

ОТЗЫВ

официального оппонента

д.т.н., профессора Белашовой Ирины Станиславовны

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

На отзыв представлена диссертационная работа, состоящая из введения, семи глав, заключения и списка литературы. Содержит 359 страниц машинописного текста, включает 202 рисунка и 17 таблиц. Список литературы насчитывает 202 наименования.

Автореферат, изданный на правах рукописи, содержит 34 страницы. Материалы, изложенные в автореферате, достаточно полно отражают содержание диссертации Хусаинова Ю. Г.

Представленная диссертация соответствует паспорту специальности 2.6.1. – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Актуальность темы диссертации

Большинство деталей машин и механизмов в процессе эксплуатации подвергаются неравномерным нагрузкам и износу. В таких случаях необходимо применять технологии, позволяющие локально упрочнять и достигать максимальной износостойкости на контактных поверхностях деталей, оказывающих существенное влияние на ресурс изделия в целом. При этом структурно-фазовый состав, механические свойства и эксплуатационные характеристики при упрочнении должны гибко регулироваться в зависимости от условий эксплуатации деталей.

Из всех видов поверхностного упрочнения процесс ионного азотирования отвечает большинству современных требований производства и считается высокоэффективным и энергосберегающим, а отсутствие аммиака делает этот метод экологически чистым.

Поэтому *актуальность* диссертационной работы Хусаинова Ю.Г., в которой разработаны и исследованы новые способы локального ионного азотирования с возможностью формирования на поверхности материала градиентной структуры с гибким изменением физико-механических свойств на различных участках детали с учетом их функциональных назначений, не вызывает сомнений.

Структура и содержание диссертационной работы

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, степень ее разработанности, сформулированы цель и задачи работы, научная новизна и положения, выносимые на защиту, представлены данные об апробации работы, о публикациях, структуре и объеме диссертационной работы.

В первой главе проведен анализ влияния структурно-фазового состава, легирующих элементов обрабатываемых материалов и технологических параметров процесса ионного азотирования на протекание диффузионных процессов в сталях, а также рассмотрены различные методы интенсификации процесса азотирования. Также приведены особенности моделирования диффузионных процессов в конструкционных сталях. Анализ показал, что моделирование процесса азотирования применяется для эффективного освоения производством новых изделий и материалов, а также назначения оптимальных

ЗАРЕГИСТРИРОВАНО В ОТДЕЛЕ ДЕЛОПРОИЗВОДСТВА ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И.Носова»
№ _____
Дата регистрации <u>01.06.2023</u>
Фамилия регистратора _____

технологических режимов процесса азотирования без дополнительных натуральных испытаний. Однако в случае локального ионного азотирования требуются дополнительные исследования.

Во второй главе с целью реализации предложенных в рамках диссертационной работы новых технических решений локального ионного азотирования была модернизирована вакуумная установка ЭЛУ-5. С целью изучения влияния новых способов локального ионного азотирования на свойства обрабатываемых материалов были подобраны и описаны все необходимые методы структурных исследований, определения микротвердости, оценки хрупкости диффузионного слоя, трибологических испытаний и зондовой диагностики плазмы тлеющего разряда.

В третьей главе с целью прогнозирования результатов локального ионного азотирования без дополнительных натуральных экспериментов и более глубокого понимания протекающих физических процессов в диссертационной работе разработаны численная модель с применением метода конечных элементов, аналитическая модель с применением экспериментально-статистического метода и программное обеспечение, позволяющие проводить расчеты параметров тлеющего разряда, решать тепловые и диффузионные задачи, прогнозировать толщину и фазовый состав диффузионного слоя с учетом размера зерна обрабатываемого материала.

В четвертой главе диссертации получены оригинальные результаты исследований влияния низкотемпературного локального ионного азотирования с предварительным деформационным измельчением структуры сталей марок 13X11H2B2MФ-Ш и 12X18H10T на структурно-фазовый состав, микротвердость и износостойкость поверхностного упрочненного слоя. В работе установлено, что для стали марки 12X18H10T максимальный прирост поверхностной микротвердости достигается при ионном азотировании при 450 °С, а для стали марки 13X11H2B2MФ-Ш – при 500 °С, что объясняется выделением дисперсных частиц карбидов при нагреве.

В пятой главе исследованы структурно-фазовые превращения, механические и эксплуатационные свойства поверхностных слоев конструкционных сталей марок 16X3HВФМБ-Ш и 38ХМЮА при локальном ионном азотировании с полым катодом. Установлено, что применение полого катода позволяет интенсифицировать процесс диффузионного насыщения в 2-2,5 раза на локальных участках деталей и избежать образования на острых кромках деталей грубой нитридной сетки вследствие активного распыления поверхности материала ионами аргона. Образованная после 12-ти часов локального ионного азотирования с полым катодом многофазная структура, состоящая из $Fe_{2-3}(N)$, $Fe_{2-3}(N, C)$, Fe_4N , $Fe_4(N, C)$, CrN , $Cr(N, C)$, Cr_2N , $Cr_2(N, C)$, позволяет повысить износостойкость поверхности конструкционных сталей марок 38ХМЮА и 16X3HВФМБ-Ш в 1,6-1,7 раза по сравнению с ионным азотированием без полого катода.

В шестой главе исследован разработанный в рамках диссертационной работы новый способ локального ионного азотирования в магнитном поле, позволяющий интенсифицировать процесс диффузионного насыщения в 2-2,5 раза путем создания на отдельных участках деталей повышенного градиента концентрации диффундирующего элемента посредством дополнительной ионизации газовой среды на примере стали марки Р6М5. Установлено, что предварительная пластическая деформация образца из стали Р6М5 перед ионным азотированием позволяет устранить карбидную строчечность и полосчатость после прокатки, снизить объемную величину остаточного аустенита до 1-3% за счет однократного отпуска при 560 °С вместо трех и повысить теплостойкость рабочей поверхности изделий из быстрорежущей стали за счет полноты процесса фазового превращения и более полного растворения легирующих элементов, в частности, вольфрама.

В седьмой главе изучены закономерности влияния газовой среды и температуры процесса локального ионного азотирования на кинетику роста диффузионного слоя для конструкционных сталей. Разработаны новые технологические процессы локального ионного азотирования и даны рекомендации по подготовке заготовок перед операцией упрочнения.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Обоснованность и достоверность результатов диссертационного исследования обеспечивается корректностью постановки задачи и использованием достоверной исходной информации, адекватно применяемыми методами математического моделирования, логичностью формулировок, отсутствием противоречий между разработанным подходом и теоретическими и практическими знаниями, полученными другими исследователями, проведением численных экспериментов, подтверждающих теоретические результаты автора, а также сходимостью полученных результатов с известными теоретическими и экспериментальными исследованиями.

Научная новизна и практическая значимость результатов диссертационных исследований

Научная новизна состоит в следующем:

1. Теоретически обоснованы новые технические решения локального ионного азотирования:
 - в плазме тлеющего разряда повышенной плотности (с полым катодом, в магнитном поле), позволяющие на отдельных участках обрабатываемых изделий из сталей марок 16ХЗНВФМБ-Ш, 38ХМЮА и Р6М5 получать диффузионный слой, в 2-2,5 раза превышающий толщину диффузионного слоя по сравнению с другими участками, азотированными вне зоны плазмы азота повышенной плотности, а также с высокими механическими и эксплуатационными свойствами. Эффект достигается в результате увеличения эффективности процесса ионизации рабочей газовой среды и создания повышенного градиента концентрации диффундирующего элемента на отдельных участках материала;
 - с предварительным деформационным измельчением структуры сталей марок 13Х11Н2В2МФ-Ш и 12Х18Н10Т с возможностью получения диффузионных слоев с различными толщинами и свойствами в моно материале вследствие различия скоростей диффузионного проникновения азота вглубь материала в интервале температур 450-550 °С.
2. Разработана аналитическая модель, позволяющая прогнозировать температуру подложки в зависимости от технологических параметров процесса и состава газовой среды при локальном ионном азотировании.

Практическая ценность работы во многом определена пятью патентами РФ, выданными на способы локального ионного азотирования в плазме тлеющего разряда повышенной плотности и с предварительным деформационным измельчением структуры обрабатываемого материала, а также внедрением результатов исследований на машиностроительных и авиадвигателестроительных производствах страны, среди которых ПАО «ОДК-УМПО» и АО «БелЗАН».

Замечания по работе:

1. На рис. 2.4 диссертации приведена схема реализации технологии ЛИА в МП с системой из постоянных магнитов. В случае большой номенклатуры обрабатываемых заготовок с широким диапазоном размеров потребуется

- изготовление для каждого случая своей уникальной магнитной системы? На сколько это технологично?
2. По математической модели несколько вопросов, которые следует пояснить:
 - каково прикладное значение построенных моделей? Проводили ли проверку адекватности?
 - хотелось бы язык моделирования перевести на язык специальности (стр.138, выводы по гл.3): какие результаты «упрочняющей обработки» являются функционально зависимыми от параметров плазмы? Что подразумевается под «параметрами тепловых и диффузионных процессов»? Какие параметры модели определяют толщину и фазовый состав диффузионного слоя?
 - пояснить вывод на стр.137: «Вычислив положение межфазных границ..., строим график зависимости концентрация азота от расстояния от поверхности...»
 3. В п.3.4. не оговаривается, каковы ограничения по сталям, для которых разработано программное обеспечение расчета параметров диффузионного слоя. Может ли оно применяться для прогнозирования строения слоя в высоколегированных сталях, в частности, в сталях аустенитного и мартенситного классов, изучаемых в работе?
 4. Судя по распределению микротвердости (рис. 3.21), на азотированной поверхности присутствует зона соединений повышенной твердости (30-40 мкм), тогда как диффузионная модель (график на рис. 3.19), очевидно, образования поверхностной нитридной зоны не предусматривает.
 5. В 5 главе диссертации ЛИА с ПК проводится в многокомпонентной газовой среде с присутствием ацетилена C_2H_2 . Возможно, правильнее было бы называть этот процесс нитроцементацией. В 4 и 6 главах процесс ЛИА проводится в газовой среде с присутствием водорода. Чем вызвано применение того или иного состава газовой среды для исследуемых сталей?
 6. Что означает «толщина азотированного слоя в центре образца» – проазотирована сердцевина? Как? И «на периферии образца»? (с. 149-151, рис. 4.15)
 7. Рис. 4.8. мало информативен, хотя в работе структура определяется как структура с двойниками и карбидами по границам зерен.
 8. В чем заключается методика и эффект наноструктурирующей фрикционной обработки (п. 4.6)?

Перечисленные замечания не снижают общего впечатления от работы. Диссертационная работа является законченным научным исследованием, в которой изложены научно-обоснованные теоретические и технологические решения и разработки, имеющие существенное значение для развития страны. Представлен большой экспериментальный материал, полученный на современном исследовательском оборудовании. Для прогнозирования результатов обработки при локальном ионном азотировании использован математический аппарат с применением современного метода конечных элементов.

Заключение

Считаю, что диссертационная работа Хусаинова Ю.Г. «Разработка и научное обоснование новых технических решений формирования упрочненных поверхностных слоев при локальном ионном азотировании сталей» соответствует требованиям п. 9 «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.

Официальный оппонент:

д.т.н., профессор,
профессор кафедры «Технология
конструкционных материалов»
ФГБОУ ВО «Московский
автомобильно-дорожный
государственный технический
университет»



Белашова Ирина Станиславовна

Сведения об официальном оппоненте:

ФИО оппонента:

Белашова Ирина Станиславовна.

Ученая степень и звание:

доктор технических наук по специальности 2.6.17
(05.02.01) – Металловедение (технические науки),
профессор.

Должность:

профессор кафедры «Технология конструкционных
материалов».

Наименование организации:

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Московский автомобильно-дорожный
государственный технический университет»
(МАДИ).

Почтовый адрес:

125319, г. Москва, Ленинградский проспект, 64.

Адрес электронной почты:

irina455@inbox.ru.

Телефон:

+7 (499) 346-01-68 (доб.1200)

Подпись Белашовой И. С.

заверяю

Проректор МАДИ по
учебной работе



Артемьев И.А.