

ОТЗЫВ

официального оппонента

д.т.н., профессора Коновалова Сергея Валерьевича
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 диссертации

В условиях введения беспрецедентных санкций в отношении нашей страны отечественные промышленные предприятия остро нуждаются в передовых, наукоемких и ресурсосберегающих технологиях, обеспечивающих высокое качество и долговечность изделий машиностроения при низких затратах на их изготовление. С целью увеличения ресурса работы изделий в промышленных развитых странах широко применяются методы поверхностного упрочнения, в частности ионное азотирование. Следует отметить, что при эксплуатации изделий машиностроения интенсивному износу, большим контактными и циклическими нагрузками подвергаются только отдельные функциональные поверхности деталей, такие как шейки валов, поверхности шкивов, профили зубчатых колес и др. В этих случаях целесообразно упрочнять высоконагруженную рабочую поверхность детали, что обуславливает необходимость применения технологий локального упрочнения. Поэтому исследования Хусаинова Ю.Г., направленные на разработку новых технических решений формирования упрочненных поверхностных слоев при локальном ионном азотировании в тлеющем разряде с повышенной плотностью, а также с предварительным измельчением структуры материала методами интенсивной пластической деформации, являются несомненно актуальными.

Структура и содержание диссертационной работы

Диссертационная работа Хусаинова Ю.Г. состоит из введения, 7 глав, заключения, списка литературы из 202 наименований и приложений.

Во введении показана актуальность темы диссертации, раскрыта степень ее разработанности, сформулированы цель и задачи исследования, изложены научная новизна полученных результатов и положения, выносимые автором на защиту, обоснованы теоретическая и практическая значимость работы.

ЗАРЕГИСТРИРОВАНО В ОТДЕЛЕ ДЕЛОПРОИЗВОДСТВА ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И.Носова»	
за № _____	_____
Дата регистрации	18.05.2023
Фамилия регистратора	_____

В первой главе проведен анализ различных методов интенсификации процесса диффузионного насыщения при ионном азотировании. Особо отмечается эффективность процесса ионного азотирования при использовании полого катода или магнитного поля, а также при деформационном измельчении структуры обрабатываемого материала. На основании вышеизложенного сформулированы цель и задачи диссертационного исследования.

Во второй главе сформулирована научная гипотеза и определен объект диссертационного исследования. Обоснованно подобраны обрабатываемые материалы, режимы их термической обработки и приведены описания методов исследования структуры, фазового состава, механических свойств и эксплуатационных характеристик после локального ионного азотирования.

В третьей главе диссертации на основе исследования методом компьютерного моделирования процесса локального ионного азотирования с полым катодом получен ряд оригинальных результатов. Разработанная численная модель позволяет определить важные характеристики плазмы тлеющего разряда, в течение всего процесса азотирования прогнозировать распределение температуры в обрабатываемой детали, получать в любой точке исследуемой детали расчетные зависимости нагрева и охлаждения садки, а также распределение концентрации диффундирующего элемента азота в упрочненном слое в зависимости от технологических режимов и состава газовой среды при ионном азотировании для деталей машиностроения. Экспериментальная проверка адекватности предложенной модели показала достаточно близкую сходимость экспериментальных и расчетных значений глубин упрочненного азотированного слоя стали 38ХМЮА. Также в работе разработана математическая модель на основе регрессионного анализа, позволяющая назначать с точностью 92% технологические режимы процесса ионного азотирования исходя из требуемой температуры подложки без дополнительных натуральных испытаний.

В четвертой главе диссертации изучены закономерности формирования структурно-фазового состава, механических и эксплуатационных свойств конструкционных сталей марок 12Х18Н10Т и 13Х11Н2В2МФ-Ш после локального ионного азотирования с предварительным деформационным измельчением структуры. Это позволило получить новые научные результаты, а именно установить, что предварительное деформационное измельчение структуры стали аустенитного и мартенситного классов методом интенсивной пластической деформации кручением позволяет интенсифицировать процесс диффузионного насыщения при низкотемпературном 450°С ионном

азотировании в течение 6 часов в 2-2,5 раза по сравнению с крупнозернистым состоянием без разупрочнения основы материала. При этом максимальное поверхностное упрочнение по сравнению с исходной структурой для стали марки 12Х18Н10Т составила около 40%, а для стали марки 13Х11Н2В2МФ-Ш – около 20% в результате образования преимущественно высокоазотистых нитридов железа.

В пятой главе изложены результаты влияния локального ионного азотирования с полым катодом на структуру, фазовый состав и свойства упрочненного слоя на примере стали марок 16Х3НВФМБ-Ш и 38ХМЮА. Важным экспериментальным результатом, полученным в главе 5 диссертации, является установленный измерениями микротвердости существенный в 2-2,5 раза рост толщины упрочненного слоя на участке ионного азотирования с технологическим экраном. В составе модифицированных слоев после локального ионного азотирования с полым катодом наряду с тонким поверхностным нитридным слоем ϵ -фаз в диффузионной зоне наряду с α -фазой, обедненной легирующими элементами, и карбидами типа M_3C выявлены нитриды и карбонитриды как основного металла железа, так и нитридообразующего легирующего элемента хрома (Fe_3N , $Fe_3(N, C)$, $Fe_4(N, C)$, Fe_4N , $Cr(C, N)$, CrN , $Cr_2(C, N)$, Cr_2N). При этом на участках ионного азотирования с технологическим экраном отмечено некоторое увеличение интенсивности ϵ - и γ' - фаз, связанное с относительно высокой концентрацией азота на поверхности материала.

В шестой главе диссертации изучены закономерности влияния локального ионного азотирования в магнитном поле на структурно-фазовый состав и свойства упрочненного слоя на примере стали марки Р6М5 после интенсивной пластической деформации кручением и последующей термической обработки с однократным отпуском. Разработанный в рамках диссертационной работы новый способ локального ионного азотирования в магнитном поле позволяет ускорить процесс диффузионного насыщения материала азотом в 2-2,5 раза и повысить ее износостойкость вследствие формирования на поверхности материала структуры из высокоазотистых нитридов ϵ -фазы, γ' -фазы и легирующего элемента хрома CrN , Cr_2N , которые позволяют упрочненному слою выдерживать большие нагрузки без разрушения.

В седьмой главе представлена совокупность экспериментальных результатов влияния состава газовой среды при ионном азотировании и температуры диффузионного насыщения на эффективность формирования упрочненной зоны в исследуемых в рамках диссертационной работы сталях

марок 16X3HBFMB-Ш, 38ХМЮА, 12Х18Н10Т и 13Х11Н2В2МФ-Ш. Совокупность полученных теоретических и экспериментальных результатов позволили разработать новые технологические процессы: локального ионного азотирования с полым катодом детали «Шестерня» для ПАО «ОДК-УМПО», низкотемпературного локального ионного азотирования детали «Шток» для НПФ «Пакер», локального ионного азотирования в магнитном поле просечных пуансонов для АО «БелЗАН». По всем внедренным на предприятиях результатам диссертационной работы имеются соответствующие акты.

Достоверность и обоснованность положений и выводов диссертации основана на применении взаимодополняющих аналитических методов исследований: оптическая металлография, рентгеноструктурный анализ. Измерения микротвердости проводили в соответствии с ГОСТ 9450-76, ГОСТ 2999-75. Испытания на износ проводили на установке Nanovea tribometer с использованием стандартной методики «шар по диску» согласно международному стандарту ASTM G 133-95. Приведенные в диссертационной работе результаты исследований и испытаний, полученные с использованием различных методик, достаточно хорошо согласуются между собой и не противоречат известным научным представлениям и результатам. Полученные экспериментальные данные обсуждены на основе общепринятых положений физического металловедения.

Значимость работы для науки и практики. Результаты моделирования, а также совокупность экспериментальных данных о влиянии ионного азотирования в плазме тлеющего разряда повышенной плотности на структуру и фазовый состав диффузионного слоя, зависимости температуры азотируемой поверхности от длительности обработки, изменения микротвердости от технологических режимов, области возникновения эффекта полого катода, кривые нагрева и охлаждения поверхности материала, а также кинетика роста азотируемого слоя для исследуемых сталей вносят существенный вклад в понимание физических процессов ионного азотирования, а также теоретически и экспериментально обосновывают разработанные способы локального ионного азотирования, позволяющие формировать на поверхности детали участки с разнородной структурой и свойствами.

Практическая значимость работы очевидна. Применение численной и аналитической моделей процесса локального ионного азотирования, разработанных в рамках диссертационной работы, позволит сократить длительность технологической подготовки производства вследствие

возможности назначения новых технологических режимов без дополнительных экспериментов.

Впервые разработанные способы локального ионного азотирования с полым катодом, в магнитном поле, а также с предварительным деформационным измельчением структуры материала легли в основу разработанных технологических процессов локального ионного азотирования для ПАО «ОДК-УМПО», НПФ «Пакер» и АО «БелЗАН», позволяющих обрабатывать участки деталей машин и механизмов, подверженных интенсивному износу, упрочнять детали, подверженные короблению, за счет снижения тепловой нагрузки в ходе локального ионного азотирования.

Замечания и вопросы по работе:

1. В диссертационной работе прослеживаются три направления исследований: 1 – локальное ионное азотирование с измельчением структуры основы материала, для исследования этого направления были выбраны стали марок 12Х18Н10Т и 13Х11Н2В2МФ-Ш; 2 – локальное ионное азотирование с полым катодом, для исследования этого направления были выбраны стали марок 16ХЗНВФМБ-Ш и 38ХМЮА; 3 – локальное ионное азотирование в магнитном поле, для исследования этого направления была выбрана сталь Р6М5. Почему были выбраны именно эти стали для каждого из исследуемых направлений? По какому классификационному признаку или критерию?

2. Из третьей главы диссертации (раздел 3.3) не понятно на примере каких сталей в работе проводилось математическое моделирование процесса нагрева детали при ионном азотировании методом регрессионного анализа? Почему не учитывался химический состав нагреваемого материала при моделировании? Как применить разработанную модель для других сталей не исследуемых в рамках данной диссертационной работы? Каковы границы применимости модели? Почему результаты моделирования не применены на практике?

3. Оптические фотографии треков износа, приведенных в диссертационной работе (разделы 4.5, 5.5), малоинформативные. На мой взгляд, фотографии треков износа, сделанные методом растровой электронной микроскопии, наглядно могли показать смену механизма износа.

4. В четвертой главе диссертации сначала исследования проводятся на образцах, прошедших интенсивную пластическую деформацию кручением, а затем – на образцах, прошедших наноструктурирующую фрикционную обработку. Чем вызван переход от одного метода обработки к другому? Почему

изначально все исследования в четвертой главе не проводились на образцах, прошедших наноструктурирующую фрикционную обработку?

5. В пятой главе диссертации на рисунках 5.7 и 5.8 представлены кинетики роста локального упрочненного слоя в тлеющем разряде с полым катодом для сталей марок 16ХЗНВФМБ-Ш и 38ХМЮА. Однако из текста диссертации не ясно, каким образом проводилась оценка толщины упрочненного слоя. По снимкам, сделанным с помощью оптической металлографии произвести точное измерение затруднительно.

6. В шестой главе диссертации для получения однородной структуры стали Р6М5 до азотирования применялась интенсивная пластическая деформация кручением. Как это позволяет интенсифицировать диффузионный процесс при азотировании? Какова тогда роль магнитного поля?

Отмеченные отдельные замечания не снижают ценности и значимости выполненных исследований, носят частный характер и не влияют на общую положительную оценку работы. Диссертационная работа Хусаинова Ю.Г. представляет собой законченное исследование. Автореферат полностью соответствует тексту диссертации. Материалы диссертационной работы достаточно полно опубликованы в 13 статьях в журналах из перечня ВАК, а также в 12 статьях в зарубежных научных изданиях, индексируемых в Web of Science или Scopus. Результаты работы докладывались на Международных и Всероссийских конференциях.

Соответствие содержания диссертации указанной специальности

Диссертационная работа 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.11 «Определение механизмов влияния различных механических, тепловых, магнитных и других внешних воздействий на структуру металлических материалов и разработка на этой основе новых методик их испытаний, обеспечивающих надежное прогнозирование и моделирование работоспособности конструкций» паспорта научной специальности 2.6.1. «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Заключение

По актуальности и объему выполненных исследований, новизне, достоверности, научной и практической значимости полученных результатов и выводов 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 диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук. Она является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований решена научная проблема формирования упрочненных поверхностных слоев при локальном азотировании сталей разных структурных классов, имеющая важное хозяйственное значение. 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

Доктор технических наук, профессор,
проректор по научной и инновационной деятельности
Федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Сибирский государственный
индустриальный университет»



Коновалов Сергей
Валерьевич
10 мая 2023 г.

Сведения об авторе отзыва

ФИО оппонента: Коновалов Сергей Валерьевич.

Ученая степень и звание: доктор технических наук по специальности 01.04.07 -
Физика конденсированного состояния, профессор.

Должность: проректор по научной и инновационной деятельности.

Наименование организации: Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования «Сибирский
государственный индустриальный университет».

Почтовый адрес: 654007, Кемеровская область - Кузбасс, г. Новокузнецк,
Центральный район, ул. Кирова, зд. 42.

Адрес электронной почты: konovalova@sibsiu.ru. Телефон: +7 (3843) 742016

Подпись С.В. Коновалова удостоверяю
Начальник отдела кадров СибГИУ



Татьяна Анатольевна
Миронова