



ПОТВЕРЖДАЮ

Ректор СПбГМТУ, д.т.н.

Туричин Г.А.

2023 г.

## ОТЗЫВ

ведущей организации

на диссертационную работу Хусаинова Юлдаша Гамировича на тему  
«Разработка и научное обоснование новых технических решений  
формирования упрочненных поверхностных слоев при локальном ионном  
азотировании сталей»,  
представленную на соискание ученой степени доктора технических наук  
по специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и  
сплавов

**Актуальность темы исследования.** Решение одной из основных задач машиностроения – повышение надежности и долговечности изделий – тесно связано с проблемой износостойкости рабочих участков деталей машин. Характерной особенностью изнашивания деталей машин является то, что в этот процесс вовлечены тонкие поверхностные слои при этом износ развивается только на отдельных высоконагруженных участках. Все это предопределяет необходимость выполнения локальной упрочняющей обработки таким образом, чтобы достигнуть максимальной износостойкости именно на этих участках, так как в большинстве случаев свойства материала за их пределами не оказывают существенного влияния на эксплуатационные характеристики детали и ее ресурс. Кроме того, применение локальных методов поверхностной упрочняющей обработки обеспечивает возможность гибкого изменения уровней формируемых характеристик материала при переходе между различными рабочими участками детали, изнашивающимися по различным механизмам.

Локальное упрочнение деталей машин может быть достигнуто различными видами химико-термической обработки, в частности ионным азотированием. Поэтому исследования, направленные на разработку новых, эффективных технических решений локального ионного азотирования с

ЗАРЕГИСТРИРОВАНО В ОТДЕЛЕ ДЕЛОПРОИЗВОДСТВА ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И.Носова»
за № _____
Дата регистрации <u>05.06.2023</u>
Фамилия регистратора _____

возможностью формирования упрочненных диффузионных слоев различной глубины за один цикл обработки является актуальным для современного отечественного машиностроения.

**Оценка структуры и содержания работы.** Диссертация состоит из введения, семи глав, заключения, списка литературы и шести приложений. Общий объем диссертации 359 страниц, включая 202 рисунка, 17 таблиц, список литературы из 202 наименований.

Структура работы отражает логику и завершенность исследования. Содержание диссертации в полной мере раскрывает сформулированную научную проблему. Автореферат по своему текстовому и иллюстративному материалу достаточно полно отражает содержание диссертационной работы.

Во введении обосновывается актуальность выбранной темы диссертационного исследования, характеризуется степень ее разработанности, определяются цели и задачи исследования, а также формулируются положения, выносимые на защиту.

В первой главе автор диссертации проводит комплексный анализ структурно-фазовых превращений и свойств поверхностных слоев сталей при различных видах локального упрочнения. Отмечается что одним из самых распространённых методов получения неоднородной структуры в конструкционных материалах является термическая обработка, однако не всегда данный метод может обеспечить высокие физико-механические и эксплуатационные свойства поверхности деталей, а методы поверхностного легирования являются дорогостоящими и нетехнологичными. Наиболее эффективным методом получения поверхностных локально-упрочненных структур является химико-термическая обработка, в частности, азотирование.

Во второй главе определен объект исследования, выдвинута научная гипотеза, а также обоснованно подобраны методы и методики экспериментальных исследований.

В третьей главе диссертации разработана численная модель, позволяющая проводить расчеты параметров плазмы тлеющего разряда, тепловых и диффузионных процессов при локальном ионном азотировании в плазме повышенной плотности. Для более быстрого назначения технологических режимов процесса ионного азотирования разработана математическая модель, позволяющая проводить расчеты на основе накопленных статистических данных. Проверка адекватности предложенных

моделей показала достаточно близкую сходимость экспериментальных и расчетных значений.

В четвертой, пятой и шестой главах разработаны новые технические решения локального ионного азотирования с полым катодом, в магнитном поле, а также с предварительным деформационным измельчением структуры и получены оригинальные результаты исследований структурно-фазовых превращений и свойств поверхностных слоев конструкционных сталей марок 13X11H2B2MФ-Ш, 12X18H10T, 16X3HВФМБ-Ш, 38ХМЮА и инструментальной стали марки Р6М5.

В седьмой главе получены уникальные результаты влияния состава и соотношения компонентов газовой среды на формирование диффузионной зоны при ионном азотировании, а также влияния температуры подложки на кинетику роста упрочненного слоя. На основании теоретических и экспериментальных результатов диссертационного исследования разработаны и апробированы новые технологические процессы локального ионного азотирования на предприятиях ПАО «ОДК-УМПО», АО «БелЗАН» и ООО НПФ «Пакер»

**Соответствие содержания диссертации заявленной специальности и теме диссертации.** Диссертационная работа Хусаинова Ю.Г. соответствует п. 2 «Теоретические и экспериментальные исследования фазовых и структурных превращений в металлах и сплавах, происходящих при различных внешних воздействиях, включая технологические воздействия, и влияние сварочного цикла на металл зоны термического влияния, их моделирование и прогнозирование»; п. 3 «Теоретические и экспериментальные исследования влияния разнородных структур, в том числе кооперативного, на физические, химические, механические, технологические и эксплуатационные свойства металлов и сплавов, их моделирование и прогнозирование»; п. 4 «Теоретические и экспериментальные исследования термических, термоупругих, термопластических, термохимических, термомагнитных, радиационных, акустических и других воздействий на изменение структуры и свойств металлов и сплавов, их моделирование и прогнозирование»; п. 6 «Разработка новых и совершенствование существующих технологических процессов объемной и поверхностной термической, химикотермической, термомеханической и других видов обработок, связанных с термическим или термодформационным воздействием, цифровизация и автоматизация процессов, а также разработка информационных технологий систем сквозного управления технологическим

циклом, специализированного оборудования» паспорта заявленной научной специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

**Личный вклад соискателя** состоит в выдвижении и обосновании идей, гипотез о возможности проведения локального ионного азотирования в плазме азота повышенной плотности или с предварительным деформационным измельчением структуры материала на отдельных участках, в проведении экспериментов, в сборе, обработке и анализе экспериментальных данных, в оформлении результатов диссертации и при подготовке публикаций по выполненной работе.

**Достоверность результатов исследования** обеспечивается корректностью постановки задачи и использованием достоверной исходной информации, применением современного исследовательского оборудования, а также подтверждается качественным и количественным соответствием результатов теоретических исследований экспериментальным данным.

**Полнота изложения основных результатов диссертации в научной печати.** Основные результаты диссертационной работы достаточно полно представлены в 50 научных работах, из которых 13 научных статей в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК, 12 работ в зарубежных научных изданиях, индексируемых в Web of Science или Scopus, 2 монографии, а также 5 патентов РФ.

Основные результаты проведенных исследований были доложены и обсуждены на Международных и Российских научных конференциях различного уровня.

**Научная новизна полученных результатов** диссертационной работы заключается в следующем:

1. Предложены новые технические решения реализации локального ионного азотирования, позволяющие получать на поверхности материала диффузионные слои, отличающимися как по толщине, так и по свойствам.

2. Разработана аналитическая модель, позволяющая проводить экспресс-назначение режимов локальной обработки исходя из предельных значений температуры подложки, исключающая появления в диффузионной зоне дефектов в виде микротрещин по границам зерен в результате выбора приемлемого состава многокомпонентной газовой среды.

3. Установлено, что применение полого катода, магнитного поля или предварительного деформационного измельчения структуры при локальном

ионном азотировании позволяет интенсифицировать процесс диффузионного насыщения на отдельных участках в 2-2,5 раза и получать высокие свойства для сталей мартенситного класса 16X3HВФМБ-Ш и 13X11H2B2MФ-Ш, аустенитного класса 12X18H10T, перлитного класса 38XMЮА и ледебуритного класса P6M5.

**Теоретическая значимость работы** определяется совокупностью результатов моделирования процесса локального ионного азотирования, полученными зависимостями и выявленными закономерностями влияния новых способов упрочнения на структурно-фазовый состав, механические свойства и эксплуатационные характеристики поверхностного слоя которые позволят создать теоретическую базу облегчающую процесс назначения технологических режимов при освоении новых изделий машиностроения.

**Практическая ценность работы** заключается в разработанных новых технологических процессах, а именно:

1. Процесс локального ионного азотирования в тлеющем разряде с полым катодом детали «шестерня» центрального конического привода двигателя летательного аппарата на ПАО «ОДК-УМПО». Разработанная технология позволила сократить длительность обработки в 2 раза, получить равномерный по длине профиля зуба диффузионный слой толщиной ~200 мкм, а также обеспечить требования чертежа за одну технологическую садку.

2. Процесс низкотемпературного локального ионного азотирования детали «шток» пакерно-якорного оборудования, предназначенный для гидроизоляции пластов, производства НПФ «Пакер». Предложенная технология позволила получить на рабочих участках детали толщину азотированного слоя ~200 мкм и увеличить поверхностную твердость на ~70%.

3. Процесс локального ионного азотирования в магнитном поле просечных пуансонов на АО «БелЗАН», позволяющий повысить стойкость инструмента в 1,5-2 раза.

**Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации.**

Результаты диссертационного исследования, полученные соискателем, разработанные новые технические и технологические решения могут быть использованы на предприятиях машиностроительного производства таких как ПАО «КАМАЗ», АО «АВТОВАЗ», автомобильная компания «Группа ГАЗ», ООО «НПФ Завод «Измерон», АО «ОДК» и др. Разработанные подходы могут быть адаптированы для широкой номенклатуры изделий и материалов.

Разработанное в рамках диссертационной работы программное обеспечение для назначения режимов обработки и прогнозирования результатов локального ионного азотирования может применяться на участках химико-термической обработки для ускорения процессов освоения новой номенклатуры деталей и материалов.

Кроме того, разработанные автором теоретические подходы и материалы экспериментальных исследований могут быть использованы в учебном процессе при преподавании металлургических дисциплин, а также дисциплин, связанных с электрофизическими методами обработки.

**Замечания по диссертационной работе.** Несмотря на общую положительную оценку диссертационной работы Хусаинова Ю.Г., следует отметить некоторые замечания:

1. Недостаточно пояснений в тексте диссертации по рисунку 1.45, также не указано наименование оси абсцисс, что также затрудняет его чтение.

2. После указанной термической обработки стали 12X18H10T указано, что в структуре наблюдается аустенит и карбиды титана, но далее по тексту диссертации (стр. 145), также после последующей ИПДК обработки наблюдается аустенит. Далее (стр.153) упоминается превращение деформационного мартенсита в аустенит. Так была ли в структуре мартенситная составляющая в стали до ИА и ИПДК или нет? В каком количестве появляется деформационный мартенсит? В этой стали возможно наличие ферритных фаз до 10%.

3. Определение наличия нитридов на дифрактограммах (рисунки 4.20, 4.33) сделаны по одному или двум пикам, в таких случаях стоит использовать другие методы для подтверждения: EBSD анализ на сканирующем электронном микроскопе или дифракцию электронов на просвечивающем электронном микроскопе.

4. На рисунке 4.28 следовало бы сделать шкалы ординат одинакового масштаба, так как при сравнении убыли массы изначально выглядит так, что аустенитная сталь 12X18H10T имеет меньше износа, чем мартенситная сталь 13X11H2B2MФ-Ш.

5. На рисунке 4.32 возможно допущена ошибка, так как истолковать этот рисунок можно следующим образом: микротвердость исходного материала (основы) выше, чем микротвердость азотированной поверхности. Возможно причиной этому очень похожее обозначение линий твердости указанных областей.

6. На странице 187 указана карбонитридная природа  $\epsilon$ -фазы. Возможно это очевидно, но стоит проводить фазовый анализ для уточнения.

7. Микрофотографии на рисунке 5.8 следует приводить при одинаковом увеличении для исключения появления ошибочных суждений.

8. Рефлексы хрома на дифрактограмме, изображенной на рисунке 5.9 для стали 16ХЗНВФМБ-Ш, не очевидны, возможно стоило бы их отразить отдельно.

9. Не замечание, а рекомендация на будущее: сделать ИА на инструментальных сталях, полученных технологиями порошковой металлургии, которые позволяют убирать структурную неоднородность на начальных стадиях изготовления инструмента.

В целом, отмеченные недостатки носят дискуссионный характер, не снижают общей положительной оценки диссертационного исследования и не влияют на теоретическую и практическую значимость полученных результатов.

**Заключение.** Диссертационное исследование Хусаинова Ю.Г. на тему «Разработка и научное обоснование новых технических решений формирования упрочненных поверхностных слоев при локальном ионном азотировании сталей» соответствует паспорту специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов и является законченной научно-квалификационной работой.

По актуальности, новизне полученных результатов, их теоретическому и практическому значению работа полностью соответствует требованиям п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор, Хусаинов Юлдаш Гамирович, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Диссертация и отзыв на нее рассмотрены и одобрены на заседании кафедры «Цифровых лазерных технологий» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет», г. Санкт-Петербург.

Результаты голосования: «за» - 14, «против» - нет, «воздержалось» - нет.

Присутствовали на заседании 14 чел.

Протокол заседания кафедры №6 от 10.05.2023.

**Сведения об авторах отзыва и  
ведущей организации:**

д.т.н., и.о. зав. кафедры МиТМ  Толочко Олег Викторович

(докторская диссертация защищена по специальности 05.16.01 – Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metalliv i splavov)

к.т.н. доцент кафедры ЦЛТ  Климова-Корсмик Ольга Геннадьевна

(кандидатская диссертация защищена по специальности 05.16.01 – Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metalliv i splavov)

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет»  
190121, Северо-Западный Федеральный округ, Санкт-Петербург, улица Лоцманская, дом 3  
Тел.: +7 (812) 495-26-48, +7 (812) 714-07-61  
E-mail: office@smtu.ru