

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Асылбаева Александра Владиславовича

«Влияние пластической деформации и ионно-плазменного азотирования на структуру и свойства стали Р6М5», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности

2.6.1. «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»

Актуальность темы диссертации

Постоянное повышение требований к механическим и эксплуатационным свойствам материалов, обусловленное развитием техники и технологий, приводит к тому, что применяемые материалы зачастую не удовлетворяют необходимым характеристикам по одному или нескольким параметрам. Это ставит необходимость либо использовать более дорогостоящие аналоги, либо осуществлять структурную модификацию существующих материалов методами механической и термической обработки. Пластическая деформация как метод такой модификации позволяет сформировать на поверхности деформированную структуру с повышенными физико-механическими свойствами. Однако, в условиях контактных нагрузок поверхности с подобной структурой подвержены интенсивному износу, что обуславливает необходимость последующей химико-термической обработки (ХТО), в частности, широко распространенного в промышленности ионно-плазменного азотирования.

Однако эффективное ионное азотирование происходит при температуре выше 500 °С, при которых деформированная структура стали Р6М5 разупрочняется вследствие рекристаллизации. Понижение температуры азотирования предотвращает разупрочнение, однако сопровождается снижением скорости диффузии азота и, как следствие, значительным увеличением длительности процесса.

В работе была поставлена цель – найти решение проблемы сокращения времени процесса и одновременного повышения скорости диффузионного

насыщения. В результате была изучена и предложена комбинированная технология предварительной пластической деформации и последующего ионно-плазменного азотирования с использованием дополнительно магнитного поля, которое резко интенсифицирует диффузию азота вглубь. Поставленная задача была решена, соответственно представленная работа Асылбаева А. В., позволяющая сократить время диффузионного насыщения, увеличить толщину упрочненной зоны без повышения температуры процесса и получить высокие физико-механические характеристики, является, безусловно, **актуальной**.

Общая характеристика работы

Диссертационная работа Асылбаева А. В. состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы. В работе сформулированы актуальность темы и ее научная новизна, представлены практическая значимость, достоверность результатов и апробация работы. Автором проделана большая работа по изучению отечественных и зарубежных научных публикаций по тематике исследования. Рассмотрены особенности различных методов интенсификации ионно-плазменного азотирования и способов повышения диффузии в металлах при поверхностной деформации. Теоретически обоснован подход к выбору разрабатываемой технологии с точки зрения прохождения диффузионных процессов и возможностей их ускорения. В работе представлен большой объем экспериментальных исследований в виде графиков и фотографий по влиянию пластической деформации и ионно-плазменного азотирования на структуру слоя и механические характеристики.

Представлены экспериментальные данные по влиянию режимов ионно-плазменного азотирования (температуры и длительности процесса) на механические свойства и структуру инструментальной стали Р6М5, а также данные по исследованию влияния предварительной пластической деформации на диффузию азота в материале. Получены результаты по дополнительному фактору ускорения диффузии – влиянию магнитного поля на создание повышенного градиента концентрации азота в приповерхностной зоне,

проведен сравнительный анализ технологий традиционного ионно-плазменного азотирования и азотирования с магнитной системой и показаны преимущества последней. Исследовано влияние магнитных характеристик на плазму тлеющего разряда. Полученными экспериментальными результатами подтверждены основные выводы по работе.

Список литературы по теме диссертации включает в себя 75 источников.

В целом, диссертационная работа написана технически грамотным языком. Каждая глава содержит важные результаты исследования автора и сопровождается развернутыми выводами. Диссертация оформлена в соответствии с ГОСТ 7.01.11-2011.

Научная новизна диссертационной работы Асылбаева А. В. не вызывает сомнения и заключается в получении новых экспериментальных данных о формировании упрочненных слоев в результате ионно-плазменной обработки в тлеющем разряде с применением *технологий интенсификации* диффузионных процессов в поверхностных слоях инструментальной стали, а именно:

- в установлении эффективности применения магнитного поля с индукцией 35 мТл при ионно-плазменном азотировании, с помощью которого в зоне обработки возникает градиент концентрации заряженных частиц и, тем самым, увеличение концентрации электронов до $4,58 \cdot 10^{16} \text{ м}^{-3}$ в прикатодной области, что приводит к увеличению толщины упрочненного слоя с 80 до 140 мкм.

- в установлении влияния пластической деформации в качестве предварительной обработки перед ионно-плазменным азотированием с магнитным полем, которое приводит к снижению коэффициента трения поверхности в 2 раза вместе с сокращением адгезионной составляющей износа, результатом чего является увеличение *толщины* поверхностной зоны микротвердостью 1400 HV_{0,1} с 20 мкм до 90 мкм.

- в установлении эффективности применения магнитного поля при ионно-плазменном азотировании в интервале температур 400...450°C в течение 4...6 часов, при котором стойкость металлорежущего инструмента

возросла на 30% по сравнению с инструментом, обработанным по традиционной технологии.

Практическая значимость работы

Несомненную практическую значимость представляют следующие результаты:

1. Разработан способ ионно-плазменного азотирования в магнитном поле, который позволяет осуществлять процесс азотирования одновременно с генерированием в камере магнитного поля. При этом нагрев до температур азотирования осуществляется посредством плазмы азота повышенной плотности, сформированной в тороидальной области вращения электронов при помощи магнитного поля (Патент РФ №2711067).

2. Разработан способ ионно-плазменного азотирования изделий с деформированной структурой в магнитном поле, механизм которого заключается в создании на изделии деформированной структуры путем пластической деформации и последующем ионно-плазменным азотировании в тлеющем разряде с наложением магнитных полей (Патент РФ №2793172).

3. Разработан способ диагностики плазмы с помощью зонда Ленгмюра с защитным кольцом, который заключается в установке зонда в плазму и регистрации вольтамперных характеристик, позволяющих определить параметры плазмы. Отличительной особенностью способа является установленное на зонде защитное кольцо из проводящего материала, обеспечивающее возникновение на зонде и на защитном кольце электрических слоев, которые перекрывают друг друга, что ведет к уменьшению их площади (Патент РФ №2777900).

4. Разработана комбинированная технология ионно-плазменного азотирования в тлеющем разряде с магнитным полем пластически деформированной стали Р6М5. Полученные результаты были внедрены в производственный процесс ПАО «ОДК-УМПО» при упрочнении металлорежущего инструмента, что подтверждается соответствующим актом внедрения.

Степень достоверности результатов и научных положений

Достоверность полученных результатов, научных положений и выводов основана на сопоставлении полученных экспериментальных данных и результатов оригинальных исследований с результатами исследований других авторов, представленных в научной литературе. Эксперименты проведены с использованием высокоточного промышленного оборудования, применяемого для химико-термической обработки в плазме тлеющего разряда. Стандартные испытания и исследования проводились в соответствии с требованиями научно-технической документации, действующей на территории Российской Федерации (ГОСТ и ISO), на поверенном и сертифицированном современном оборудовании с использованием лицензионного программного обеспечения. Основные результаты прошли широкое обсуждение на всероссийских и международных научных конференциях, и опубликованы в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК и в изданиях, включенных в базы Web of Science и Scopus.

Замечания по диссертационной работе

По содержанию и оформлению диссертации можно сделать следующие замечания:

1. Из текста автореферата и диссертации не ясна структура и предварительная термообработка исследуемых образцов из инструментальной стали. В разделе 2.2 указаны размеры образцов и исходный материал, но отсутствует информация о виде и режимах термической обработки, которой образцы подвергались перед проведением всех экспериментальных и исследовательских работ. Также в работе отсутствуют снимки исходной структуры образцов (исходный образец и ИПДК образец) до ионно-плазменного азотирования.

2. В разделе 2.5 необходимо было дать пояснения по выбору параметров испытаний на износостойкость (нагрузка – 10 Н, скорость вращения образца – 0,1 м/с), по выбору материала контртела (карбид вольфрама WC) и режима испытания (сухое трение).

3. Для режущего инструмента, каким является инструмент из стали Р6М5, *характерным стандартным* испытанием является получение зависимости «скорость-стойкость», стоило бы его провести тоже.

4. В «новизне» фраза –«...увеличение концентрации электронов до $4,58 \cdot 10^{16} \text{ м}^{-3}$ в прикатодной области....» Не совсем понятно, как это было подсчитано.

5. С нашей точки зрения, формулировка «Новизны» написана не совсем удачно: новизна – «в применении...», «в установлении...», «в увеличении...» и т.д.

6. Имеются отдельные опечатки и неточности в формулировках по тексту. В частности, в разделах 3.1 и 4.1 в подрисуночной надписи к рисункам 3.6, 3.19-3.22 и 4.17-4.20 а также в тексте перед ними указано «Оптические снимки», хотя из самих снимков отчетливо видно, что это РЭМ снимки. Также в начале глав 3 и 4, где кратко даны описания представленных в главах исследований, отсутствует упоминание РЭМ, хотя в разделе 2.7 представлено описание данной методики.

7. В тексте много синтаксических ошибок.

Сделанные замечания не снижают научной и практической ценности диссертации, а также общей высокой оценки работы, поскольку носят рекомендательный или уточняющий характер.

Заключение

Диссертационная работа Асылбаева Александра Владиславовича выполнена на высоком научно-техническом уровне, представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой изложены научно-обоснованные технологические решения по ионно-плазменному азотированию в тлеющем разряде с магнитным полем предварительно пластически деформированной стали Р6М5, обеспечивающих повышение стойкости металлорежущего инструмента за счет формирования упрочненного слоя с высокими физико-механическими свойствами. Безусловным достоинством работы является успешная апробация в условиях *реального производства* на ПАО «ОДК-УМПО» (г. Уфа) при реализации

ионно-плазменного азотирования режущего инструмента.

По научному уровню, полученным результатам, содержанию и оформлению представленная работа удовлетворяет всем требованиям п.п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842», а ее автор **Асылбаев Александр Владиславович**, заслуживает присуждения ученой степени кандидата 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 «МАДИ»

Белашова Ирина Станиславовна

Подпись Белашовой Ирины Станиславовны удостоверяю.



Проректор МАДИ по научной работе

Мазлумян Г. С.

Наименование организации ФГБОУ ВО «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)

17.06.2025