

## Отзыв

на автореферат диссертации Хусаинова Юлдаша Гамировича  
«Разработка и научное обоснование новых технических решений  
формирования упрочненных поверхностных слоев  
при локальном ионном азотировании сталей»,

представленной на соискание ученой степени  
доктора технических наук по специальности

2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов

Разработка и внедрение новых материалов и технологий упрочнения поверхностей изделий в машиностроении является одной из основ эффективного развития данной ключевой отрасли экономики. В этом контексте разработка методов химико-термической обработки поверхностей изделий стальных конструкций ионным азотированием (ИА), являющимся экологически безопасным, легкоуправляемым, не требующим финишной шлифовальной доработки сложнопрофильных деталей, является актуальной задачей.

Для реализации технологии локального ионного азотирования (ЛИА) в диссертационной работе предложено два подхода, основанных на интенсификации процесса диффузионного насыщения: первый основан на создании области плазмы тлеющего разряда (ТР) с применением полого катода (ПК) или магнитного поля (МП); второй основан на деформационном измельчении структуры на локальных участках изделий с последующим упрочнением в плазме ТР.

Научная новизна диссертации заключается, прежде всего, в разработке научного направления в области системного анализа различных процессов, развивающихся при ионном азотировании с применением технологий интенсификации диффузионных процессов в поверхностных слоях изделий из конструкционных сталей различного класса. Системный подход к разработке и теоретическому обоснованию новых технологических решений локального ионного азотирования сталей различного класса (мартенситного, аустенитного, ледебуритного) позволили автору работы Хусаинову Ю.Г. получить ряд важных в научном и практическом значении результатов.

1. Предложена аналитическая модель, позволяющая определить оптимальный состав рабочего газа при локальном азотировании при требуемой температуре поверхности. Получены зависимости скорости диффузионного насыщения от содержания водорода в составе рабочего газа (не более 15 %).
2. Предварительное деформационное измельчение структуры сталей мартенситного и аустенитного класса (13X11H2B2MФ-Ш и 12X18H10T) позволяет получить диффузионные слои с различными толщинами и свойствами на отдельных участках, что открывает возможности локального упрочнения при сохранении свойств материала основы.
3. Азотирование с полым катодом на отдельных участках деталей из конструкционных сталей мартенситного и перлитного классов (16X3HВФМБ-Ш и 38ХМЮА) позволяет создать диффузионные слои в 2-2,5 раза толще по сравнению с участками, азотированными без использования полого катода, и

ЗАРЕГИСТРИРОВАНО В ОТДЕЛЕ ДЕЛОПРОИЗВОДСТВА ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И.Носова»	
за № _____	_____
Дата регистрации	11.05.2023
Фамилия регистратора	_____

износостойкостью в 1,6-1,7 раза выше за счет формирования на поверхности многофазной структуры.

4. Комплексная локальная обработка интенсивной пластической деформацией кручением изделий из стали ледебуритного класса (Р6М5) с последующим ионным азотированием с наложением магнитного поля позволяет формировать упрочненный слой на отдельных участках толщиной в 2-2,5 раза толще по сравнению с участками вне зоны воздействия магнитного поля за счет формирования высокоазотистых нитридов Fe и Cr, что перспективно для практического приложения этого способа для упрочнения деталей машиностроения, подверженных сильному износу.

Обоснованность и достоверность полученных в диссертационной работе результатов обеспечивается глубокой теоретической проработкой необходимых (оптимальных) параметров ТР, а также использованием современных экспериментальных методов и оборудования исследования структуры и свойств упрочненных азотированных слоев сталей различного класса (растровая и световая микроскопия, микротвердость по Виккерсу, склерометрия, высокоскоростная трибометрия, рентгенография, зондометрия плазмы).

Практическая значимость работы заключается в разработке и апробации результатов теоретических и экспериментальных исследований на производственном предприятии ПАО «ОДК-УМПО» (известном производителе турбореактивных авиационных двигателей, газоперекачивающих агрегатов и узлов вертолетной техники) с формулировкой нового ТП ЛИА с ПК для обработки детали «шестерня» из конструкционной стали мартенситного класса 16ХЗНВФМБ-Ш. Разработанный ТП характеризуется сокращением длительности обработки в 1,5 раза, отсутствием доводочной механической операции после ИА, обеспечивает получение равномерного азотированного слоя 200 мкм по всей длине профиля зуба детали.

В целом в докторской диссертации Хусаинова Юлдаша Гамировича развит и представлен единый комплексный подход к решению важной практической задачи – разработке новых технических решений нового поколения формирования упрочненных поверхностных слоев при локальном ионном азотировании сталей конструкционного назначения. Работа выполнена на высоком научном уровне, ее результаты имеют широкое прикладное значение и могут быть использованы в отраслях, требующих материалов с высокой фрикционной нагрузкой в различных условиях эксплуатации, включая экстремальные условия Крайнего Севера.

По автореферату можно сделать следующие замечания.

1. В работе для активации диффузионных процессов исследуется способ предварительной интенсивной деформации кручением (ИПДК) на модельных образцах на стали 12Х18Н10Т (стр. 6). Далее в работе локальное деформационное измельчение структуры поверхности получается фрикционным воздействием алмазной иглы (11 проходов, стр. 30). Насколько полученная мелкозернистая структура в результате такой обработки эквивалентна полученной структуре методом кручения объемного образца? Структурные исследования

эквивалентности этих способов в автореферате не представлены (зернистость, размеры, разориентация).

2. На стр. 23 автореферата на основании рис. 20 только по триботрекам (экспресс-анализ) делается заключение, что применение ПК при ИА не влияет на механизм изнашивания. Тогда за счет чего меняется износостойкость в 12-14 раз по сравнению с исходным состоянием поверхности?

Указанные замечания носят частный характер и не касаются сути защищаемых положений и выводов.

Результаты выполненных исследований, составившие диссертацию, широко опубликованы (50 работ), в том числе в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК (13 работ), в зарубежных научных изданиях, индексируемых в Web of Science или Scopus (12 работ), 2-х монографиях и защищены патентами (5 патентов РФ). Диссертация **«Разработка и научное обоснование новых технических решений формирования упрочненных поверхностных слоев при локальном ионном азотировании сталей»**, является законченным исследованием. По своей актуальности, объему полученных экспериментальных данных, научной новизне результатов и степени их анализа, а также практической значимости она соответствует требованиям к докторским диссертациям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительством РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, 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.

Настоящим даю свое согласие на обработку персональных данных и включение их в аттестационное дело Хусаинова Юлдаша Гамировича.

Заведующий лабораторией механики  
полимерных композиционных материалов  
доктор технических наук (1.1.8 – Механика  
деформируемого твердого тела), профессор,  
профессор РАН

Сергей Викторович Панин

02.05.2023

Федеральное государственное бюджетное  
учреждение науки Институт физики прочности  
и материаловедения Сибирского отделения  
Российской академии наук  
г. Томск, проспект Академический 2/4, 634055  
Тел. +7 (3822) 286-904  
E-mail: svp@ispms.ru, tosmc@ispms.ru

Подпись Панина С.В. удостоверяю  
Ученый секретарь ИФПМ СО РАН  
к.ф.-м.н.



Матолыгина Н.Ю.