

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ» (НИУ «БелГУ»)



Победы ул., д. 85, г. Белгород, 308015; e-mail: info@bsu.edu.ru,
тел.: (4722) 30-12-11, факс 30-10-12, Web: http://www.bsu.edu.ru
ОКПО 02079230, ОГРН 1023101664519, ИНН/КПП 3123035312/312301001

№ _____ от _____

13.06.2025

УТВЕЖДАЮ
Проректор по
стратегическому развитию,
науке и инновациям
Е.В. Скрипникова

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет» на диссертационную работу Асылбаева Александра Владиславовича на тему «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 диссертационной работы

Постоянное развитие техники и технологий предъявляет к материалам все более жесткие требования по механическим и эксплуатационным свойствам. В настоящее время используемые материалы зачастую не удовлетворяют требуемым характеристикам хотя бы по одному параметру, что приводит к необходимости использования либо более дорогостоящих аналогов, либо структурная модификация имеющихся путем механической и термической обработок.

Одним из методов структурной модификации является механическая обработка материалов пластической деформацией, которая заключается в формировании на поверхности материалов деформированной структуры, показывающая высокие значения физико-механических свойств. Но несмотря на это, поверхность материалов с подобной структурой в условиях контактных нагрузок интенсивно изнашивается. Поэтому материалы с деформированной структурой необходимо подвергать химико-термической обработке (ХТО) – ионно-плазменное азотирование, являющейся наиболее распространенным в промышленности. Так как эффективная температура

ионного азотирования находится выше 500 °С, а деформированная структура при нагреве выше данной температуры разупрочняется, в результате рекристаллизации, то необходимо понижать температуру азотирования. Однако при ее уменьшении снижается скорость диффузии азота, и, следовательно, увеличивается длительность обработки.

В этой связи диссертационная работа Асылбаева А. В., направленная на исследование ионно-плазменного азотирования в тлеющем разряде с магнитным полем предварительно пластически деформированной стали Р6М5, а также на применение данной технологии с целью повышения скорости диффузии за счет увеличения градиента концентрации насыщающего элемента и формирования упрочненного слоя с высоким значением физико-механических свойств обеспечивающая повышение стойкости металлорежущего инструмента, представляет несомненную актуальность как с научной, так и с практической точки зрения.

Структура и содержание работы

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и одного приложения. Общий объем диссертации составляет 122 страницы. Работа содержит 62 рисунка и 7 таблиц, список цитируемой литературы включает 75 источника. Содержание и структура диссертации соответствуют поставленной цели исследования и находятся в логическом единстве.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи работы, представлена научная новизна, теоретическая и практическая значимость, изложены основные положения, выносимые на защиту, сведения о личном вкладе автора в работу, также приводится список публикаций автора по теме диссертации и сведения об апробации работы.

В первой главе автор проводит литературный анализ научных статей и изданий отечественных и зарубежных авторов по тематике работы. Представлен анализ научных публикаций о различных способах интенсификации ионно-плазменного азотирования и способов повышения диффузии в металлах методами поверхностной деформации.

Во второй главе приведена информация о рассматриваемом материале, используемом оборудовании и методиках механических испытаний. В качестве материала исследования была выбрана инструментальная сталь Р6М5, предварительно подвергнута интенсивной пластической деформацией кручением. Затем было проведено ионно-плазменное азотирование с контролем температуры и магнитного поля.

В третьей главе представлены результаты исследования представлены результаты исследования влияния режимов ионно-плазменного азотирования на механические свойства и структуру инструментальной стали Р6М5, и влияние предварительной пластической деформации на диффузию азота в исследуемом материале. В качестве основных исследуемых свойств рассматривались микротвердость и износостойкость. Оценка микротвердости после ионно-плазменного азотирования выявила прирост твердости в 1,2

раза. Применение ИПДК обеспечивает увеличение толщины упрочненного слоя. После ИПДК была выявлена структура наклепа с высокой плотностью дислокаций и наличием дефектов, что способствовало увеличению адсорбции азота и образованию нитридов в поверхностном слое. Также был проведен анализ коэффициента трения в зависимости от времени изнашивания поверхности стали Р6М5, подвергнутой ИПДК и без деформации. Было выявлено, что применение ИПДК перед ионно-плазменным азотированием приводит к снижению изнашиваемости поверхности. Было показано, что с увеличением длительности ионно-плазменного азотирования происходит рост азотированного слоя, максимальная толщина которого достигается после 6 часов. Применение ИПДК позволяет уже после 2 часов ионно-плазменного азотирования выйти на такую же толщину азотированного слоя. Был проведен рентгеноструктурный анализ азотированных слоев, который выявил образование нитридной ϵ -фазы (Fe_3N). Увеличение продолжительности ионно-плазменного азотирования обеспечивало увеличение объемной доли нитридной фазы.

В четвертой главе представлены результаты исследования влияния магнитного поля при ионно-плазменном азотировании в тлеющем разряде на механические свойства и структуру пластически деформированной инструментальной стали Р6М5. Распределение микротвердости выявило увеличение толщины упрочненного слоя в присутствии магнитного поля. Более того, применение магнитного поля способствовало снижению коэффициента трения до 2 раз. Такие результаты были получены одновременно на образцах с ИПДК и без деформации. Рентгеноструктурный анализ выявил, что применение магнитного поля приводит к формированию нитридов FeN .

В пятой главе представлены результаты исследования изменения температуры поверхности образцов от времени нагрева в плазме тлеющего разряда с магнитным полем и без него, из которых видно, что использование магнитного поля позволяет ускорить нагрев поверхности образцов. Применение магнитного поля при обработке в плазме тлеющего разряда при давлении 50 Па обеспечивает прирост максимальной температуры с 350°C до 515°C , что, в свою очередь, ускоряет диффузия атомов азота и увеличивает глубину их проникновения внутрь материала. Наиболее важно отметить, что разработанная комбинированная технология ионно-плазменного азотирования с магнитным полем была внедрена на ПАО «ОДК-УМПО» в виде типового технологического процесса ионно-плазменного азотирования в тлеющем разряде при упрочнении свёрл, что подтверждается соответствующим актом внедрения.

В заключении приведены общие выводы, сделанные по полученным в диссертационной работе результатам, а также перспективы дальнейшего развития темы.

Научная новизна результатов, изложенных в диссертации

Научная новизна диссертационной работы Асылбаева А. В. не вызывает сомнения и заключается в следующем:

1. Установлено, что применение магнитного поля с индукцией 35 мТл при ионно-плазменном азотировании в зоне обработки формирует градиент концентрации заряженных частиц, и, увеличивая концентрацию электронов до $4,58 \cdot 10^{16} \text{ м}^{-3}$ в прикатодной области, способствует увеличению числа актов ионизации обрабатываемой поверхности, приводя к увеличению толщины упрочненного слоя с 80 до 140 мкм;

2. Установлено что применение пластической деформации в качестве предварительной обработки перед ионно-плазменном азотировании с магнитным полем, приводит к снижению коэффициента трения поверхности в 2 раза вместе с сокращением адгезионной составляющей износа, в результате увеличения поверхностной зоны со значением микротвердости 1400 HV_{0,1} с 20 мкм до 90 мкм;

3. Установлено, что применение магнитного поля при ионно-плазменном азотировании при 100 Па в интервале температур 400...450°C в течение 4...6 часов, увеличивает стойкость металлорежущего инструмента на 30% по сравнению с инструментом, обработанным по исходной технологии.

Степень достоверности результатов исследования

Достоверность полученных в диссертационной работе научных результатов подтверждается применением поверенного и сертифицированного современного оборудования с использованием лицензионного программного обеспечения, соответствием экспериментальных данных теоретическим расчетам, а также сопоставлением полученных результатов с другими исследованиями. 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). Структурные исследования проведены методами оптической и растровой электронной микроскопии, и рентгеноструктурного анализа. Механические и триботехнические свойства поверхности оценивали по результатам общепринятых стандартизированных методик.

Теоретическая и практическая значимость результатов, полученных автором работы, заключается в следующем:

Достоинством диссертационной работы Асылбаева А. В. является то, что автору удалось подробно исследовать влияние магнитного поля при ионно-плазменном азотировании пластически деформированной инструментальной стали Р6М5 на структуру, фазовый состав и механические свойства. Для этого в диссертационной работе применялись современные методы исследований: трибологические испытания поверхности на

износостойкость, металлографический и рентгеноструктурный анализы, а также запатентованный новый способ диагностики плазмы при помощи одиночного зонда Ленгмюра с защитным кольцом. Автор получил ряд результатов, обладающих научной новизной и практической значимостью. В том числе им установлено, что применение пластической деформации в качестве предварительной обработки перед ионно-плазменным азотированием с магнитным полем, приводит к снижению коэффициента трения поверхности в 2 раза вместе с сокращением адгезионной составляющей износа, толщина упрочненного слоя увеличивается с 80 мкм до 140 мкм, а поверхностная микротвёрдость составляет 1400 HV_{0,1}.

Практическая значимость работы включает разработанную комбинированную технологию ионно-плазменного азотирования с магнитным полем. Немаловажно, что разработанная автором комбинированная технология прошла успешную апробацию в условиях реального производства на ПАО «ОДК-УМПО» (г. Уфа), при реализации ионно-плазменного азотирования режущего инструмента. На разработанный способ был получен патент РФ №2711067, а типовая технология упрочнения инструмента внедрена на ПАО «ОДК-УМПО».

Замечания:

Отмечая достоинства диссертационной работы А. В. Асылбаева, в качестве замечаний следует указать:

1. В автореферате не приведен химический состав и предварительная обработка стали Р6М5 до ИПДК. В целом, не понятен выбор стали Р6М5, к которой применяется многоступенчатый отжиг для выделения специальных карбидов для достижения максимальных значений прочности. Не проще ли было построить работу на более простой инструментальной стали типа У8.

2. Следующий непонятный момент, требуется ли окончательная термическая обработка после азотирования? Потому как твердость исходного материала всего 200 HV, т.е. не реализован весь потенциал высокой твердости материала.

3. Также в автореферате не представлена микроструктура стали после ИПДК, чтобы можно было оценить степень измельчения микроструктуры перед азотированием.

4. Какие физические основания для влияния ИПДК на толщину азотированного слоя? В автореферате не приведены изображения ПЭМ или СЭМ с образующимися нитридными фазами, чтобы сделать вывод о местах их зарождения.

5. В автореферате не указаны размеры и объемные доли формирующихся нитридных фаз, чтобы можно было оценить их упрочняющий эффект.

Приведенные выше замечания носят рекомендательный характер и не снижают значимость проведенной работы.

Соответствие диссертации паспорту специальности

Анализ цели и задач диссертации, методов и методик их решения, полученных экспериментальных результатов и научных закономерностей и предложенных теоретических обоснований, а также сформулированных выводов и практических рекомендаций позволяет заключить, что диссертация Асылбаева Александра Владиславовича «Влияние пластической деформации и ионно-плазменного азотирования на структуру и свойства стали Р6М5» соответствует паспорту специальности 2.6.1. – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов в следующих пунктах:

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».

Заключение

Представленная диссертационная работа Асылбаева А. В. выполнена на высоком научно-техническом уровне и представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой изложены закономерности влияния ионно-плазменного азотирования в тлеющем разряде с магнитным полем на структурно-фазовый состав и механические свойства предварительно пластически деформированной стали Р6М5.

Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, прошли апробацию на 14 научно-технических конференциях, опубликованы в 20 научных работах, из которых 3 опубликованы в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 4 – в изданиях, индексируемых международными базами данных Web of Science и Scopus. Также получены 3 патента РФ на изобретения. Автореферат и опубликованные работы полностью отражают содержание диссертации.

По научному уровню, полученным результатам, содержанию и оформлению представленная работа удовлетворяет всем требованиям п.п.9-16 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.

Диссертация соискателя и отзыв на нее были заслушаны и обсуждены на расширенном заседании кафедры материаловедения и нанотехнологий ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет» 11 июня 2025 г. (протокол № 12).
Результаты голосования: «За» — 16 чел., «Против» — нет, «Воздержались» — нет.

Отзыв подготовила:

И.о. заведующего кафедрой материаловедения
и нанотехнологий ФГАОУ ВО НИУ «БелГУ»
д. техн. н. по специальности 2.6.1 Металловедение
и термическая обработка металлов и сплавов

 / Федосеева Александра Эдуардовна
13.06.2025

Сведения о ведущей организации

Адрес: 308015, Белгородская область, г. Белгород, ул. Победы, д. 85

Наименование организации: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»

Телефон: +7 (4722) 30-12-11

Адрес электронной почты: Info@bsuedu.ru

