56)\big)^2 - \sin(502{,}6\mu^2 - 258{,}3\mu + 42{,}56)^2\Big)\Big] - \tan(502{,}6\mu^2 - 258{,}3\mu + 42{,}56) \cdot (\beta + \sin\beta) \cdot \cos\big(\beta + 2 \cdot (502{,}6\mu^2 - 258{,}3\mu + 42{,}56)\big)\Big] \quad (2)$$

- для площадок на поверхности металлической ванны, расположенных справа от электрической дуги:

$$q_{ik} = \frac{F_{ik} \cdot \alpha \cdot P_Д}{2\pi^2 r_{ik} \cdot l_Д}\Big[\Big[\Big(\sin\big(\beta - (502{,}6\mu^2 - 258{,}3\mu + 42{,}56)\big)^2 - \sin(502{,}6\mu^2 - 258{,}3\mu + 42{,}56)^2\Big)\Big] + \tan(502{,}6\mu^2 - 258{,}3\mu + 42{,}56) \cdot (\beta + \sin\beta) \cdot \cos\big(\beta - 2 \cdot (502{,}6\mu^2 - 258{,}3\mu + 42{,}56)\big)\Big] \quad (3)$$

- для участков на поверхности вертикальных стен, расположенных напротив столба электрической дуги:

$$q = \frac{\alpha P_Д}{2\pi^2 r l_Д}(\beta + sin\beta\cos(\beta_1 - \beta_2)) \quad (4)$$

- для участков на поверхности вертикальных стен, расположенных выше столба электрической дуги:

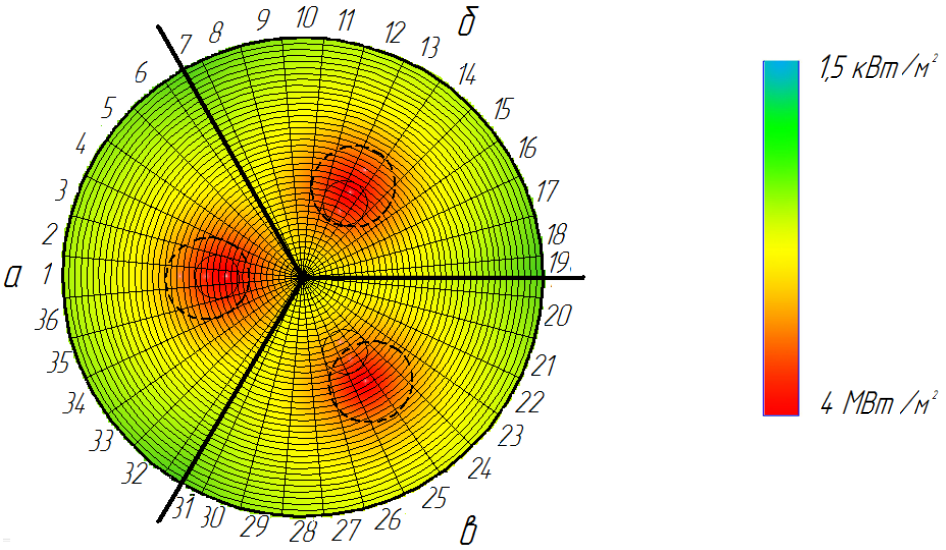
$$q = \frac{\alpha \cdot P_Д \cdot l_{отк}}{2 \cdot \pi^2 \cdot l_Д \cdot r}(\beta + \sin\beta\cos(\beta_1 + \beta_2)) \quad (5)$$

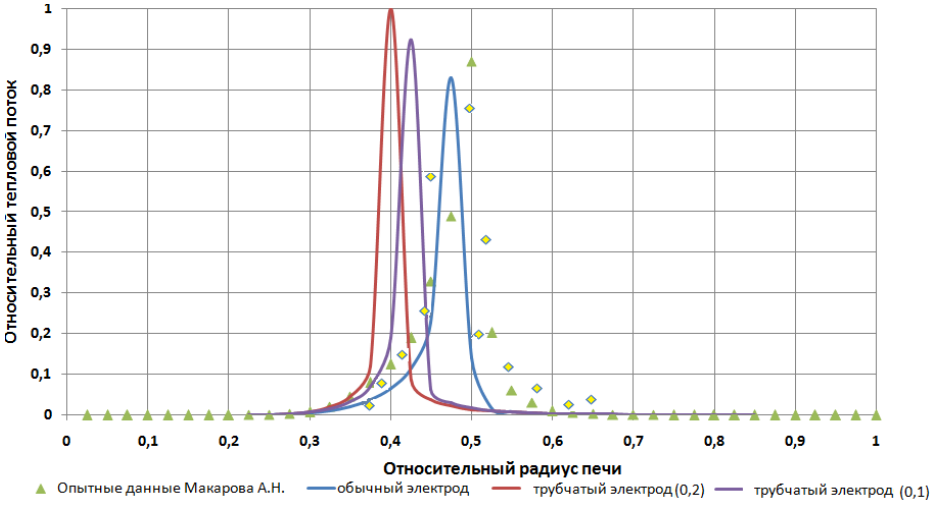
- для участков на поверхности свода электродуговой печи, расположенных на произвольной высоте:

$$q = \frac{\alpha_{изл} P_Д l_{отк}}{2\pi^2 r l_Д^2}\{cos(502{,}6\mu^2 - 258{,}3\mu + 42{,}56) \cdot [\beta + sin\beta cos(\beta_1 + \beta_2)] + sin(502{,}6\mu^2 - 258{,}3\mu + 42{,}56)(sin^2\beta_1 - sin^2\beta_2\}. \quad (6)$$

где α – коэффициент излучения электрической дуги; β, β_1, β_2 – углы из построений; r – расстояние от электрической дуги до элементарной площадки; $l_д$ – длина электрической дуги; $l_{отк}$ – длина открытой части электрической дуги; $P_д$ - мощность электрической дуги.

С помощью разработанной математической модели был выполнен сравнительный анализ теплообмена в рабочем пространстве 7 т. ДСП при ее работе на трубчатых и сплошных электродах. Результаты расчета представлены на рисунках 10, 11 и 12.





г)

Рисунок 10 - Распределение плотности теплового потока по поверхности металлической ванны ДСП: а) с применением трубчатого электрода (μ = 0,2); б) с применением трубчатого электрода (μ = 0,1); в) с применением сплошного электрода; г) по поверхности первого сектора с применением сплошного электрода и трубчатых электродов

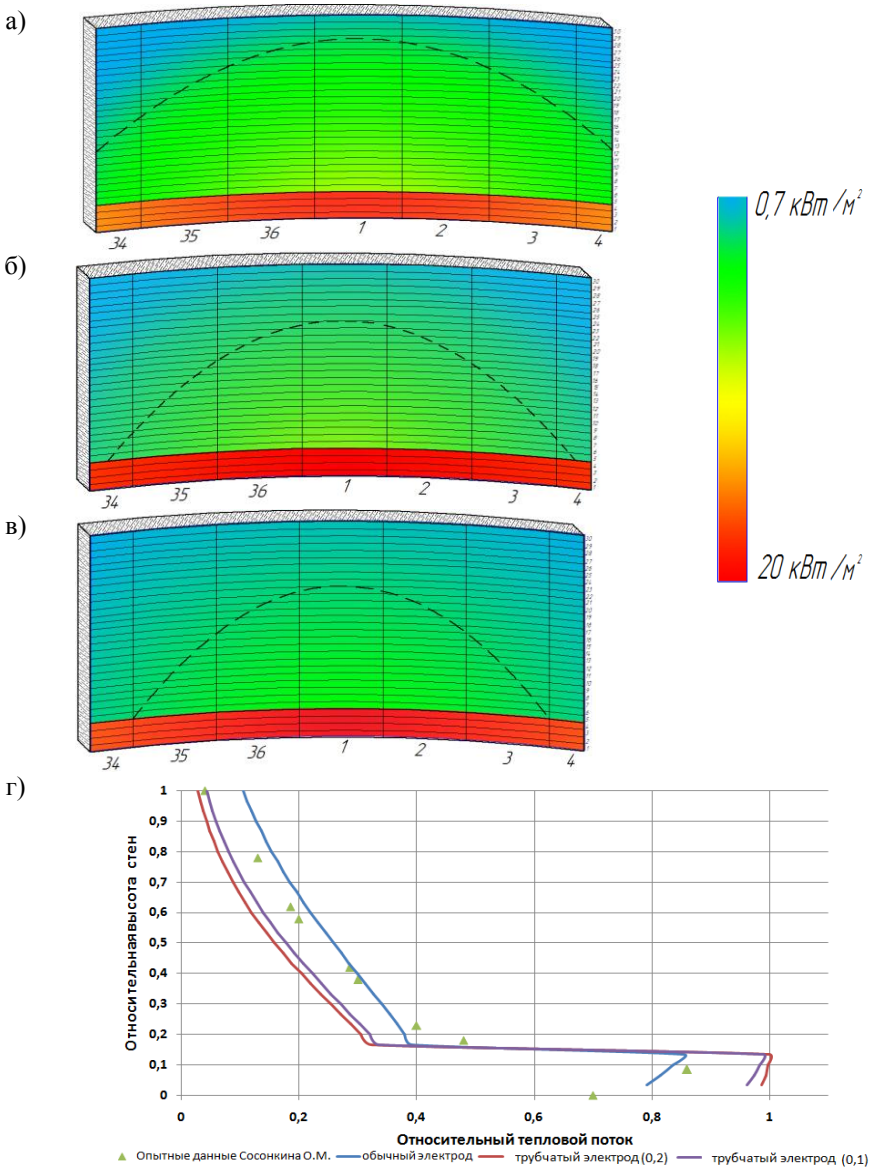
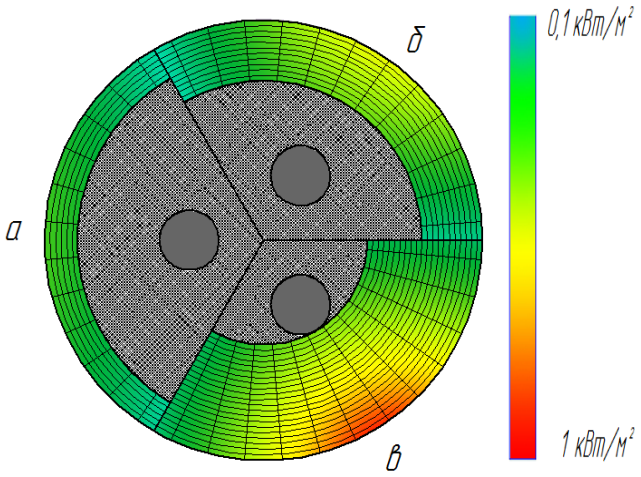
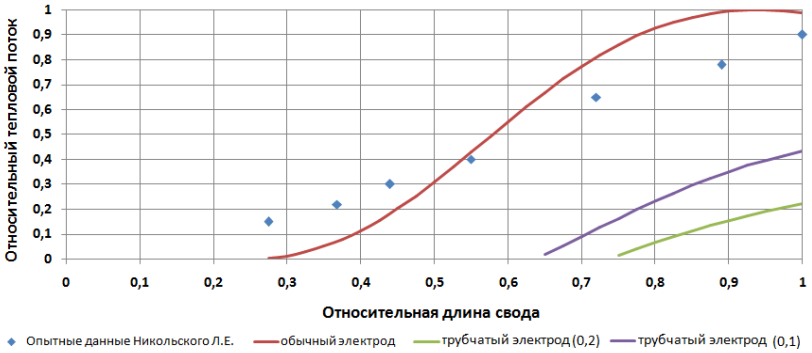


Рисунок 11 - Распределение плотности теплового потока по поверхности стен ДСП: а) с применением сплошного электрода; б) с применением трубчатого электрода (μ = 0,1); в) с применением трубчатого электрода (μ = 0,2); г) по поверхности первого сектора с применением сплошного электрода и трубчатых электродов





г)

Рисунок 12 - Распределение плотности теплового потока по поверхности свода ДСП: а) с применением сплошного электрода; б) с применением трубчатого электрода (μ = 0,1); в) с применением трубчатого электрода (μ = 0,2); г) по поверхности первого сектора

В результате математического моделирования установлено, что применение трубчатых электродов является достаточно эффективным с энергетической точки зрения и позволяет повысить эффективность работы ДСП. При этом максимальный тепловой поток на поверхность металла в зоне горения электрической дуги повышается при использовании электродов с отношением μ = 0,2 на 15 %, с отношением μ = 0,1 на 10,5 %, а так же этот максимум смещается ближе

к центру печи, что позволяет более равномерно распределить тепло по поверхности металла и уменьшить величину теплового потока на поверхность стен и свода печи.

Для оценки величины коэффициента использования тепла электрических дуг при использовании трубчатых электродов воспользовались следующим выражением:

$$\eta^{э}_{кит} = (0{,}8P_{a-k} + 0{,}05P_{д} + \phi_{д-м}(P_{д} - P_{a-k} - 0{,}05P_{д}))/P_{д} \qquad (7)$$

где $P_{Д}$ – мощность электрической дуги, идущая на нагрев и расплавление металла; $P_{a\text{-}k}$ – мощность, которая выделяется в анодном и катодном пятне; $\phi_{д\text{-}м}$ – средний угловой коэффициент излучения электрической дуги на металл, который показывает долю мощности электрической дуги, излучаемую столбом дуги на металлическую ванну.

Результаты расчета величины коэффициента использования тепла электрических дуг приведены в таблице 6.

Таблица 6 - Сравнительные данные тепловой работы ДСП-6-2Н на сплошных и трубчатых электродах

Параметр	Значение параметра		
	Сплошной электрод	Трубчатый электрод (μ=0,1)	Трубчатый электрод (μ=0,2)
Диаметр отверстия, мм	-	30	60
Угол отклонения электрической дуги от оси электрода, град	45	20	10
Средний угловой коэффициент излучения электрической дуги на металл	0,55	0,6	0,62
Коэффициент использования тепла электрической дуги	0,58	0,62	0,64

Анализ результатов расчета (табл. 6) показывает, что при равных условиях проведения электроплавки стали в ДСП одинаковой мощности и вместимости, наибольший коэффициент использования тепла электрических дуг наблюдается на печах, работающих на трубчатых электродах. Это происходит за счет большего среднего углового коэффициента излучения электрических дуг на поверхность металла и организации более направленного теплового потока. Кроме того, за счет увеличения плотности теплового потока, уменьшается длительность электроплавки и сокращается удельный расход электроэнергии на тонну выплавляемой стали, что свидетельствует об эффективности и перспективности применения трубчатых электродов в ДСП.

В пятой главе «Промышленные испытания трубчатых электродов на ДСП-6-2н» были проведены исследования в условиях действующего производства на электропечи ДСП-6-2Н №6 литейного цеха ОАО «ОЗММ».

Для проведения исследований в условиях механосборочного цеха ОАО «ОЗММ» методом сверления из сплошных электродов марки ЭГ-20 диаметром 300 мм., были изготовлены трубчатые электроды с отношением $d_{отв}/D_{эл}$ = 0,1. С использованием изготовленных электродов была проведена компания плавок, от ремонта до ремонта и произведено её сравнение с предыдущей кампанией плавок, выполненных на сплошных электродах.

По ходу плавок подвергались контролю следующие параметры: сила тока на электрической дуге, напряжение на электрической дуге, температура футеровки, общее время плавки, расход электроэнергии, вес завалок.

Электрические характеристики работы дуговой сталеплавильной печи контролировались с помощью системы визуализации НПК "ЭЛТА", установленной на ДСП-6-2Н.

Для измерения температуры внутренних точек футеровки по ходу ведения плавки применяли зачеканенные в футеровочный кирпич термопары, которые были установлены таким образом чтобы они находились на 350 мм. выше рабочей поверхности. В качестве термопар были выбраны платинородиевые термопары ТПР 2 821 006. С диапазоном измерения +600 до +1700 ^{0}С, схема их установки представлена на рисунке 13.

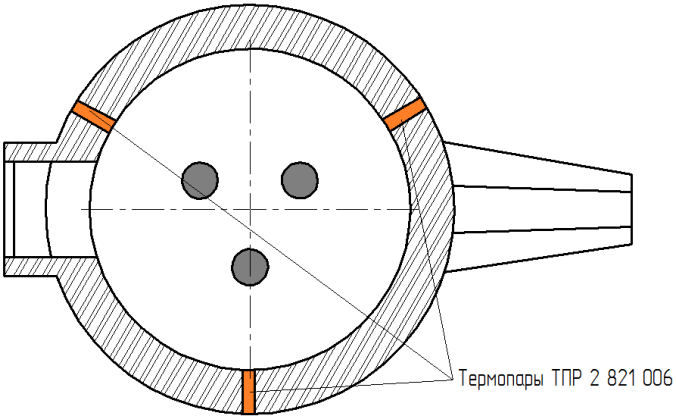


Рисунок 13 - Схема установки платинородиевых термопар ТПР 2 821 006

Для сравнительного анализа были выбраны плавки: сплошной электрод - № пл. 65295, трубчатый электрод - № пл. 65437. Выбранные плавки были выполнены методом окисления, марки стали 110Г13Л (1гр.), с одинаковой массой завалки и количества подвалок, без простоев оборудования.

На основе данных системы визуализации НПК "ЭЛТА", для сравнения токовых нагрузок, построены графики зависимости силы тока от времени плавки, которые представлены на рисунке 14.

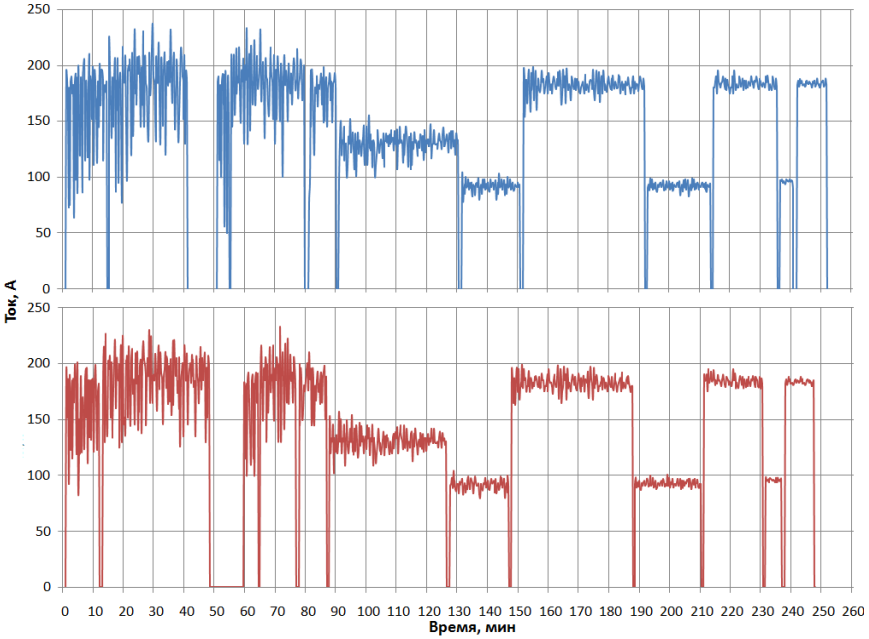


Рисунок 14 - График колебаний токовых нагрузок.
——— - сплошной электрод № пл. 65295; ——— - трубчатый электрод № пл. 65437

Из полученных графиков (рис. 14) видно, что амплитуда токовых колебаний ниже ≈ на 9 % при использовании трубчатых электродов, особенно это ярко выражено в период расплава металлической шихты. Снижение колебаний тока благоприятно воздействуют на энергетические показатели печи, так как колебания тока повышают расход электроэнергии и снижают производительность из-за простоев при отключении печи токовой защитой.

На рисунке 15 представлен график температуры внутренних точек футеровки по ходу ведения плавки. Из данного графика видно, что при работе на трубчатых электродах температура внутренней поверхности футеровки снижается в среднем на 26,18 ^{0}C, что подтверждает экспериментальные данные (глава 3).

Основные параметры плавок № пл. 65295 и № пл. 65437 представлены в таблице 7.

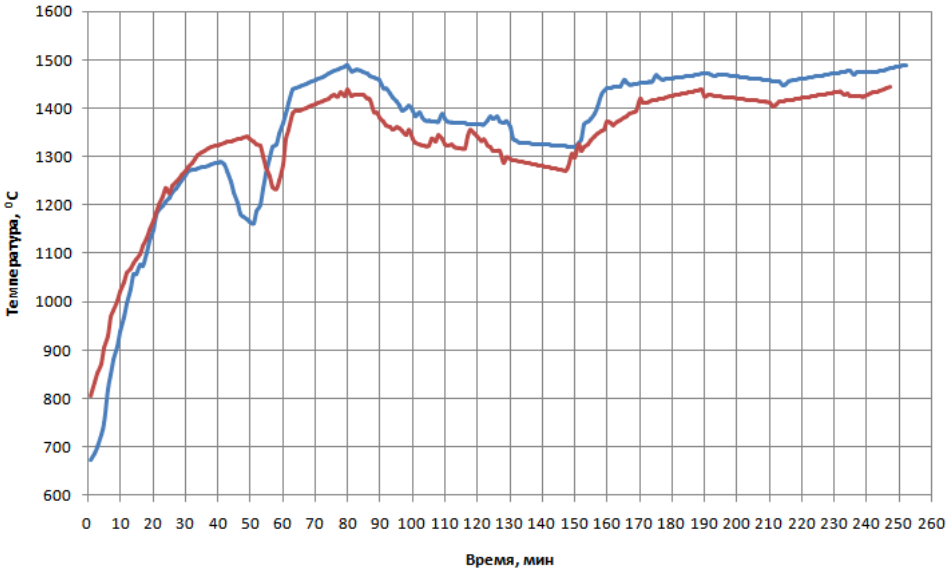
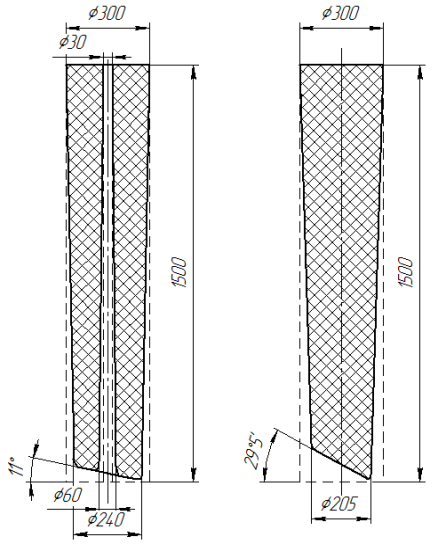


Рисунок 15 - График температуры внутренних точек поверхности футеровки по ходу ведения плавки.
——— - сплошной электрод № пл. 65295; ——— - трубчатый электрод № пл. 65437

Таблица 7 - Основные параметры плавок № пл. 65295 и № пл. 65437

Тип электрода	Сплошной электрод № пл. 65295	Трубчатый электрод № пл. 65437
Общее время плавки, мин	252	247,5
Удельный расход электроэнергии, кВт*ч/т	946	912
Потребление эл. энергии на плавку, кВт	28312,2	26325,9
Вес жидкого металла, т	7130	7012
Средняя температура футеровки, ^{0}C	1360,89	1336,70

По результатам проведенных испытаний был установлен характер обгорания и эрозии графитированных электродов в печи, представленный на рисунке 16, а также установлен расход электродов по длине и по массе, представленный в таблице 8.



А Б

Рисунок 16 - Схема эрозии графитированных электродов ЭГ 20.
А - Трубчатый электрод μ = 0,1; Б - Сплошной электрод

Таблица 8 - Расходов электродов

Тип электродов	Расход по массе, кг/т	Расход по длине, мм/т	Количество поломок электродов за кампанию
Сплошной	9,45	81	9 (сред)
Трубчатый	10,87	101	11

Анализируя установленный характер обгорания и эрозии графитированных электродов и данные расхода электродов по длине и по массе, можно сделать следующий вывод, что увеличение расхода трубчатых электродов (по массе на 15,02 %, по длине на 24,69 %) связано в первую очередь с увеличением поверхности контакта электродов с окисляющими газами за счет наличия отверстия. Однако, повышенный расход трубчатых электродов можно минимизировать путем подачи инертных газов азота или аргона через отверстия электродов.

Проведенный анализ данных кампании плавок показал, что применение трубчатых электродов позволяет сократить общее время плавки в среднем на 13 мин, снизить удельный расход электроэнергии в среднем на 65 кВт*ч/т, а также увеличить срок эксплуатации кирпичной футеровки на 16 %.

Заключение

На основании выполненных теоретических и экспериментальных исследований доказана перспективность применения трубчатых электродов на ДСП малой и средней вместимости. Получены следующие основные выводы и результаты:

1. Доказано, что применение трубчатых электродов в сравнении со сплошными, позволяет снизить угол отклонения электрической дуги от оси электрода с 45° до 10°. Установлено, что изменяя величину отношения внутреннего к внешнему диаметру трубчатого электрода (μ) от 0,1 до 0,35 можно обеспечить снижение угла отклонения электрической дуги от оси электрода с 20° до 10°

2. Получено выражение позволяющее рассчитать угол отклонения электрической дуги от оси электрода в зависимости от отношения внутреннего к внешнему диаметру трубчатого электрода.

3. Определено рациональное отношение μ = 0,1, исходя из критериев максимизации механической прочности и минимизации расхода электродов за счет окисления и эрозии рабочих торцов электродов, обеспечивающее снижение энергетических затрат на выплавку электростали.

4. Разработана компьютерная программа цифровой обработки видеоизображений позволяющая оценить угол отклонения электрической дуги от оси электрода, во время ее горения в рабочем пространстве дуговой печи.

5. Разработан алгоритм и программа расчета распределения тепловых потоков в рабочем пространстве ДСП, учитывающая геометрические размеры трубчатого электрода.

6. Установлено, что изменение величины (μ) позволяет изменить направленность тепловых потоков в рабочем пространстве ДСП, а именно повысить долю тепла передаваемой ванне на 15 %, снизить долю излучения тепла на поверхность стен и свода на 9 %.

7. Промышленными исследованиями на ДСП емкостью 7 т. установлено, что применение трубчатых электродов позволяет сократить общее время плавки в среднем на 13 мин., снизить удельный расход электроэнергии в среднем на 65 кВт*ч/т, а так же увеличить срок эксплуатации футеровки на 16 %, что подтверждено актом проведения промышленных исследований на ОАО «ОЗММ».

Публикации по теме диссертации в изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Ткачев, А.С. Система управления температурным режимом дуговой сталеплавильной печи, работающей с непрерывной загрузкой металлизованных окатышей и вспениванием печного шлака / А. С. Ткачев, А. А. Кожухов, И.В. Рябинин // Металлург. - 2012. - № 1. - С. 34-38.

2. Ткачев, А.С. Разработка методики расчета и оценка рациональной скорости загрузки металлизованных окатышей в дуговую печь при использовании

различных типов электродов / А. С. Ткачев, А. А. Кожухов, Э. Э. Меркер, И.В. Рябинин // Бюллетень научно-технической и экономической информации черная металлургия. - 2012. - №10. - С. 54-56.

3. Ткачев, А. С. Исследование облученности стен дуговой сталеплавильной печи с применением электродов различной конструкции / А. С. Ткачев, А. А. Кожухов, Э. Э. Меркер // Известия вузов. Черная металлургия. - 2012. - № 9. - С. 17 - 20.

4. Ткачев, А. С. Оценка коэффициента использования тепла электрических дуг при использовании различных типов электродов на современных дуговых сталеплавильных печах / А. С. Ткачев, А. А. Кожухов, Э. Э. Меркер // Известия вузов. Черная металлургия. – 2012. - № 11. - С. 14 – 17.

5. Ткачев, А.С. Исследование энергетических режимов работы современных дуговых сталеплавильных печей при использовании различных типов электродов / А. С. Ткачев, А. А. Кожухов, Э. Э. Меркер, И.В. Рябинин // Изв. вуз. Черная металлургия. - 2013. - №1. - С. 6-10.

6. Ткачев А.С., Кожухов А.А., Меркер Э.Э. Оценка эффективности тепловой работы водоохлаждаемых элементов дуговой сталеплавильной печи при работе на электродах различной конструкции / А. С. Ткачев, А. А. Кожухов, Э. Э. Меркер // Изв. вуз. Черная металлургия. - 2013. - №1. - С. 10-12.

7. Ткачев, А. С. Экспериментальное изучение влияния полого (трубчатого) электрода на характер горения электрической дуги в дуговой сталеплавильной печи / А. С. Ткачев, А. А. Кожухов, Е. Н. Мельников // Изв. вуз. Черная металлургия. - 2015. - № 3. - С. 207 - 209.

8. Ткачев А.С. Оптимизация режима загрузки металлизованных окатышей в ДСП на основе контроля теплового состояния ванны / А.С. Ткачев, А.А. Кожухов, А.В. Сазонов // Областная научно – практическая конференция «Белгородская область: прошлое, настоящее и будущее»: материалы конф. – Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2011. – С. 228-232.

9. Ткачев А.С. Исследование распределения тепловых потоков по поверхности металла в ДСП / А.С. Ткачев, А.А. Кожухов // 5-я региональная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и соискателей: материалы конф. – Старый Оскол, 2009. – С. 150-151.

10. Ткачев, А.С. Исследование эффективности применения трубчатых электродов и их влияние на тепловую работу дуговой сталеплавильной печи / А.С. Ткачев, А.А. Кожухов // Областная научно – практическая конференция «Белгородская область: прошлое, настоящее и будущее»: материалы конф. – Белгород: Изд-во БелГУ, 2010. – С. 90-94.

11. Ткачев А.С. Расчет распределения потоков излучения дуг в дуговой сталеплавильной печи при их работе на полых электродах / А.С. Ткачев, А.А. Кожухов, Э.Э. Меркер, А.В. Сазонов. // труды 3-й всероссийской научно практической конференции «Моделирование, программное обеспечение и наукоемкие технологии в металлургии 2011» / под редакцией С.П. Молчанова, В.П.

Цымбала : Сиб. гос. идустр. ун-т. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2011. С. 305-311.

12. Ткачев А.С. Об особенностях электроплавки металлизованных окатышах в дуговой сталеплавильной печи / Э.Э. Меркер, А.А Шевченко, А.А. Кожухов, А.С. Ткачев // 5 научно-практическая конференция «Энергосберегающие технологии в промышленности. Печные агрегаты. Экология. Безопасность технологических процессов»: материалы конф.. – Москва, 2010. – С. 283-292.

13. Ткачев, А.С. Моделирование энергетических режимов работы сверхмощных дуговых сталеплавильных печей при использовании электродов различных типов / А.С. Ткачев, А.А. Кожухов // 6-я международная научно-практическая конференция «Энергосберегающие технологии в промышленности. Печные агрегаты. Экология»: материалы конф.. – Москва, 2012. – С. 453-457.

14. Ткачев А.С. Исследование распределения тепловых потоков по поверхности металла в дуговой сталеплавильной печи / А.С. Ткачев, А.А. Кожухов // 3-я научно-техническая конференция ОАО «ОЭМК»: материалы конф. – Старый Оскол, 2010. – С. 95-97.

15. Ткачев А.С. Применение трубчатых электродов в дуговой сталеплавильной печи / А.С. Ткачев, А.А. Кожухов, Э.Э. Меркер // 6-я региональная научно-практическая конференция студентов и аспирантов. Посвященная 80-летию МИСиС: материалы конф. – Старый Оскол, 2010. – С. 51-53.

16. Ткачев А.С. Оптимизация режима загрузки металлизованных окатышей в ДСП на основе контроля теплового состояния ванны / А.С. Ткачев, А.А. Кожухов, А.В. Сазонов // Научно-практическая конференция преподавателей, сотрудников и аспирантов с международным участием «Образование, наука, производство и управление»: материалы конф. – Старый Оскол, 2010. – С. 96-98.

17. Ткачев А.С. Эффективность работы водоохлаждаемых элементов дуговой сталеплавильной печи при работе на полых электродах / А.С. Ткачев, А.А. Кожухов, А.В. Сазонов // Научно-практическая конференция преподавателей, сотрудников и аспирантов с международным участием «Образование, наука, производство и управление»: материалы конф. – Старый Оскол, 2010. – С. 83-86.

18. Ткачев А.С. Эффективность тепловой работы дуговой сталеплавильной печи на полых электродах / А.С. Ткачев, А.А. Кожухов // 7-я научно-практическая конференция студентов и аспирантов «Дни науки СТИ НИТУ МИСиС»: материалы конф. – Старый Оскол, 2011. – С. 21-22.

19. Ткачев А.С. Исследование теплообмена в дуговой сталеплавильной печи при ее работе на полых электродах / А.С. Ткачев, А.А. Кожухов // Всероссийская научно-практическая конференция преподавателей, сотрудников и аспирантов с международным участием «Образование, наука, производство и управление»: материалы конф. – Старый Оскол, 2011. – С. 24-29.

20. Ткачев А. С. Разработка алгоритма управления температурным режимом дуговой сталеплавильной печи, работающей с непрерывной загрузкой металлизованных окатышей и вспениванием печного шлака / А.С. Ткачев, А.А. Кожухов, И. В. Рябинин // Всероссийская научно-практическая конференция преподавателей, сотрудников и аспирантов с международным участием «Образование, наука, производство и управление»: материалы конф. – Старый Оскол, 2011. – С. 29-34.

21. Ткачев А.С. Исследование облученности стен дуговой печи с применением электродов различной конструкции / А.С. Ткачев, А.А. Кожухов // 8-я научно-практическая конференция студентов и аспирантов с международным участием: материалы конф. – Старый Оскол, 2012. – С.

22. Ткачев А.С. Разработка энергоэффективной технологии выплавки стали в дуговой сталеплавильной печи / А.С. Ткачев, А.А. Кожухов // Всеросийский смотр - конкурс научно-технического творчества «Эврика 2012»: сборник конкурсных работ. – Новочеркасск, 2012. – С. 158-161.

23. Ткачев А.С. Оценка эффективности тепловой работы водоохлаждаемых элементов дуговой сталеплавильной печи при работе на электродах различной конструкции / А.С. Ткачев, А.А. Кожухов // 9-я международная научно-техническая конференция «Современная металлургия начала нового тысячелетия»: материалы конф. – Липецк, 2012. – С. 225-229.

24. Ткачев А.С. Исследование степени облученности стен дуговой сталеплавильной печи с применением электродов различной конструкции / А.С. Ткачев, А.А. Кожухов // 9-я международная научно-техническая конференция «Современная металлургия начала нового тысячелетия»: материалы конф. – Липецк, 2012. – С. 220-225.

25. Ткачев А.С. Методика расчета и оценка рациональной скорости загрузки металлизованных окатышей в дуговую печь при использовании различных типов электродов / А.С. Ткачев, А.А. Кожухов, И.В. Рябинин // 9-я международная научно-техническая конференция «Современная металлургия начала нового тысячелетия»: материалы конф. – Липецк, 2012. – С. 207-213.

26. Ткачев А.С. Определение коэффициента использования тепла электрических дуг при использовании различных типов электродов на современных дуговых сталеплавильных печах. / А.С. Ткачев, А.А. Кожухов, А.В. Сазонов, И.В. Рябинин // 9-я международная научно-техническая конференция «Современная металлургия начала нового тысячелетия»: материалы конф. – Липецк, 2012. – С. 213-220.

ОТЗЫВ

научного руководителя на диссертационную работу
Ткачева Александра Сергеевича
по теме: «Исследование и оценка эффективности применения трубчатых электродов с целью снижения энергетических затрат при выплавке сталив дуговых сталеплавильных печахмалой и средней вместимости»,
представленную к защите на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности
05.16.02 – «Металлургия черных, цветных и редких металлов».

Александр Сергеевич начал свою научно-исследовательскую работу после обучения в СТИ МИСиС, который закончил с красным дипломом. Обучался в аспирантуре и впоследствии в должности ассистента и инженера успешно продолжил работу в институте. Неоднократно выступал на международных и Всероссийских конференциях с обсуждением материалов диссертации. Является: призером 3 научно-технической конференции ОАО «Оскольский электрометаллургический комбинат» - диплом 3-й степени; лауреатом премии «Молодость Белгородчины» (2010 г.); лауреатом Всероссийского смотр-конкурса научно-технического творчества "Эврика 2012"; лауреатом премии по поддержки талантливой молодежи, установленной Указом Президента Российской Федерации от 6 апреля 2006 г. № 325 «О мерах государственной поддержки талантливой молодежи» (2010 г.); награжден дипломом, за лучшую аспирантскую работу в конкурсе научных работ по направлению «Металлургия и металловеденье», посвященному С.П. Угаровой (2010 г.).

Ткачев А.С. прошел научную стажировку на ОАО «ОЭМК». Принимал участие в хоздоговорной теме: «Проведение исследований и разработка метода неразрушающего контроля качества отливки шлаковых чаш в условиях ОАО «ОЭМК».

При выполнении работы по теме диссертации Ткачев А.С. проанализировал большой объем отечественной и зарубежной научно- технической литературы, провел патентный поиск. Он в курсе последних научных работ в

области электрометаллургии. В рамках диссертационной работы Ткачев А.С. провел большое количество экспериментов.

За время обучения в СТИ НИТУ «МИСиС» по теме диссертации опубликовал 7 статей в рецензируемых журналах из перечня ВАК.

На основании вышеизложенного, можно утверждать, что диссертант способен самостоятельно ставить и решать научные задачи, квалифицированно выполнять научно-исследовательскую работу.

Диссертант за период работы над диссертацией проявил хорошие организаторские способности, самостоятельность, настойчивость и трудолюбие, что способствовало написанию труда, обладающего новизной и практической значимостью, на основе обработки полученных экспериментальных данных. Эти данные получены автором на лабораторных установках, и на основе анализа работы действующих агрегатов в промышленных условиях.

Анализируя диссертационную работу, в целом, считаю, что диссертация представляет собой законченное научно-техническое исследование. Работа выполнена на высоком научном уровне, имеет теоретическое и практическое значение в области электрометаллургии стали.

По своей актуальности, научной новизне и практической значимости, диссертация отвечает всем требованиям п. 7 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор Ткачев Александр Сергеевич, заслуживает учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – «Металлургия черных, цветных и редких металлов».

Научный руководитель

доцент, кандидат технических наук А.А. Кожухов

ОТДЕЛ КАДРОВ

СТИ НИТУ "МИСиС"
Подпись заверяю
Начальник отдела кадров
О.Н.Перминова
"25" 02 2016 г.

Объявление о защите диссертации на соискание ученой степени кандидата наук

Диссертационный совет Д 212.132.02 при Национальном исследовательском технологическом университете «МИСиС», 119049, Москва, Ленинский проспект, 6, объявляет, что **Ткачев Александр Сергеевич** представил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук «Исследование и оценка эффективности применения трубчатых электродов с целью снижения энергетических затрат при выплавке стали в дуговых сталеплавильных печах малой и средней вместимости» по специальности 05.16.02 – «Металлургия черных, цветных и редких металлов».

Защита диссертации состоится 24 ноября 2016 г.

Текст объявления о защите диссертации и полный текст диссертации размещены на сайте НИТУ «МИСиС» 27 апреля 2015 г. по адресу: http://old.misis.ru/about-university/news/tkachev-aleksandr-sergeevich