

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Шукиной Л.Е. на соискание учёной степени кандидата технических наук «ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ПРОЦЕССА ЛЕГИРОВАНИЯ МЕТАЛЛА АЗОТОМ В АГРЕГАТАХ СПЕЦИАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОМЕТАЛЛУРГИИ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА СТАЛИ»

Представленное на защиту научное исследование обладает актуальностью и практической значимостью, так как позволяет усовершенствовать технологию азотирования легированных сталей и сплавов при плазменно-дуговом переплаве (ПДП). В настоящее время в РФ возрождается малотоннажное производство специальных сталей и сплавов. Плазменно-дуговой переплав, обладающий уникальными технологическими возможностями, несомненно должен занять достойное место в ряду технологических процессов специальной электрометаллургии.

Оригинальность рассматриваемой диссертационной работы заключается в том числе, и в выборе объекта исследования: стали 10X8HMBФБ и в исследовании механизма азотирования металла переплавляемого электрода при оплавлении ее азотосодержащим плазменно-дуговым разрядом.

Что касается научной новизны работы, то в ней особого внимания заслуживает предложенная автором модель насыщения металла при ПДП в пленке на переплавляемой заготовке, а также экспериментально установленный факт превышения содержания азота в оплавленной пленке электрода над соответствующей величиной в слитке.

Работа представляет практический интерес, так как в работе показано положительное влияние повышенного содержания азота на коррозионные свойства стали 10X8HMBФБ.

Можно указать на некоторые недостатки в работе, не умаляющей значимости проведённых исследований:

1. Страница 12, рисунок 4: автор делает заключение о влиянии соотношения площадей адсорбции и десорбции азота на скорость азотирования, указывая на риск возникновения азотного кипения металла. Хотя известно, что на возникновение выделения газа из жидкого металла в виде пузырьков влияют другие факторы (поверхностное натяжение, плотность, наличие центров зарождения пузырька, парциальное давление газа и т.п.)

2. Страница 21, последний абзац: автор утверждает, что температура в плазменной дуге в зоне контакта с ванной металла в кристаллизаторе составила 3050 К, а в зоне торца переплавляемой заготовки – 3150 К. Во-первых, нет обоснования выбора указанных значений температур, а во-вторых, по нашему мнению температура газа в плазменно-дуговом разряде имеет большие значения.



Диссертация является законченной работой достаточно высокого научного уровня. Не вызывает сомнений техническая грамотность автора, его знание физических основ процессов металлургической технологии, физической химии, математического аппарата, обработки экспериментальных данных, основ промышленного эксперимента.

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, соответствует критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842. Автор диссертационной работы, Щукина Людмила Евгеньевна, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 - «Металлургия черных, цветных и редких металлов».

Заместитель генерального директора

АО АХК ВНИИМЕТМАШ

им. акад. А.И. Целикова,

(Рязанский проспект, д.8а, Москва, 109428, [www.vniimetmash.ru](http://www.vniimetmash.ru))

К.т.н., профессор

([sivak@vniimetmash.ru](mailto:sivak@vniimetmash.ru), тел. +7 495 730 45 04)

 Б.А. Сивак

Начальник отдела

АО АХК ВНИИМЕТМАШ

им. акад. А.И.Целикова,

(Рязанский проспект, д.8а, Москва, 109428, [www.vniimetmash.ru](http://www.vniimetmash.ru))


К.т.н.


([jlkatz@vniimetmash.ru](mailto:jlkatz@vniimetmash.ru), тел. +7 495 730 49 74)

 Я.Л. Кац

Отзыв составили Кац Яков Львович и Сивак Борис Александрович

Настоящим подтверждаем свое согласие на обработку персональных данных

 Б.А. Сивак

 Я.Л. Кац





## ВЫСУНСКИЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ЗАВОД

Акционерное общество  
«Выксунский  
металлургический  
завод»

Россия, 607060, Нижегородская обл.,  
г. Выкса, ул. Братьев Баташевых, д. 45  
тел.: 8 800 250-11-50  
факс: +7 (83177) 3-76-05  
e-mail: vmz@vsw.ru  
www.omk.ru

### ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Щукиной Людмилы Евгеньевны «Исследование и разработка процесса легирования металла азотом в агрегатах специальной электрометаллургии с целью повышения качества стали», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – «Металлургия чёрных, цветных и редких металлов»

В настоящее время не спадает интерес к высокоазотистым легированным сталям (ВАС) с высокой стойкостью к межкристаллитной коррозии для мартенситного класса, так как это позволяет значительно снижать себестоимость металлопродукции из-за минимизации или отказа от легирования дорогостоящим никелем. В том числе коррозионные марки стали произведенные в России не могут в настоящее время конкурировать с зарубежными аналогами по причине высокой их стоимости. Проводится активный поиск систем легирования, обеспечивающих, зачастую, нетрадиционные сочетания свойств новых ВАС (Cr, Mn, Ni, Mo, V, Nb). Таким образом, представленное диссертационное исследование носит актуальный и значимый характер в современном производстве для агрегатов специальной электрометаллургии в части технологии легирования металла азотом.

В автореферате Щукиной Л.Е. представлены исследования процесса азотирования металла на трех установках специальной электрометаллургии:

- вакуумно-дуговой переплав (ВДП);
- горизонтальный плазменно-дуговой переплав (ПДП);
- вертикальный ПДП.

В диссертационном исследовании уточнен механизм азотирования металла при плазменно-дуговом переплаве заготовки, а также это было подтверждено лабораторными экспериментами. Всего было выполнено около 50 лабораторных плавок. В работе было показано, что содержание азота в наплавляемом слитке сложнолегированной марки стали при ПДП контролируется соотношением площадей зон адсорбции и общей площади жидкого расплава. Результаты работы могут быть использованы для разработки технических решений с целью получения равномерной концентрации азота в слитке высокохромистого расплава для промышленных ПДП.

Автором диссертационного исследования предложена модель насыщения сложнолегированной высокохромистой марки стали при ПДП в пленке на переплавляемой заготовке. Модель описывается уравнением первого порядка, при этом основными параметрами, влияющим на качество переплава, являются скорость подачи заготовки, температура плазмы, определяемая мощность плазмотрона, парциальное давление азота в плазмообразующем газе. Показано, что при отношении площади зон контакта металл-газ к суммарной площади контакта металла с атмосферой установки (в том числе и зона под дугой)  $\geq 0,4$  в ходе процесса азотирования процесс адсорбции превалирует над процессом десорбции,

то есть при поддержке данного соотношения площадей возможно поддерживать процесс азотирования металла с необходимой скоростью.

Важным стоит отметить, что в лабораторных образцах стали марки 10X8HMBФБ с содержанием азота около 0,19 мас. % наблюдается мелкодисперсная мартенситная структура, отсутствуют строчные скопления неметаллических включений и флокены. Номер зерна материала без азота «4», а материалов с высоким содержанием азота (около 0,19 мас.%) соответствует зерну «6-7» по ГОСТ 5639, то есть зерно в азотированной стали два раза меньше. Воспроизводимость полученных результатов оценена на стали марки 55X20Г9Н4, где также отмечено измельчение зерна с 50 до 30 мкм при легировании стали азотом.

По автореферату можно сделать следующие замечания.

1. Расчет равновесного состояния в закрытой системе проводился с использованием программы TERRA (АСТРА). Программа TERRA предметно не ориентирована для анализа сталеплавильных процессов, так как конденсированная фаза рассматривается как один компонент.
2. На странице 24 (рисунок 14) не подписаны соответствующие названия линий.
3. В автореферате не представлены причины недостаточной устойчивости образцов легированных азотом к коррозии в исследуемых средах (раствор 25%-й азотной кислоты; раствор 5 % NaCl и 3% HCL; раствор 80%-ной H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).

Указанные замечания не снижают в целом положительной оценки диссертационной работы. Диссертационная работа Щукиной Л.Е. отвечает требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Щукина Людмила Евгеньевна, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – Металлургия чёрных, цветных и редких металлов.

Технолог цеха

по сталеплавильному производству, к.т.н.

Литейно-прокатный комплекс АО «ВМЗ»

Дата 29.05.2018 г.



С.А. Ботников

Подпись Ботникова С.А. подтверждаю

Начальник Литейно-прокатного комплекса  
АО «ВМЗ»



Д.В. Мороз

Расшифровка подписей:

Ботников Сергей Анатольевич

Мороз Дмитрий Васильевич

Тел. +7(83177) 9-09-58

[botnikov\\_sa@vsw.ru](mailto:botnikov_sa@vsw.ru)

Акционерное общество

«Выксунский металлургический завод»

Литейно-прокатный комплекс

Россия, 607060, Нижегородская обл.,

г. Выкса, ул. Братьев Баташевых, д. 45



## О Т З Ы В

На автореферат диссертации Щукиной Людмилы Евгеньевны «Исследование и разработка процесса легирования металла азотом в агрегатах специальной электрометаллургии с целью повышения качества стали», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 - «Металлургия черных, цветных и редких металлов».

В автореферате обоснована актуальность задачи легирования металлических расплавов азотом методом плазменно-дугового переплава (ПДП) с получение металла высокого качества с замещением никеля азотом. Сформированы научная новизна, практическая значимость и цель работы. В первой главе представлен аналитический обзор литературы по теме диссертации. Вторая глава посвящена термодинамическому анализу взаимодействия азота с металлом стали марки 10X8HMBФБ по 6-и реакциям в температурном интервале от 2000K до 3000K, предложено кинетическое уравнение первого порядка, включающее процессы абсорбции и десорбции азота при ПДП. Рассчитаны скорости этих процессов в зависимости от концентрации азота и доли поверхности абсорбции. В третьей и четвертой главах описаны лабораторные исследования азотирования стали марки 10X8HMBФБ на установках ВДП и ПДП, последние отличались между собой горизонтальным и вертикальным расположением плазмотрона.



Результаты экспериментов представлены в таблицах и на графиках в пятой главе показаны исследования свойств металла с повышенным содержанием азота.


Замечания:

В автореферате не показан полный химический состав стали марки 10X8HMBФБ и влияние каждого компонента (C, Cr, Ni, Mo, W, V, Nb) на растворимость азота даже по литературным данным.

Это замечание не снижает общей положительной оценки работы диссертанта. Автореферат показывает, что это законченная исследовательская работа, которая отвечает всем требованиям к диссертациям по техническим наукам, и её автор Щукина Людмила Евгеньевна заслуживает присвоения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 - «Металлургия черных, цветных и редких металлов».

АО «Металлургический завод «Электросталь»  
М.о. г.Электросталь, ул.Железнодорожная, д.1

Первый заместитель генерального директора -  
главный инженер, кандидат технических наук  
специальность 05.16.02 -  
«Металлургия черных, цветных и редких металлов»



A.A. Сисёв

Главный научный сотрудник,  
доктор технических наук, профессор  
специальность 05.16.02 -  
«Металлургия черных, цветных и редких металлов»



С.Н. Падерин

Подписи А.А. Сисёва и С.Н. Падерина подтверждаю:

Директор по общим вопросам



А.Ю. Барашенков





**ОБЪЕДИНЕННАЯ  
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКАЯ  
КОМПАНИЯ**

**Закрытое  
акционерное общество  
«Объединенная  
металлургическая  
компания»**

Россия, 115184, Москва,  
Озерковская наб., д. 28, стр. 1,  
тел.: +7 (495) 231-77-71  
факс: +7 (495) 231-77-72  
e-mail: info@omk.ru  
www.omk.ru  
ОГРН 1027700121173

## **ОТЗЫВ**

на автореферат диссертации Щукиной Людмилы Евгеньевны  
«Исследование и разработка процесса легирования металла азотом в  
агрегатах специальной электрометаллургии с целью повышения качества  
стали», представленной на соискание ученой степени кандидата технических  
наук по специальности 05.16.02 – «Металлургия чёрных, цветных и редких  
металлов»

По данным World Steel Association (WSA) мировое производство стали в 2017 год составляет 1,691 млрд т, что на 5,3% выше, чем в 2016 году. Оно возросло почти во всех регионах мира, за исключением стран СНГ, где объемы производства остались без изменений. Многие аналитики считают, что чёрная металлургия мира в данном году пережила период подъема, главной причиной которого, является глобальное повышение спроса на металлопродукцию.

При современном уровне развитии техники появилась потребность в сталях, способных надежно работать в различных тяжелых условиях: при отрицательных значениях температуры, при температуре в несколько тысяч градусов, в агрессивных средах, при знакопеременных и вибрационных нагрузках, в условиях глубокого вакуума и под воздействием радиоактивных излучений.

В диссертационной работе показано, что перечисленные требования могут быть выполнены путем применения методов спецэлектрометаллургии. Однако для решения этой проблемы производители российских марок стали часто повышают содержание в материале легирующих элементов, что существенно удорожает готовые изделия, делая их практически неконкурентоспособными. Для решения этой проблемы в зарубежных аналогах марок стали часто применяется метод легирования азотом, что обеспечивает наличие устойчивой аустенитной структуры в широком



интервале температур и одновременно наличие у сталей высоких прочностных, пластичных и коррозионных свойств.

Диссертантом в работе решаются актуальные задачи: проводится анализ термодинамических и кинетических параметров взаимодействия различных форм азота с расплавом применительно к условиям переплава на установках специальной электрометаллургии; проводятся несколько серий лабораторных экспериментов на разных лабораторных установках (установка вакуумно-дугового переплава, установка плазменно-дугового переплава с разным положением плазмотрона), моделирующие процесс азотирования металла газообразным азотом.

Автором выполнено уточнение механизма азотирования стали при переплаве на установке плазменно-дугового переплава (ПДП) при различном положении плазмотрона, приведены рекомендации по режиму азотирования. В диссертационной работе приводятся результаты исследования влияния азота на служебные свойства сложнолегированных сталей, из которых следует, что коррозионные свойства полученных образцов с азотом существенно возрастают на 30 – 98 отн. % (в зависимости от состава материала и выбранной среды).

В соответствии с вышесказанным диссертационную работу Щукиной Людмилы Евгеньевны следует считать актуальной, так как она посвящена решению важных проблем, а именно разработке процесса азотирования высокохромистых сложнолегированных марок стали с целью повышения их служебных свойств.

Полученные результаты, приведенные в работе, могут быть рекомендованы к внедрению при изготовлении материалов, для изготовления деталей, подвергающихся воздействию повышенных нагрузок в присутствии агрессивных сред, что подтверждает актуальность, научную и практическую значимость диссертационной работы.

Результаты диссертационной работы весьма полно представлены в опубликованных работах, в том числе 2 статьи в рецензируемых журналах по перечню ВАК РФ.

По реферату можно сделать следующие замечания:

1. В работе говорится о сложности получения однородной структуры слитка по химическому составу из-за плохого перемешивания расплава на установке вакуумно-дугового переплава, однако в работе не показано распределение азота по объему слитка.

2. В работе указано, что при получении образцов путем переплава на установке ПДП с горизонтальным положением плазмотрона на некоторых образцах появились дефекты в виде пузырей, автор поясняет, что это можно связать с особенностью конструкции установки, однако не совсем ясно, как именно конструкция установки могла вызвать появление данного дефекта.

3. На странице 21 автор работы пишет о разнице температур плазмообразующего газа в зоне контакта с с торцом и ванной металла, однако не приводит теоретического обоснования указанных значений данного параметра.



Отмеченные замечания носят частный характер и не снижают научной и практической значимости выполненной диссертационной работы.

Диссертационная работа представляет собой законченное научное исследование и отвечает требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Щукина Людмила Евгеньевна, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – Metallurgy of black, colored and rare metals.

Начальник управления по предпроектной проработке  
и бизнес планированию проектов

АО «Объединенная металлургическая компания»

Зубков Юрий Юрьевич

+7 916 542-58-73

[Zubkov\\_juju@omk.ru](mailto:Zubkov_juju@omk.ru)



/ Зубков Ю.Ю.

расшифровка подписи

2018 г.

заверяю

(подпись)

/

расшифровка подписи



Открытое акционерное общество

**«КОМПОЗИТ»**

Пионерская ул., д. 4, г. Королёв, Московская обл., Россия,  
141070 Телеграф БЕРЕЗА  
тел. (495) 513-2028, канц. 513-2329, факс (495) 516-0617  
E-mail: [info@kompozit-mv.ru](mailto:info@kompozit-mv.ru)  
ОКПО 56897835, ОГРН 1025002043813  
ИНН / КПП 5018078448 / 501801001

Ученому секретарю диссертационного  
совета Д 212.132.02

НИТУ «МИСиС»

А.В. Колтыгину

Ленинский проспект, д. 4, г. Москва,  
119049

от \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_

на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

### ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Щукиной Людмилы Евгеньевны на тему  
«Исследование и разработка процесса легирования металла азотом в агрегатах  
специальной электрометаллургии с целью повышения качества стали»,  
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по  
специальности 05.16.02 – Metallurgy of black, colored and rare metals

Диссертационная работа Щукиной Людмилы Евгеньевны направлена на  
повышение служебных свойств сложнолегированных сталей путем введения  
«сверхравновесного» содержания азота при плазменно-дуговом переплаве.

Автором проведены глубокие исследования в области анализа  
термодинамических и кинетических параметров взаимодействия азота с  
расплавом в установках специальной электрометаллургии, а также кинетических  
зависимостей азотирования сложнолегированных сталей при переплаве на  
установке плазменно-дугового переплава.

Большое значение имеет также выполненное автором моделирование  
процесса азотирования металла газообразным азотом, позволяющее подобрать  
такие важные технологические параметры как расход плазмообразующего газа,  
расположение плазматрона и другие.



Практическая значимость работы не вызывает сомнений и подтверждена положительными результатами при проведении испытаний на износостойкость, коррозионную стойкость, механических испытаний.

Результаты, полученные соискателем, достаточно полно представлены в 4-х научных публикациях, в том числе в 2 статьях в журналах, рекомендованных ВАК РФ.

По материалу автореферата можно сделать следующие замечания:

1. На стр. 14 и 16 автор пишет, что расход плазмообразующего газа изменялся от 0,13 г/с до 0,35 г/с, а мощность плазматрона варьировалась от 11 кВт до 15 кВт, а на стр. 15 указано, что расход плазмообразующего газа изменялся от 15 г/с до 0,37 г/с и мощность плазматрона менялась от 12 до 14 кВт, а на стр. 18 расход плазмообразующего газа изменялся от 0,1 до 0,37 г/с и мощность плазматрона варьировалась от 11 до 15 кВт. Необходимо пояснение, почему разнятся указанные параметры.

2. На стр. 18 автором написано: «...как для экспериментов с применением плазматрона мощностью 12 кВт, так и 14 кВт». Из текста непонятно обоснование применения двух плазматронов, а не одного. А также неясно, как регулировалась мощность.

3. Из текста автореферата следует, что при вакуумном дуговом переплаве (ВДП) автор использует кусковые шихтовые материала, а при плазменно-дуговом переплаве (ПДП) – переплав заготовки. Автором делается вывод, что при ВДП выявлено неравномерное распределение азота при разовом переплаве. Не связана ли неравномерность распределения азота по слитку с неравномерностью химического состава?

4. Автором не рассмотрена выплавка стали в плазменной печи с керамическим тиглем, хотя в книге В. Дембовского, на которого ссылается автор, такая технология описана.

Отмеченные замечания не снижают научной и практической ценности выполненных исследований. Диссертационная работа представляет собой законченное научное исследование. По актуальности, содержанию, научной

новизне и практической значимости представленная работа соответствует требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842 (ред. 02.08.2016 г.), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор Щукина Людмила Евгеньевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 05.16.02 – Metallургия черных, цветных и редких металлов.

Начальник отделения,  
доктор технических наук



Логачёва Алла Игоревна

Начальник сектора,  
кандидат технических наук



Ромашов Антон Сергеевич

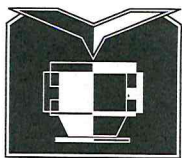
ОАО «Композит»,  
141070, Россия, Московская область, г. Королёв,  
ул. Пионерская, 4,  
тел. (495) 513-23-73,  
E-mail: info@kompozit-mv.ru

Подпись Логачёвой А.И. и Ромашова А.С. заверяю  
Заместитель генерального директора ОАО «Композит»,  
кандидат технических наук



В.Н. Бутрим





# СТАЛЬПРОЕКТ

«Институт тепловых металлургических агрегатов и технологий «Стальпроект»

(ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ)

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Щукиной Людмилы Евгеньевны «Исследование и разработка процесса легирования металла азотом в агрегатах специальной электрометаллургии с целью повышения качества стали», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – «Металлургия чёрных, цветных и редких металлов»

Диссертационная работа направлена на импортозамещение и повышение конкурентоспособности отечественных предприятий как на внутреннем, так и на внешнем рынках в области производства нержавеющей стали. Производителям материалов «нового поколения» необходимо совершенствовать существующие и разрабатывать новые технологические приемы для получения сплавов заданного состава с необходимым комплексом эксплуатационных свойств, не уступающих зарубежным аналогам, сохраняя при этом экономическое преимущество новых материалов перед существующими. Одними из таких перспективных материалов являются высокоазотистые стали (ВАС).

Исследования влияния азота на свойства сталей и процессов легирования сталей азотом начали проводить с 30-х годов XX века. Однако, в РФ промышленные предприятия азотистые стали практически не применяют. Среди сталей, «гостируемых» в РФ, имеется только пять марок азотсодержащих сталей, причем среди них нет ни одной мартенситной ВАС, в то время, как за рубежом применяется не менее 20 марок азотистых сталей.

В связи с вышесказанным диссертационная работа Щукиной Людмилы Евгеньевны, посвященная разработке процесса азотирования высокохромистых сложнолегированных сталей с целью повышения их служебных свойств является актуальной и весьма своевременной.

Автором проведены исследования термодинамических и кинетических особенностей взаимодействия азота с металлом при переплаве на установках специальной электрометаллургии. Диссертантом приведены результаты оценки взаимодействия различных форм азота с металлом при плазменно-дуговом переплаве (ПДП), разработана методика оценки температуры металла в зоне взаимодействия с плазменной дугой при ПДП, использование которой позволяет выполнить соответствующий расчет температуры для любой сложнолегированной марки стали в данном процессе.

Результаты работы имеют научную и практическую значимость и могут быть использованы при разработке технических решений с целью получения повышенных содержаний азота в высокохромистых сложнолегированных марках стали в условиях промышленных ПДП.

По работе можно сделать следующие замечания:

1. В диссертации рассмотрены только переплавные процессы, однако не приведено сравнение с выплавкой стали в плазменной печи с керамическим тиглем.

**ООО «ИНСТИТУТ «СТАЛЬПРОЕКТ»**

127422, Москва, Тимирязевская ул., д. 1, стр. 2; тел. /факс: (495) 234-07-52; e-mail: mail@stalproekt.ru

2. Формально-кинетическое выражение (7) описывает процесс азотирования плазмой ванны металла в лунке на кристаллизующемся слитке при ПДП.  
Зачем приводятся графики рис. 3 и рис. 4, построенные на основании (7), если на них нет сопоставления с экспериментом? В то же время из рис. 9 легко определить  $d[N]/dt$ , что дает возможность сопоставить теоретическую зависимость рис. 3 с экспериментом.
3. В работе на рис. 3а приведена зависимость скорости азотирования от содержания азота в металле, автором показано, что при достижении содержания азота на уровне 0,6% процесс десорбции начинает превалировать над процессом абсорбции, однако на рис. 3б показано, что процесс азотирования останавливается, т.е. выходит на насыщение при достижении содержания азота в металле 0,31%. Неясно, почему в этом случае процесс десорбции не протекает.
4. На рис. 14 отсутствуют пояснения к кривым.

Отмеченные замечания носят частный характер и не снижают общей положительной оценки выполненной диссертационной работы.

Диссертационная работа представляет собой законченное научное исследование и отвечает требованиям п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного Правительством Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842., предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Щукина Людмила Евгеньевна, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – «Металлургия чёрных, цветных и редких металлов».

Директор ООО «Институт Стальпроект»



Усачев А.Б.,  
д.т.н.

Тел. 8 (495) 234-07-52  
e-mail: [usachev@stalproekt.ru](mailto:usachev@stalproekt.ru)  
Название организации:  
«Институт тепловых  
металлургических агрегатов  
и технологий «Стальпроект»

Адрес организации: 127422, г.  
Москва, ул. Тимирязевская, 1





ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ФИРМА



**«ЭТАЛОН»**

455030, Челябинская область, г. Магнитогорск, Западное шоссе, 15

тел. (3519) 580-155, ф.499-195, mail@ntpf-etalon.ru

Р/с 40702810500000103346 в ОАО «Кредит Урал Банке» г. Магнитогорска. К/с 30101810700000000949

ИНН 7446004950. КПП 744601001. БИК 047516949. ОКПО 21600649. ОКОНХ 14811

ОГРН 1027402233110. ОКВЭД 73.10,28.11,28.12.

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Щукиной Людмилы Евгеньевны

**«ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ПРОЦЕССА ЛЕГИРОВАНИЯ МЕТАЛЛА  
АЗОТОМ В АГРЕГАТАХ СПЕЦИАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОМЕТАЛЛУРГИИ С  
ЦЕЛЮ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА СТАЛИ»,**

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

Представленная диссертационная работа направлена на решение актуальной задачи – расширения применения азотного легирования для выплавки высоколегированных сталей. На сегодняшний день доля отечественного сортамента нержавеющей и специальных марок сталей находится на довольно низком уровне. Основную долю занимает импорт, где представлена довольно широкая гамма азотированных сталей. Благотворное влияние азота на свойства сталей различных классов было обнаружено ещё в 30-х годах XX века. Позже установили, что азотное легирование позволяет экономить никель и другие дефицитные легирующие материалы.

Автором проведены исследования по легированию азотом сталей 10X8HMBMФ и 55X20Г9Н4. Были проведены расчёты растворимости азота в рассматриваемых сталях в стандартных условиях и при повышенном давлении. Также были выполнены термодинамические расчёты взаимодействия газообразного азота при плазменно-дуговом переплаве (ПДП) данных сталей.

Проведённые исследования имеют научную и практическую ценность для изготовления сталей со сверхравновесным содержанием азота, которые характеризуются повышенными физико-механическими свойствами, износостойкостью и стойкостью к коррозии. Главные результаты исследований были представлены в 4 опубликованных работах, из них две работы в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, две - в изданиях, входящих в базу цитирования Scopus.

Следует отметить и следующие замечания по работе:

1. Проводились ли сравнительные расчёты себестоимости производства исследованных сталей со сверхравновесным содержанием азота по технологии ПДП и при выплавке под давлением по методу «Большая сталеплавильная ванна»?
2. Утверждение, что использование азотированных ферросплавов удорожает выплавляемый металл не всегда верно. К примеру, на сегодняшний день стоимость стандартного металлического марганца и азотированного марганца китайского производства практически одинакова.
3. Следует также отметить, что выплавка азотсодержащих сталей крупнотоннажного сортамента (микролегированных азотом), таких как стали с карбонитридным упрочнением типа 14-18Г2АФ базируется на традиционной технологии азотирования путем ввода азотированных ферросплавов (FeVN, FeSiN и др.).

Замечания носят частный характер и не снижают общей высокой оценки представленной работы. Как по объему, так и по качеству представленного материала, данная исследовательская работа отвечает квалификационным требованиям п. 9. «Положения о присуждении ученых степеней» от 24.09.2013 № 842, а автор кандидатской диссертации Щукина Людмила Евгеньевна



заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 - Metallургия черных, цветных и редких металлов.

Зам. директора по науке и инновациям

ООО «Научно-техническая производственная  
фирма «ЭТАЛОН» (ООО «НТПФ «ЭТАЛОН»,  
г. Магнитогорск, Западное шоссе, 15), д.т.н.  
([Mirney@ya.ru](mailto:Mirney@ya.ru), тел. 8 913 854 69 66)

Зиатдинов М.Х.

Зам. директора по развитию производства

композиционных материалов

ООО «НТПФ «ЭТАЛОН»

Манашев И.Р.

Подписи Зиатдинова М.Х. и Манашева И.Р. удостоверяю,

Юристконсульт

ООО «НТПФ «ЭТАЛОН»



Кривошеева А.Н.

«01» Июня 2018г.

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Щукиной Л.Е. «Исследование и разработка процесса легирования металла азотом в агрегатах специальной электрометаллургии с целью повышения качества стали», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук

Получение высококачественных сталей с комплексом высоких коррозионных, прочностных и одновременно пластических свойств является одной из важных задач сталеплавильной отрасли в связи с наращиванием производства труб и других изделий, работающих в агрессивных средах морских акваторий. Поэтому рассматриваемая работа, связанная исследованием поведения азота при плазменно-дуговом переплаве и разработкой оптимальных технологий азотирования стали с целью обеспечения необходимого уровня служебных и механических свойств получаемых изделий является актуальной и значимой.

Соискатель провела большой аналитический обзор поставленной проблемы, на основании которого был сделан вывод о необходимости исследования и разработке процесса легирования азотом металла при плазменно-дуговом переплаве с выяснением механизма азотирования и его кинетических параметров. Теоретический анализ взаимодействия азота с металлом при ПДП позволил оценить влияние температуры, площадей поглощения и удаления азота из расплава на протекание реакции азотирования. В результате было установлено, что при возрастании концентрации азота в металле происходит уменьшение скорости азотирования при неизменном отношении площадей адсорбции и десорбции. Лабораторные исследования по азотированию сталей марок 55X20Г9Н14 и 10X8НМВАБФ позволили определить оптимальные технологические режимы (включая положение плазмотрона при плавке), обеспечивающие максимальное нарастание концентрации азота в металле. При этом при содержании азота 0,190 - 0,192 % достигается мелкодисперсная мартенситная структура с расположением нитридов по границам зерна, что положительно влияет на предел текучести и возрастание коррозионной стойкости стали.

Полученные в работе результаты могут быть рекомендованы к внедрению при изготовлении ответственных деталей и узлов, подвергающихся воздействию повышенных нагрузок в условиях агрессивного воздействия окружающей среды. Это свидетельствует о практической значимости и актуальности проведённой работы.



Как следует из автореферата, в работе использовались современные апробированные методики и приборы, что подтверждает достоверность полученных в работе результатов.

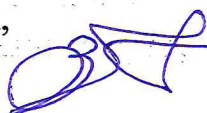
По реферату можно сделать следующее замечание:

На рисунках 7,8,13, представлены корреляционные зависимости исследуемых параметров, однако при этом отсутствует оценка значимости полученных результатов.

В целом, несмотря на замечание, диссертация Щукиной Л.Е. может быть квалифицирована как самостоятельная законченная научно-исследовательская работа, в которой изложены обоснованные научн-технические решения в области повышения качества стали для изделий, работающих при повышенных нагрузках в условиях агрессивных сред, за счёт азотирования расплава при плазменно-дуговом переплаве.

Диссертационная работа Щукиной Л.Е. соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор заслуживает присуждения искомой степени по специальности 05.16.02 – Metallургия чёрных, цветных и редких металлов.

Заведующий кафедрой  
«Технология материалов»  
Волгоградского государственного  
технического университета,  
д.т.н., профессор, специальность  
05.16.02-Металлургия чёрных,  
цветных и редких металлов



Зюбан Николай Александрович

400005, Волгоград, пр. Ленина д. 28  
тел. (8442) 24-81-58  
e-mail: tecmat@vstu.ru



Н.А. Зюбан  
13 июля 2018  
Подпись: *Антоненко*  
(подпись)

Министерство промышленности и торговли  
Российской Федерации  
Государственный научный центр  
Российской Федерации



**Центральный  
научно-исследовательский  
институт черной металлургии  
им. И.П.Бардина**

Федеральное государственное унитарное предприятие  
(ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П.Бардина»)

105005, г. Москва, ул. Радио, д. 23/9, стр. 2  
Тел. (495) 777-93-01; Факс (495) 777-93-00  
ИНН/КПП 7701027596/770101001  
E-mail: [chermet@chermet.net](mailto:chermet@chermet.net)  
[www.chermet.net](http://www.chermet.net)

\_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № 48/681  
На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Щукиной Людмилы Евгеньевны «Исследование и разработка процесса легирования металла азотом в агрегатах специальной электрометаллургии с целью повышения качества стали», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – «Металлургия чёрных, цветных и редких металлов»

Современные требования к качеству металлических изделий и конструкций обусловили тенденцию возрастания доли легированных сталей в общем объёме металлургического производства, это относится и к азотосодержащим изделиям. Новые материалы должны превосходить существующие по механическим и коррозионным свойствам, при одновременном оптимально рассчитанном соотношении цены и качества готового изделия

Попытки найти в российских марочниках более прочные и более коррозионностойкие стали показывают, что эта проблема решается в настоящее время за счет повышения содержания в сталях легирующих элементов, что существенно удорожает готовые изделия, делая их неконкурентоспособными, т.е. фактически, в линейке отечественных материалов с высоким уровнем комплекса эксплуатационных свойств отсутствуют современные коррозионностойкие стали, которые обладали бы



одновременно и высокой прочностью, и высокой коррозионной стойкостью, будучи при этом относительно приемлемыми по стоимости.

Однако стоит отметить, что для решения этой проблемы в зарубежных аналогах аустенитно-ферритных, мартенситных и аустенитных сталей применяется легирование азотом, что обеспечивает наличие устойчивой аустенитной структуры в широком интервале температур и одновременно наличие у сталей высоких эксплуатационных характеристик.

Одна из основных проблем при производстве сталей с регламентированным содержанием азота – обеспечение заданной его концентрации в расплаве в узких пределах за технологически приемлемое время.

В работе отмечено, что наиболее «комплексным» (по воздействию на переплавляемый металл) методом введения азота в сталь является метод плазменно-дугового переплава (ПДП). ПДП специальных сталей и сплавов – один из важнейших способов получения металла высокого качества.

В соответствии с вышесказанным работу Щукиной Людмилы Евгеньевны следует считать актуальной, так как она посвящена решению важных проблем, а именно исследованию процессов азотирования сложнолегированных высокохромистых сталей в агрегатах специальной электрометаллургии.

Таким образом, представленное диссертационное исследование носит актуальный и значимый характер в современном производстве для агрегатов специальной электрометаллургии в части технологии легирования металла азотом.

В работе Щукиной Л.Е. представлены исследования процесса азотирования металла на трех установках специальной электрометаллургии: вакуумно-дуговой переплав (ВДП); плазменно-дуговой переплав (ПДП) с вертикальным и горизонтальным положением плазмотрона. В диссертационном исследовании уточнен механизм азотирования металла при

плазменно-дуговом переплаве заготовки, что было подтверждено лабораторными экспериментами.

В работе было показано, что содержание азота в наплавляемом слитке выбранной модельной сложнолегированной марки стали при ПДП контролируется соотношением площадей зон абсорбции и общей площади жидкого расплава. Результаты работы могут быть использованы для разработки технических решений с целью получения равномерной концентрации азота в слитке высокохромистого расплава для промышленных ПДП.

Автором диссертационного исследования предложена модель насыщения сложнолегированной высокохромистой марки стали при ПДП в пленке на переплавляемой заготовке. Кроме того, в работе показано, что основными параметрами, влияющим на качество переплава, являются скорость подачи заготовки, температура плазмы, определяемая мощность плазмотрона, парциальное давление азота в плазмообразующем газе.

Показано, что при отношении площади зон контакта металл – газ к суммарной площади контакта металла с атмосферой установки (в том числе и зона под дугой)  $\geq 0,4$  в ходе процесса азотирования процесс абсорбции превалирует над процессом десорбции, то есть при поддержке данного соотношения площадей возможно поддерживать процесс азотирования металла с необходимой скоростью. Важным стоит отметить, что у лабораторных образцов стали марки 10X8HMBФБ с содержанием азота около 0,19 мас. % наблюдается повышение коррозионных свойств, так как относительная потеря массы образцов в испытательных средах снижается на 30 – 98 отн. % в зависимости от выбранной для испытания среды.

По работе можно сделать следующие замечания:

1. В работе не представлена оценка экономической эффективности выбранных технологий введения азота.



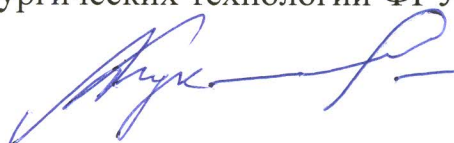
2. В работе отсутствует глава по методической части проведения испытаний исходных и полученных образцов, методики анализа свойств разрознено приведены внутри главы 5.

3. В работе недостаточно полно раскрыто влияние азота на комплекс свойств, так как обычно помимо увеличения коррозионной стойкости азот способствует росту прочности, ударной вязкости и износостойкости.

Указанные замечания носят частный характер и не снижают положительной оценки представленной диссертационной работы.

Диссертационная работа Щукиной Л.Е. отвечает требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Щукина Людмила Евгеньевна, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – Metallurgy чёрных, цветных и редких металлов.

Директор Центра новых металлургических технологий ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина», д.т.н.



А.В. Куклев

Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт черной металлургии им. И.П. Бардина», Адрес: 105005, г. Москва, ул. Радио, д. 23/9, стр. 2, ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина», тел. +7(495) 777-95-43, e-mail: kuklev@chermet.net

Подпись Куклева А.В. заверяю:

Ученый секретарь ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина», к.т.н.



Т.П. Москвина

Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт черной металлургии им. И.П. Бардина», Адрес: 105005, г. Москва, ул. Радио, д. 23/9, стр. 2, ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина», тел. +7 (495) 777-93-01, e-mail: chermet@chermet.net