



ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук, Нехамина Сергея Марковича на диссертационную работу Ткачева Александра Сергеевича «Исследование и оценка эффективности применения трубчатых электродов с целью снижения энергетических затрат при выплавке стали в дуговых сталеплавильных печах малой и средней вместимости», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 - «Металлургия черных, цветных и редких металлов»

Актуальность темы диссертации.

Диссертация Ткачева А.С. посвящена актуальной теме – исследованию и разработке технологических приемов, обеспечивающих снижение энергоемкости производства стали в ДСП малой и средней вместимости, которые являются основными агрегатами для выплавки высоколегированных сталей и сплавов для различных отраслей промышленности. В качестве предмета исследования выбран один из способов решения указанной проблемы использование трубчатых (полых) электродов с целью повышения тепловых и технологических показателей работы печей данного типа.

Актуальна оценка эффективности использования электродов данного типа на печах средней и малой вместимости. Применение трубчатых (полых) электродов, исследование их влияния на тепловые и энергетические показатели работы ДСП, определение эффективности их использования для снижения энергетических затрат при выплавке стали также являются актуальными.

Научная новизна работы.

В работе исследовано влияние диаметра отверстия в электроде на тепловые и энергетические показатели работы ДСП и дана оценки эффективности их применения для снижения энергетических затрат при выплавке стали. Показана возможность получения требуемого распределения тепловых потоков от электрической дуги в рабочем пространстве ДСП путем изменения отношения μ диаметра отверстия в электроде ($d_{\text{отв}}$) к диаметру электрода ($D_{\text{эл}}$). Наибольший положительный результат наблюдается при $\mu = 0,1$.

Разработана компьютерная программа цифровой обработки видеоизображений, позволяющая оценить угол отклонения электрической дуги от оси электрода при ее горении в дуговой печи. Разработана программа расчета распределения тепловых потоков в рабочем пространстве ДСП при использовании трубчатого электрода.

Практическая значимость.

Автор показал, что при использовании (вместо сплошных) трубчатых электродов повышается эффективность электроплавки стали на печах малой и средней вместимости благодаря снижению продолжительности плавки, уменьшается удельный расход электроэнергии и увеличивается стойкость футеровки печи. Установленная в лабораторных экспериментах наиболее рациональная величина $\mu = 0,1$ для трубчатых электродов, в условиях их промышленного опробования на ДСП вместимостью 7 т, позволила сократить энергетические затраты при выплавке стали.

Продолжительность плавки в при плавке 7 тонн в ДСП сократилась на 13 мин, снизился удельный расход электроэнергии на 65 кВт·ч/т и увеличилась стойкость футеровки на 16 %, что подтверждено актом промышленных исследований на ОАО «ОЗММ» (г.Сарый Оскол).

Достоверность научных результатов.

В исследовании обеспечена воспроизводимость и согласованность полученных данных с результатами промышленных экспериментов, а также

литературных данных. Текст диссертации и автореферат проверены на отсутствие плагиата с помощью программы "Антиплагиат".

В первой главе диссертационной работы, на основе анализа научно-технической литературы показано, что одним из путей решения проблемы снижения энергетических затрат в дуговых печах является применение трубчатых электродов. На основе анализа литературных источников автор сформулировал задачи исследования.

Во второй главе приведены результаты исследований на лабораторной электропечной установке сплошных и трубчатых электродов с наружным диаметром 35 мм. Величина μ варьировалась в интервале 0,05 - 0,5. Скоростная видеосъемка электрической дуги и результаты ее цифровой обработки позволили автору установить зависимость степени выдувания электрической дуги из-под электрода от величины μ . Показано, что угол отклонения электрической дуги от оси электрода в сравнении со сплошными электродами может быть снижен с 45° до 10° . При этом наименьший угол отклонения электрической дуги наблюдается при $\mu = 0,2...0,3$.

Автором получены экспериментальные данные о величине расхода электродов за счет окисления и эрозии рабочих торцов трубчатых и сплошных электродов. При увеличении μ с 0,05 до 0,5 наблюдается рост величины расхода электрода за счет окисления и эрозии его торца.

Третья глава посвящена определению эффективности тепловой работы ДСП при использовании сплошных и трубчатых электродов с помощью физической модели. Получено, что применение трубчатых электродов позволяет снизить тепловой поток на поверхность стен в наиболее горячей точке в среднем на 14,5 - 18 %. На основе полученных данных автор делает вывод об увеличении стойкости кирпичной футеровки, а также уменьшить тепловые потери через стены дуговой печи.

На лабораторной электропечной установке изучено влияние на скорость расплавления металлической шихты использования сплошных и

трубчатых электродов. Соискатель показывает, что применение трубчатых электродов сокращает продолжительность расплавления на 6-9 %.

В четвертой главе методом математического моделирования автор исследовал эффективность тепловой работы ДСП при использовании трубчатых электродов показала. Тепловой поток на поверхность металла в зоне горения электрической дуги повышается на 15 % при использовании трубчатых электродов с $\mu = 0,2$.

В главе 5 представлены результаты выполненных соискателем исследований работы электропечи ДСП-6-2Н №6 литейного цеха ОАО «ОЗММ» с трубчатыми электродами в условиях действующего производства. Полученные результаты исследования показали, что амплитуда колебаний тока снижается на 9 % при использовании трубчатых электродов и уменьшается температура внутренней поверхности футеровки.

Положительные результаты использования рекомендаций, разработанных в диссертации автором, подтверждены соответствующим актом проведения промышленных исследований на ОАО «ОЗММ».

Автореферат диссертации и опубликованные по ней научные статьи достаточно полно отражают ее содержание.

Вместе с тем, по данной диссертационной работе имеются следующие замечания:

1. В название диссертации сделан акцент на «оценке эффективности применения трубчатых электродов», но в работе не сформулирован соответствующий единый критерий. На стр. 59 диссертации сказано, что при $\mu = 0,2$ на 12,4% выше максимальное статическое напряжение в верхней части ниппеля, чем у электрода сплошного сечения. Далее указано, что сплошной электрод при обвале на него шихты может выдержать на 30,1% большую нагрузку, чем трубчатый с $\mu = 0,2$. Из рис.2.5 на стр. 47 следует, что меньшее отклонение столба дуги от вертикали наблюдается при $\mu = 0,2...0,3$. Тенденции разнонаправленные и заявление об «оптимальности» выбранного относительного диаметра отверстия, равного $\mu = 0,1$, обоснования не имеет.

2. Отсутствует объяснение и обоснование физической природы и количественного определения силы, препятствующей отклонению столба дуги от вертикали. Утверждения на стр.37, что давление сжатия столба дуги характеризует восстанавливающую силу, не достаточно для определения пространственного расположения столба дуги. Поскольку от угла наклона столба дуги зависят остальные параметры ее взаимодействия с окружающим пространством, последующие выкладки относительно глубины мениска и длины дуги также недостаточно обоснованы.

3. В разделе 3.1 допущены методические ошибки. При исследовании облученности стен в ДСП принята модель в виде сектора, составляющего 1/3 цилиндрической ванны печи. Теплообмен в таком секторе не является подобным теплообмену в цилиндрической ванне с тремя электродами, поскольку отражение излучения от радиальных стенок модели не является полным. Лучистый теплообмен в дуговой сталеплавильной печи характеризуется иными закономерностями, чем электрическое потенциальное поле в руднотермических печах, для которых А.С. Микулинским (на работу которого ссылается автор) был разработан метод расчета, основанный на теории подобия. Использование этого метода в данном случае не корректно. Кроме того, предложенный соискателем параметр K_{Π} (3.11) является размерной величиной $[Ом \cdot м^2]$ и не может служить критерием подобия.

4. Рисунок 4.1 противоречит утверждению соискателя об образовании мениска на поверхности ванны вследствие давления столба дуги.

5. При исследовании тепловой работы ДСП (раздел 4.1 диссертации) не определена роль конвективного теплообмена.

6. Раздел 4.2 является обзором литературных данных и его следовало бы поместить вначале диссертации.

7. Ряд ссылок на литературные источники, например на стр. 39-41, не соответствуют библиографическому списку, приведенному в диссертации.

В целом, автором выполнена полезная диссертационная работа, имеющая научную и практическую значимость.

Заключение

Диссертационная работа Ткачева Александра Сергеевича является завершенной научно-квалификационной работой, которая соответствует критериям, установленным п. 9 Положения «О порядке присуждения ученых степеней», утвержденным Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. №842; в ней содержится решение задачи, имеющей существенное значение для металлургического производства, а именно повышения эффективности производства стали в дуговых сталеплавильных печах, в которых обычно выплавляется высоколегированные марки стали и сплавы для различных отраслей промышленности. Автор представленной диссертации заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 - «Металлургия черных, цветных и редких металлов».

Официальный оппонент
доктор технических наук


С.М. Нехамин



Приложение к отзыву официального оппонента

Нехамина Сергея Марковича

Нехамин С.М. - доктор технических наук по специальности 05.09.10-«электротехнология» (Серия ДНД № 001967 от 04.12.2015 г.), защитил диссертацию в ФГБОУ ВПО «НИУ «МЭИ» в 2015 г. С 1997 года и по настоящее время является Генеральным директором Общества с ограниченной ответственностью «Научно-производственная фирма КОМТЕРМ», специализирующегося на разработке и изготовлении электродуговых печей.

Почтовый адрес: 105275 Москва, ул. 5-я Соколиной Горы, дом 18, корп. 1,
Телефон: (495) 366-32-34 94 (раб.) и +7-916-404-07-87 (моб).

Список публикаций С.М.Нехамина с 2011 года.

1. Нехамин С.М., Елизаров К. А., Зайцев Г. В. [и др.] Опыт реконструкции дуговой сталеплавильной печи ДСП-25 в литейном производстве // Электromеталлургия, 2011, № 7. –С. 7 - 13.

2. Елизаров К.А., Крутянский М.М., Нехамин И.С., Нехамин С.М./Новые направления развития дуговых печей постоянного//Электromеталлургия, 2013, № 12. –С. 3-9.

3. Нехамин С.М., Митрофанов М. В., Киселев В. С. [и др.] Новая сталеплавильная печь для литейщиков. Дуговая печь постоянного тока для плавки стали емкостью 2 тонны (до 3 тонн) типа ДП-2 // Литейщик России, 2011, № 5. - С. 27 – 31.

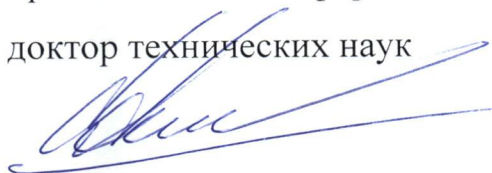
4. Крутянский М.М., Нехамин С.М., Ребиков Е.М./ Расчёт газовыделений из дуговых печей постоянного и переменного тока в литейном цехе//Электromеталлургия, 2016, № 7. –С 27-34.

5. Нехамин С. М. Зонная структура ванны электродных плавильных печей при работе на постоянном токе и токе пониженной частоты // Metallurg, 2014, № 2. –С. 57 – 64.

Генеральный директор

ООО «Научно-производственная фирма

«КОМТЕРМ», доктор технических наук



Сергей Маркович Нехамин

Подпись Нехамина С.М. удостоверяю:

Директор по персоналу, договорным отношениям

и правовым вопросам ООО «НПО КОМТЕРМ»

Е.А.Егурнова



ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук, профессора Смирнова Николая Александровича на диссертационную работу Ткачева Александра Сергеевича «Исследование и оценка эффективности применения трубчатых электродов с целью снижения энергетических затрат при выплавке стали в дуговых сталеплавильных печах малой и средней вместимости», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 - «Металлургия черных, цветных и редких металлов»

Актуальность темы диссертации. Важным фактором дальнейшего развития электросталеплавильного производства является внедрение различных высокоэффективных способов интенсификации выплавки стали в дуговых печах (ДСП), что позволяет снизить удельный расход электроэнергии, сократить продолжительность плавки и повысить технико-экономические показатели работы ДСП. Для современных высокомошных ДСП повышенной вместимости разработаны технологические и конструктивные приемы, позволяющие значительно снизить затраты на выплавку стали и повысить их производительность. При этом прямой перенос этих предложений на ДСП средней и малой вместимости обычно малоэффективен или практически невозможен. Поэтому представляется актуальным разработка технологических приемов, обеспечивающих снижение энергоемкости производства стали в ДСП малой и средней вместимости, которые являются основными агрегатами для выплавки высоколегированных сталей и сплавов для различных отраслей промышленности.

Одним из способов решения указанной проблемы является проведение исследований, направленных на изучение 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. Применение трубчатых (полых) графитированных электродов, исследование влияние которых на тепловые и энергетические показатели работы ДСП и оценки эффективности их

применения для снижения энергетических затрат при выплавке стали является актуальной задачей.

Научная новизна работы. Установлена возможность изменением отношения диаметра отверстия в электроде ($d_{\text{отв}}$) к диаметру электрода ($D_{\text{эл}}$) получить определенную направленность тепловых потоков электрической дуги в рабочем пространстве ДСП, за счет изменения электромагнитной силы отклонения электрической дуги от оси электрода. Показано, что отношение ($\mu = d_{\text{отв}}/D_{\text{эл}}$) в пределах 0,1 - 0,35 обеспечивает отклонения этого угла до 20° - 10° . При этом наибольший положительный результат наблюдается при $\mu = 0,1$, исходя из возможности получения максимальной механической прочности и минимального расхода электродов за счет окисления и эрозии рабочих торцов, снижения энергетических затрат на выплавку стали и повышения тепловых и технологических показателей работы ДСП, а именно повышения доли тепла, передаваемой ванне на 15 % и снижения доли излучения тепла на поверхность футеровки стен и свода на 9 %.

Предложенная автором аналитическая зависимость позволит рассчитать угол отклонения электрической дуги от оси трубчатого электрода в зависимости от величины отношения внутреннего к внешнему его диаметру.

Разработана компьютерная программа цифровой обработки видеоизображений, позволяющая оценить угол отклонения электрической дуги от оси электрода при ее горении в дуговой печи. Разработан также алгоритм и программа расчета распределения тепловых потоков в рабочем пространстве ДСП, учитывающая геометрические размеры трубчатого электрода.

Практическая значимость. В работе показано, что применение трубчатых электродов вместо сплошных позволяет повысить эффективность электроплавки стали на печах малой и средней вместимости за счет снижения продолжительности плавки, удельного расхода электроэнергии, и

увеличения срока эксплуатации футеровки печи. Установленная в лабораторных экспериментах наиболее рациональная величина $\mu = 0,1$ для трубчатых электродов, в условиях их промышленного опробования на ДСП вместимостью 7 т., позволила сократить продолжительность плавки в среднем на 13 мин, снизить удельный расход электроэнергии в среднем на 65 кВт·ч/т и увеличить срок эксплуатации футеровки на 16 %, что подтверждено соответствующим актом проведения промышленных исследований на ОАО «ОЗММ».

Достоверность научных результатов подтверждается хорошей воспроизводимостью и согласованностью полученных данных с результатами промышленных экспериментов, а также литературных источников. Текст диссертации и автореферат проверены на отсутствие плагиата с помощью программы "Антиплагиат".

Приступая к выполнению данной диссертационной работы, автором на основе анализа научно-технической литературы установлено, что одним из путей решения проблемы снижения энергетических затрат в дуговых печах малой и средней вместимости является применение трубчатых электродов. При этом отмечено отсутствие точных данных о влиянии данного типа электродов на режим горения электрической дуги, тепловую работу ДСП и эффективность электроплавки в целом. Выполненный обстоятельный анализ литературных данных позволил автору грамотно сформулировать основные задачи исследования, включающие режим горения электрической дуги при использовании трубчатых графитированных электродов, их эксплуатационные характеристики, а также влияние трубчатых электродов на характер распределения тепловых потоков в рабочем пространстве ДСП и оценить эффективность тепловой работы и технико-экономические показатели ДСП при их применении.

При выполнении обширных исследований на лабораторной электропечной установке применялись сплошные и трубчатые графитированные электроды с наружным диаметром 35 мм. Величина μ

варьировалась в пределах 0,05 - 0,5. В ходе проведения экспериментов велась скоростная видеосъемка режима горения электрической дуги, результаты которой были подвергнуты цифровой обработке с помощью компьютерной программы. Анализ полученного видеоматериала позволил автору установить, что степень выдувания электрической дуги из-под электрода определяется величиной μ . По результатам обработки полученных данных был построен график зависимости угла отклонения электрической дуги от оси электрода при различных значениях величины μ (рис. 2.5, с. 47). Наглядно показано, 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 наблюдается при $\mu = 0,2$. Из полученных данных также следует, что существует диапазон отношений диаметра отверстия к диаметру трубчатого электрода ($\mu = 0,1 \div 0,35$), при котором можно обеспечить снижение угла отклонения электрической дуги от оси электрода с 20° до 10° . На основе полученных данных автором получено уравнение, позволяющее рассчитать этот угол в зависимости от величины μ .

В этих экспериментах были также получены данные о величине расхода электродов за счет окисления и эрозии рабочих торцов, анализ которых показывает, что расход трубчатых электродов несколько выше в сравнении со сплошными электродами. При этом по мере увеличения величины отношения диаметра отверстия к диаметру трубчатого электрода ($\mu = 0,05 \div 0,5$) наблюдается рост величины расхода электрода за счет окисления и эрозии его торца. Автор это объясняет увеличением поверхности контакта рабочей поверхности электрода с окислительной атмосферой печи.

Сравнение механической прочности трубчатых и сплошных электродов, а именно способности выдерживать механические нагрузки, автор выполнил расчетным путем, используя компьютерную программу "Лира". Анализ представленных результатов (табл. 2.5, с. 58) показывает, что наибольшей механической прочностью обладают сплошные электроды.

Вместе с тем, при $\mu = 0,1$ происходит незначительное снижение механической прочности трубчатых электродов, которая при дальнейшем увеличении μ значительно сказывается на снижении их механической прочности.

На основе полученных данных автор делает вывод о преимуществах применения трубчатых электродов с отношением диаметра отверстия к диаметру электрода $\mu = 0,1$, так как именно это отношение обеспечит незначительное снижение механической прочности в сравнении со сплошными электродами. Кроме того, применение трубчатых электродов с величиной $\mu = 0,1$, обеспечит незначительное повышение величины расхода электродов за счет окисления и эрозии рабочих концов. Приведенные автором расчетные данные показывают, применение трубчатых электродов с отношением $\mu = 0,1$ в сравнении с $\mu = 0,2$ позволит снизить расход электродов на 9 %, повысить механическую прочность к нагрузкам, возникающим при эксплуатации дуговых печей на 10 % и обеспечить снижение степени выдувания электрической дуги из-под электрода.

Оценка эффективности тепловой работы ДСП при использовании сплошных и трубчатых электродов была исследована на физической модели, представляющей собой модель сектора рабочего пространства промышленной ДСП-6-2Н ОАО «ОЗММ». На экспериментальной лабораторной электропечной установке (рис. 3.3, с. 66) автор использовал сплошные и трубчатые электроды с $\mu = 0,2$ и $0,1$. Результаты проведенных экспериментов с указанными электродами были представлены в таблице 3.2 (с. 70), из которых следует, что при использовании трубчатого электрода электрическая дуга горит более стабильно. Это подтверждается меньшим количеством обрывов дуги и большим временем работы под током. Анализ полученных термограмм и фотографий показывает, что доля излучения на вертикальную боковую стенку экспериментальной установки значительно ниже при использовании трубчатых электродов. С применением компьютерной программы Sat Report получен характер распределения

теплового потока по поверхности вертикальных стен данной установки. Показано, что применение трубчатых электродов снижает величину теплового потока на поверхность стен в наиболее горячей точке в среднем на 18 % у электрода с $\mu = 0,2$, на 14,5 % у электрода с $\mu = 0,1$. На основе полученных данных автор делает вывод, что применение трубчатых электродов на ДСП малой и средней вместимости позволит снизить температуру поверхности стен, увеличить срок эксплуатации (стойкость) кирпичной футеровки, а также уменьшить тепловые потери через стены дуговой печи и, как следствие, сократить удельный расход электроэнергии и повысить технико-экономические показатели выплавки стали в ДСП.

Для изучения скорости расплавления металлической шихты при использовании сплошных и трубчатых электродов была использована лабораторная электропечная установка (рис. 3.8 с. 76). Анализ полученных данных (табл. 3.3, с. 77) показывает, что применение трубчатых электродов сокращает продолжительность расплавления на 9 % для электрода с $\mu = 0,2$, на 6 % - у электрода с отношением $\mu = 0,1$. Полученные результаты автор объясняет тем, что использование трубчатых электродов позволяет создать более направленный тепловой поток, повысить мощность электрической дуги, что и приводит к уменьшению времени расплавления.

Оценка автором эффективности тепловой работы ДСП при использовании трубчатых электродов методом математического моделирования показала, что их применение является достаточно эффективным с энергетической точки зрения. При этом максимальный тепловой поток на поверхность металла в зоне горения электрической дуги повышается при использовании трубчатых электродов с $\mu = 0,2$ на 15 %, и с $\mu = 0,1$ на 10,5 %. Кроме того, этот максимум смещается ближе к центру печи, что обеспечивает более равномерное распределение тепла по поверхности металла и уменьшает величину теплового потока на поверхность стен и свода печи.

Результаты расчета коэффициента использования тепла электрических дуг на ДСП-6-2Н (табл. 4.1, с. 126) показывают, что наибольшая его величина наблюдается при работе на трубчатых электродах. По мнению автора, это происходит за счет большего среднего углового коэффициента излучения электрической дуги на поверхность металла и организации более направленного теплового потока. При этом в результате увеличения плотности теплового потока уменьшается продолжительность плавки и сокращается удельный расход электроэнергии, что также свидетельствует об эффективности и перспективности применения трубчатых электродов в ДСП.

Автором были проведены также исследования по использованию трубчатых электродов в условиях действующего производства на электропечи ДСП-6-2Н №6 литейного цеха ОАО «ОЗММ». Такие электроды были изготовлены методом сверления из сплошных графитированных электродов ЭГ-20 диаметром 300 мм с отверстиями диаметром 30 мм ($\mu = 0,1$). С применением изготовленных электродов была проведена серия плавов с последующим сравнением результатов предыдущих плавов, с использованием сплошных электродов. Для сравнительного анализа были выбраны опытные плавки стали 110Г13Л, проведенные методом окисления с одинаковой массой завалки, количества подвалок и без простоев оборудования. Полученные результаты исследования показали, что амплитуда токовых колебаний ниже $\approx$ на 9 % при использовании трубчатых электродов, особенно это ярко выражено в период плавления. Снижение колебаний тока улучшает энергетические показатели печи, так как они повышают расход электроэнергии и снижают производительность из-за простоев при отключении печи токовой защитой. Исследование температуры внутренних точек поверхности футеровки по ходу ведения плавки показало, что при работе печи с использованием трубчатых электродов температура внутренней поверхности футеровки снижается в среднем на 26 °С.

Был установлен также характер обгорания и эрозии трубчатых и сплошных графитированных электродов и данные их расхода по длине и по массе. Автором сделан вывод, что увеличение расхода трубчатых электродов по массе на 15 % и длине на 24,7 % связано, в первую очередь, с увеличением поверхности контакта электродов с окисляющими газами за счет наличия отверстия. По справедливому мнению автора, повышенный расход трубчатых электродов можно минимизировать подачей инертных газов через отверстия электродов.

Проведенными опытно-промышленными исследованиями на ДСП емкостью 7 тонн показано, что применение трубчатых графитированных 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 футеровки на 16 %, что подтверждено соответствующим актом проведения промышленных исследований на ОАО «ОЗММ».

. Диссертация написана грамотным техническим языком и хорошо оформлена. Автореферат диссертации и опубликованные по ней научные статьи достаточно полно отражают ее содержание.

Вместе с тем, по данной диссертационной работе имеются следующие замечания:

1. Ряд допущений, принятых при разработке математической модели тепловой работы ДСП, недостаточно корректны.

2. Рекомендуемое рациональное отношение диаметра отверстия к диаметру трубчатого электрода (μ) равное 0,1, а не 0,2, экспериментально недостаточно обоснованно, так как экспериментальные электротехнические показатели более высокие при $\mu = 0,2$, а снижение при этом стойкости электрода не подтверждено результатами промышленных испытаний.

3. Полезное предложение, что повышенный расход трубчатых электродов можно минимизировать путем подачи инертных газов через их отверстия, к сожалению, не подтверждено экспериментально.

Оценивая выполненную автором диссертационную работу в целом, следует отметить, что сделанные замечания не снижают её научную и практическую значимость.

Заключение

Диссертационная работа Ткачева Александра Сергеевича является завершённой научно-квалификационной работой, которая соответствует критериям, установленным п. 9 Положения «О порядке присуждения ученых степеней», утвержденным Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. №842; в ней содержится решение задачи, имеющей существенное значение для металлургического производства, а именно повышения эффективности производства стали в дуговых сталеплавильных печах малой и средней вместимости, являющихся основными агрегатами для выплавки высоколегированных сталей и сплавов для различных отраслей промышленности. На основании вышеизложенного автор данной диссертации заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 - «Металлургия черных, цветных и редких металлов».

Официальный оппонент
Доктор технических наук, профессор


07.11.2016

Смирнов Н.А.



Приложение к отзыву Смирнова Николая Александровича

Смирнов Н.А. - доктор технических наук по специальности 05.16.02-«металлургия черных, цветных и редких металлов» (ДТ №017355 от 25.12.1992 г.), защитил диссертацию в МИСиС в 1992 г. Профессор по кафедре металлургии стали (ПР №000031 от 20.05.1993 г). В МГВМИ работал с 1992 по 2013 г., а с 01.09.2013 г. переведен на должность профессора кафедры «Технологии и оборудование металлургических процессов» Московского государственного машиностроительного университета (МАМИ). Уволился из МАМИ 01.09.2015 г. по собственному желанию в связи с ликвидацией кафедры в результате изменения структуры университета и истечения срока трудового договора. В настоящее время пенсионер.

Почтовый адрес: 125459 Москва, бульвар Яна Райниса, дом 16, корп. 1, кв. 161.

Телефон: 8-495-948-28-31 (дом) и +7-916-387-48-56 (моб).

Список публикаций Н.А.Смирнова за 2011-2015 гг.

1. Смирнов Н.А. О внедрении инновационной технологии прямого восстановления железа// Электрометаллургия. -2011.- №4.- С.46-48.
2. Уточкин Ю. И., Смирнов Н.А. Особенности современного развития черной металлургии в России// Электрометаллургия,- 2011.- №9.- С. 39-45.
3. Салтанов А.В., Уточкин Ю. И., Смирнов Н.А. Производство железа прямого восстановления// Электрометаллургия,- 2012.- №10.- С. 19-24.
4. Басов А.В., Магидсон И.А., Смирнов Н.А. Электропроводность и катионная подвижность некоторых рафинировочных шлаков// Электрометаллургия.- 2014.- №12.- С.24-28.
5. Смирнов Н.А. Рафинирование стали от фосфора и серы вдуванием порошкообразных материалов// Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия»,- 2015, том 15, №3.- С33-42.

Доктор технических наук, профессор

Смирнов Н.А.

ПОДПИСЬ
Проректор
по общим вопросам
НИТУ «МИС»



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО НАУЧНЫХ
ОРГАНИЗАЦИЙ (ФАНО РОССИИ)
Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки

ИНСТИТУТ МЕТАЛЛУРГИИ
И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ
им. А.А. Байкова
Российской академии наук
(ИМЕТ РАН)

119334, Москва, Ленинский пр., 49

Тел. (499) 135-20-60, 135-86-11; факс: 135-86-80

E-mail: imet@imet.ac.ru <http://www.imet.ac.ru>

ОКПО 02698772, ОГРН 1027700298702

ИНН/КПП 7736045483/773601001

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора
по научной работе

чл.-корр., д.т.н. А.Г. Колмаков



№ 12202

На №

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию Ткачева Александра Сергеевича
на тему «Исследование и оценка эффективности применения трубчатых
электродов с целью снижения энергетических затрат при выплавке стали в
дуговых сталеплавильных печах малой и средней вместимости»,
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по
специальности 05.16.02 - «Металлургия черных, цветных и редких металлов»

Актуальность темы диссертации. Производство стали в дуговых сталеплавильных печах (ДСП) является одним из наиболее эффективных и перспективных способов получения металла заданного химического состава. К основным преимуществам ДСП можно отнести следующие положения: высокая скорость расплавления, относительно низкие удельные капиталовложения и энергозатраты, более высокая производительность и меньшее количество вредных выбросов в окружающую среду. Сегодня большинство исследований направленно на повышение эффективности электроплавки стали в сверхмощных ДСП. Применительно к ДСП повышенной вместимости предложен ряд технологических и конструкционных приемов позволяющих 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 ограничено. 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.

Новизна, обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций.

На основании выполненных исследований автором диссертационной работы Ткачевым А.С. впервые получены следующие результаты:

1) показано, что изменяя отношение диаметра отверстия в электроде ($d_{\text{отв}}$) к диаметру электрода ($D_{\text{эл}}$) 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 ($\mu = d_{\text{отв}}/D_{\text{эл}}$) от 0,1 до 0,35 можно обеспечить снижение угла отклонения электрической дуги от оси электрода до $20^\circ - 10^\circ$. 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.

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.

Обоснованность положений и выводов в диссертации обеспечивается сопоставлением полученных результатов с известными литературными данными и подтверждена экспериментально. Достоверность результатов исследований определяется применением комплекса взаимодополняющих современных методов исследования и опирается на большой объем воспроизводимых с хорошей точностью экспериментальных данных.

Соответствие работы требованиям, предъявляемым к диссертациям.

Диссертационная работа Ткачева А.С. полностью соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Диссертация содержит все установленные требованиями ВАКа разделы квалификационной работы. Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, приведены цель и задачи работы, представлена научная новизна, практическая значимость результатов исследований, а также сведения о достоверности и обоснованности полученных результатов и их публикации в печати.

В первой главе 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.

Во второй главе 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.

В третьей главе Выполнен ряд экспериментальных исследований по оценке эффективности тепловой работы ДСП при использовании сплошных и трубчатых электродов. В ходе исследования облученности стен ДСП при использовании электродов различного типа было установлено, что применение трубчатых электродов позволяет снизить величину теплового потока на поверхность стен в наиболее горячей точке в среднем на 18 % у электрода с отношением $d_{\text{отв}}/D_{\text{эл}} = 0,2$, на 14,5 % у электрода с отношением $d_{\text{отв}}/D_{\text{эл}} = 0,1$. Экспериментальным путем установлено, что применение трубчатых электродов позволяет сократить продолжительность расплавления в среднем на 9 % у электрода с отношением $d_{\text{отв}}/D_{\text{эл}} = 0,2$, на 6 % у электрода с отношением $d_{\text{отв}}/D_{\text{эл}} = 0,1$.

В четвертой главе на основе математического моделирования выполнен сравнительный анализ теплообмена в рабочем пространстве 7 тонной ДСП

при ее работе на трубчатых и сплошных электродах. 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 $\mu = 0,2$ на 15 %, с отношением $\mu = 0,1$ на 10,5 %, а также 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. Аналитическим путем установлено, что при равных условиях проведения электроплавки стали в ДСП одинаковой мощности и вместимости, наибольший коэффициент использования тепла электрических дуг наблюдается на печах, работающих на трубчатом электроде, за счет большего среднего углового коэффициента излучения электрических дуг на поверхность металла и организации более направленного теплового потока.

В пятой главе экспериментальным путем установлен расход электродов по длине и по массе, а так же характер обгорания и эрозии графитированных электродов в печи. 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 %.

По каждой главе диссертации составлены выводы, завершается диссертационная работа основными выводами. Полученные результаты полностью отражены в опубликованных автором работах.

Автореферат соответствует содержанию диссертации, а диссертационная работа паспорту специальности 05.16.02 - «Металлургия черных, цветных и редких металлов».

Однако в автореферате на странице 27 «Публикации по теме диссертации...» отдельно не выделены статьи рекомендованные ВАК РФ.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации. На основании выполненных исследований автором показано, 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.

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 $\mu = 0,2$.

Проведено промышленное опробования трубчатых электродов на ДСП емкостью 7 тонн с величиной $\mu = 0,1$ и 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».

Основные достоинства и недостатки по содержанию диссертации.

Полученные результаты полностью соответствуют поставленной цели, а содержание автореферата содержанию содержанию диссертационной работе. Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 05.16.02 – «Металлургия черных, цветных и редких металлов».

Диссертационная работа Ткачева А.С. полностью соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Работа состоит из введения, пяти глав, основных выводов, библиографического списка из 108 источников и приложений.

Основным достоинством работы является предложенная наиболее рациональная для трубчатых электродов величина отношения равная 0,1

диаметра отверстия в трубчатом электроде к внешнему диаметру электрода, обеспечивающая наиболее оптимальные эксплуатационные характеристики.

По материалам диссертации имеются следующие замечания:

- 1) при математическом моделировании тепловых потоков не совсем корректно использовать допущение излучения электрической дуги как абсолютно черного тела;
- 2) в диссертации не отмечено, на каком токе (переменном или постоянном) выполнены экспериментальные исследования на лабораторной установке;
- 3) в диссертации нет объяснения за счет чего происходит стабилизация электрического разряда при использовании трубчатых электродов;
- 4) в диссертационной работе не проведена сравнительная оценка экономической эффективности применения трубчатых и сплошных электродов в условиях литейного производства. Необходимо произвести расчет себестоимости 1 т. стали в электродуговых печах одинаковой садки и мощности, работающих как на трубчатых так и на сплошных электродах.

Заключение

В целом представленная диссертация Ткачева А.С. выполнена на хорошем научном уровне и является законченной научно-квалификационной работой..

Диссертационная работа прошла апробацию на многих всероссийских и международных конференциях; материалы диссертации отражены в 26 публикациях, в том числе 7 статей в рецензируемых журналах из списка ВАК.

Отмеченные выше замечания не ставят под сомнения значимость полученных в диссертации результатов. Диссертационная работа полностью соответствует требованиям ВАК РФ в части п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утверждено Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор – Ткачев А.С. - заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 «Металлургия черных, цветных и редких металлов».

Доклад по диссертационной работе заслушан на расширенном заседании секции ученого совета института: «Физико-химические основы металлургии». В обсуждении работы принимали участие руководители и сотрудники лаборатории № 1, 2, 3, 5, 15, 16, 17, 21, 24 академики РАН Леонтьев Л.И., Цветков Ю.В., доктора технических наук, Аверин В.В., Бурцев В.Т., Дашевский В.Я., Коваленко Л.В., Николаев А.В., Садыхов Г.Б., Шелест А.Е., Юсупов В.С., кандидаты технических наук. Ветчинкина Т.Н., Александров А.А., Дюбанов В.Г., Карязин И.А., Николаев А.А.

На заседании секции присутствовали 15 человек. За предложенное заключение проголосовали единогласно. Протокол № 5-16 от 1 ноября 2016 г.

Председатель секции академик РАН,
Доктор технических наук, профессор

Л.И. Леонтьев

Ученый секретарь секции к.т.н.

Т.Н. Ветчинкина

Подписи академика Леонтьева Л.И. и к.т.н. Ветчинкиной Т.Н. удостоверяю

Ученый секретарь ИМЕТ РАН, к.т.н. О.Н. Фомина

Адрес: 119991, г. Москва, Ленинский пр. 49

Тел. +7(499)135-20-60

E-mail: lleontev@imet.ac.ru



Сведения о ведущей организации

по диссертации Ткачева Александра Сергеевича

«Исследование и оценка эффективности применения трубчатых электродов с целью снижения энергетических затрат при выплавке стали в дуговых сталеплавильных печах малой и средней вместимости» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 - «Металлургия черных, цветных и редких металлов»

Полное наименование организации в соответствии с уставом	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт металлургии и материаловедения им. А.А.Байкова Российской академии наук
Сокращенное наименование организации в соответствии с уставом	ИМЕТ РАН
Место нахождения	г. Москва
Почтовый индекс, адрес организации	119334, г. Москва, Ленинский пр., 49
Телефон	+7 (499) 135-20-60, 135-86-11; факс: 135-86-80
Адрес официального сайта в сети «Интернет»	http://www.imet.ac.ru
E-mail	imet@imet.ac.ru
Список основных публикаций по тематике диссертации	1. Николаев А.В. Реалии и перспективы энергетического базиса металлургии стали. Проблемы машиностроения и автоматизации. №1. 2008. Стр. 40-49 2. Дюбанов В.Г. О результатах проектах реструктуризации российской сталелитейной промышленности. Проблемы черной металлургии и материаловедения. №2. 2009. Стр. 108-110. 3. Шалимов А.Г., Неменов А.М. Производство электростали с пониженным содержанием азота. Металлург. №4. 2010. Стр. 45-54 4. Николаев А.А., Николаев А.В., Кирпичёв Д.Е., Цветков Ю.В. Формирование диффузного катодного пятна на графитовом электроде при дуговом разряде. Физика и химия обработки материалов. № 3. 2008. С. 43-48. 5. Кирпичёв Д.Е., Николаев А.А., Николаев А.В., Цветков Ю.В. Электрофизические характеристики метановой плазменной дуги. Физика и химия обработки материалов. №5. 2009. Стр. 26-32.

	6. Дорофеев Г. А., Ерофеев В. А, Протопопов А. А., Леонтьев Л. И., Дашевский В.Я., Маленко П. И. Разработка основ метода анализа сложных физико-химических явлений процесса огиен в электродуговой сталеплавильной печи энергометаллургического комплекса. Известия Тульского государственного университета. №10. 2013. Стр. 3-18 7. Косырев К.Л., Еланский Г.Н., Фомичев М.С., В.М.Паршин А.Г., Шалимов А.Г. Пути развития сталеплавильного производства: XI международный конгресс сталеплавиьщиков Металлург. 2011. № 1. С. 44-52.
--	---

Заместитель директора
ИМЕТ РАН по науке



чл.- корр., д.т.н. А.Г. Колмаков

« 02 » ноября 2016 г.