

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора технических наук, доцента Апажева Аслана Каральбиевича на диссертационную работу Бадекина Максима Юрьевича **«Повышение долговечности рабочих органов почвообрабатывающих машин ионно-плазменными методами»**, представленную к публичной защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса, в диссертационный совет 35.2.030.03 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К. А. Тимирязева»

Актуальность работы

Современное сельскохозяйственное производство предъявляет высокие требования к качеству и эффективности обработки почвы, от которых во многом зависит урожайность культур и устойчивость агротехнологических процессов. Одним из наиболее ответственных и быстроизнашивающихся элементов почвообрабатывающих машин являются рабочие органы – прежде всего плужные лемехи, диски, лапы культиваторов, подвергающиеся интенсивному абразивному, ударному и коррозионному воздействию в условиях эксплуатации.

По данным исследований, износ рабочих органов приводит к значительным потерям в агропромышленном комплексе: до 70 % отказов сельскохозяйственной техники связано с износом деталей, при этом до 40 % приходится на лемехи плугов. Быстрый выход их из строя обуславливает снижение качества обработки почвы, рост тягового сопротивления, перерасход топлива и увеличение эксплуатационных затрат, а также негативное воздействие на состояние почвенных ресурсов.

Особую актуальность проблема приобретает в свете задач импортозамещения и необходимости обеспечения отечественных хозяйств конкурентоспособными и долговечными рабочими органами, способными эффективно функционировать в сложных почвенно-климатических условиях. Традиционные конструкционные материалы и методы упрочнения не всегда позволяют достичь оптимального сочетания твердости, вязкости и износостойкости.

В этой связи разработка новых технологий упрочнения, основанных на использовании ионно-плазменных методов модификации поверхности, является важным направлением современных исследований. Такие технологии позволяют существенно повысить долговечность рабочих органов почвообрабатывающих машин, снизить эксплуатационные затраты и обеспечить значительный экономический эффект в сельскохозяйственном производстве.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность и новизна

Обоснованность основных положений диссертации не вызывает сомнений, так как полученные результаты подтверждены комплексом теоретических расчетов,

лабораторных исследований и полевых испытаний, проведённых с использованием современных методик, сертифицированных приборов и аналитического программного обеспечения. Проведенные эксперименты включали металлографический и рентгеноструктурный анализ, исследования микротвёрдости, электронную микроскопию, а также проверку эксплуатационных характеристик в условиях реального использования почвообрабатывающей техники.

Научная новизна диссертационной работы заключается в разработке и обосновании принципиально нового подхода к повышению долговечности рабочих органов почвообрабатывающих машин за счёт комбинированного применения вакуумного отжига и ионно-плазменного нанесения покрытий на основе нитрида титана. Впервые установлена корреляция между режимами вакуумной термообработки и параметрами формируемой диффузионной зоны в системе «сталь Л53 – наплавка Сормайт», обеспечивающая оптимальное сочетание твёрдости, пластичности и износостойкости. Разработана технология нанесения покрытий TiN с высокой адгезией (≥ 450 МПа) и низким коэффициентом трения ($\leq 0,35$), что позволяет увеличить ресурс плужных лемехов в 2,5–6,5 раза по сравнению с серийными аналогами.

Ценность полученных результатов для науки и практики

Результаты диссертационного исследования обладают существенной ценностью как для науки, так и для практики. Научная значимость работы заключается в развитии представлений о процессах структурно-фазовых преобразований в системе «сталь Л-53 – наплавка Сормайт» при вакуумной термообработке и последующем ионно-плазменном нанесении покрытий. Впервые показана возможность управления морфологией карбидных включений и параметрами диффузионной зоны с целью обеспечения оптимального сочетания твёрдости, ударной вязкости и износостойкости рабочих органов почвообрабатывающих машин.

Практическая ценность результатов определяется разработкой и внедрением комплексной технологии упрочнения плужных лемехов, включающей наплавку сплава Сормайт, вакуумный отжиг и нанесение покрытия TiN. Данная технология обеспечивает увеличение ресурса рабочих органов в 2,5–6,5 раза, снижение тягового сопротивления плуга на 5 %, сокращение расхода топлива и значительное уменьшение затрат на замену и обслуживание техники.

Экономическая эффективность внедрения разработанной технологии подтверждена расчётами: для крупного хозяйства с парком в 1000 плугов годовой эффект составляет около 13,9 млн рублей при сроке окупаемости капитальных вложений около одного года.

Техническая новизна результатов подтверждена патентом на изобретение, а также публикациями в изданиях, включённых в перечень ВАК и международные базы данных (Scopus, WoS).

Следует также отметить учебно-методическое значение диссертационной работы: отдельные её положения были адаптированы для использования в учебном процессе в системе подготовки специалистов агроинженерного профиля.

Оценка содержания диссертации, ее завершенности и оформления

Работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Основное содержание диссертации изложено на 244 страницах машинописного текста, из которых 219 страниц занимает основная часть работы. Текст сопровождается иллюстративным материалом, представленным таблицами и рисунками, что обеспечивает наглядность и полноту восприятия результатов исследования. Список литературы насчитывает 134 наименования, в том числе 51 источник на иностранных языках, что свидетельствует о широкой проработке автором отечественных и зарубежных публикаций по теме исследования.

Диссертация имеет завершённый характер, логично структурирована, соответствует паспорту специальности 4.3.1 «Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса» и в целом оформлена в соответствии с установленными требованиями к диссертационным исследованиям.

Во введении обоснована актуальность темы, связанная с необходимостью повышения долговечности рабочих органов почвообрабатывающих машин, подвергающихся интенсивному абразивному, ударному и коррозионному износу в условиях эксплуатации. Сформулированы цель и задачи исследования, определены объект и предмет работы. Показана научная новизна исследования, заключающаяся в разработке нового подхода к упрочнению рабочих органов на основе комбинированного применения вакуумной термообработки и ионно-плазменного нанесения покрытий. Отражены теоретическая и практическая значимость полученных результатов, включающих возможность увеличения ресурса рабочих органов в несколько раз, снижение тягового сопротивления и экономический эффект от внедрения разработанной технологии.

Также дана характеристика степени разработанности исследуемой проблемы, обоснована необходимость дальнейших исследований в области поверхностного упрочнения, изложены основные положения, выносимые на защиту, а также вопросы реализации и апробации результатов, подтверждённые публикациями, патентом и внедрением в производство.

В первой главе, посвящённой анализу состояния проблемы, постановке цели и задач исследований, рассмотрены условия работы и изнашивания рабочих органов почвообрабатывающих машин, проанализированы закономерности износа деталей, современные конструкционные материалы и применяемые технологии упрочнения. Особое внимание уделено обзору методов повышения долговечности рабочих органов, включая термическую и химико-термическую обработку, наплавку, нанесение покрытий и ионно-плазменные методы.

Анализ литературных источников показал, что, несмотря на значительное количество исследований, многие вопросы, связанные с обеспечением комплексной долговечности рабочих органов в условиях интенсивного абразивного и коррозионного износа, до настоящего времени не получили окончательного решения. Существующие подходы часто носят частный характер и не всегда обеспечивают оптимальное сочетание твёрдости, ударной вязкости и износостойкости, необходимое для работы в реальных почвенно-климатических

условиях.

Выводы по первой главе представляются обоснованными, базируются на глубоком анализе накопленного отечественного и зарубежного опыта в области материаловедения и технологии упрочнения, являются информативными и логично вытекают из представленного материала, формируя научное основание для постановки задач последующих исследований.

Вторая глава посвящена оценке влияния химического состава и технологии термической обработки на эксплуатационные характеристики сталей, применяемых для изготовления рабочих органов почвообрабатывающих машин. В ней рассмотрены особенности формирования микроструктуры и свойств конструкционных материалов в зависимости от содержания углерода, марганца, хрома, молибдена и других легирующих элементов, а также влияние различных режимов закалки, отпуска и вакуумного отжига на твердость, прочность и ударную вязкость.

Отдельное внимание уделено анализу эксплуатационных факторов, определяющих характер и интенсивность износа, а также обзору современных методов нанесения упрочняющих покрытий вакуумными и ионно-плазменными методами.

Выводы по второй главе являются обоснованными и отражают как теоретические, так и прикладные результаты исследований. Представленные данные послужили основой для последующей разработки технологических решений по упрочнению рабочих органов, включая выбор оптимальных режимов термообработки и параметров нанесения покрытий, что позволило заложить фундамент для экспериментальной части исследования.

В третьей главе изложены материалы, программа и методики исследований, применённые для решения поставленных задач. Подробно представлены методы термической обработки и упрочнения композитных материалов, методика получения покрытий из нитрида титана и их характеристики, а также методики металлографического и рентгеноструктурного анализа, измерения микротвёрдости и исследования микроструктуры с использованием сканирующей электронной микроскопии.

Кроме того, описаны подходы к оценке коррозионной стойкости и проведению полевых испытаний рабочих органов в условиях эксплуатации. Особое внимание уделено выбору и обоснованию экспериментальных схем, позволяющих комплексно исследовать влияние режимов вакуумного отжига и ионно-плазменного напыления на структуру, свойства и эксплуатационные характеристики упрочнённых образцов.

Выводы по третьей главе достоверны, логично вытекают из представленного материала и подтверждают новизну применённых методик. Использование комплекса современных аналитических и экспериментальных методов позволило автору обеспечить полноту и достоверность полученных данных, что создаёт основу для представленных далее результатов и выводов.

В четвёртой главе представлены результаты экспериментальных исследований. В объём экспериментальной части вошли: изучение влияния режимов вакуумного отжига на формирование структуры и свойств стали Л-53 с

наплавкой Сормайт; исследования фазового состава, морфологии и параметров диффузионной зоны после различных режимов обработки; определение микротвёрдости, распределения твёрдости по сечению упрочнённого слоя и толщины модифицированной зоны; испытания образцов с покрытиями TiN на адгезионную прочность, металлографический и рентгеноструктурный анализ состояния поверхности после ионно-плазменного нанесения покрытий.

Кроме того, проведены натурные испытания рабочих органов почвообрабатывающих машин в производственных условиях, в ходе которых оценивались ресурс лемехов, изменение их геометрии в процессе работы, тяговое сопротивление плуга и расход топлива.

Выводы по четвёртой главе: Результаты экспериментальных исследований показали, что применение комбинированной технологии упрочнения обеспечивает формирование диффузионной зоны с оптимальным сочетанием твёрдости, пластичности и износостойкости. Покрытия на основе нитрида титана характеризуются высокой адгезией (не менее 450 МПа), низким коэффициентом трения ($\leq 0,35$) и повышенной стойкостью к коррозии.

Производственные испытания подтвердили эффективность разработанной технологии: ресурс плужных лемехов увеличился в 2,5–6,5 раза по сравнению с серийными образцами, а тяговое сопротивление снизилось в среднем на 5 %, что обеспечило экономический эффект за счёт сокращения эксплуатационных затрат и повышения качества обработки почвы.

Таким образом, результаты экспериментальных исследований и производственной проверки рабочих органов подтверждают достоверность разработанных теоретических положений и практическую эффективность предложенной технологии упрочнения.

В пятой главе проведена оценка экономической эффективности применения технологии упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих машин ионно-плазменными методами. Оценка технико-экономических показателей внедрения разработанной технологии комплексного упрочнения лемехов для сельскохозяйственного предприятия с парком 1000 плугов демонстрирует высокую эффективность за счёт увеличения ресурса лемехов в 2,5–6,5 раз, снижения затрат на закупку запчастей, экономии топлива (~5%) и сокращения трудозатрат на обслуживание. Годовой экономический эффект составляет 13,9 млн. рублей, при этом срок окупаемости капиталовложений составляет около 1 года. Полученные показатели экономической эффективности подтверждают целесообразность внедрения проектного варианта.

Выводы по пятой главе достоверны и отражают высокую практическую значимость проведенных исследований, что подтверждается успешным внедрением технологии на машиностроительных предприятиях для серийного производства упрочненных лемехов ПЛЖ-31-702.

В приложении представлен акт о внедрении результатов диссертационной работы.

Публикация основных результатов диссертации

Основные научные результаты, выводы и практические рекомендации диссертационного исследования получили достаточно полное отражение в изданных работах автора. Следует отметить масштабную апробацию и успешное внедрение разработанных решений в производственные процессы.

По теме диссертации опубликовано 10 научных работ общим объемом 4,63 п.л. (личный вклад автора составляет 3,71 п.л., что эквивалентно 80,00%). Среди них: 5 статей в рецензируемых изданиях, включенных в перечень ВАК РФ (общий объем 2,60 п.л., авторский вклад 2,08 п.л.); 2 статьи в международных журналах, индексируемых в базах данных Scopus, Springer и Web of Science (CA core, SCIE); получен 1 патент на изобретение.

Результаты исследования также представлены в материалах нескольких международных научно-практических конференций, включая: Third International Conference on Digital Technologies, Optics, and Materials Science (DTIEE 2024), Бухара; IV Всероссийскую научно-практическую конференцию "Digital Era", Грозный (2024).

Соответствие автореферата основным идеям и выводам диссертации

Автореферат представляет собой сжатое, но полное отражение ключевых идей, результатов и выводов, изложенных в диссертации. Структура и содержание, как диссертации, так и автореферата соответствуют установленным требованиям к оформлению научных работ. Графические материалы, таблицы, формулы и другие элементы выполнены с использованием современных компьютерных программ, что обеспечивает их высокое качество и наглядность. В тексте работы систематически используются ссылки на библиографические источники, подтверждающие научную обоснованность представленных материалов.

Содержательная часть автореферата точно отражает основные положения диссертации, включая цели исследования, методологию, полученные результаты и их практическую значимость. Терминология, интерпретация данных и выводы в автореферате полностью согласуются с диссертационной работой. Таким образом, между двумя документами отсутствуют какие-либо противоречия или расхождения в трактовке материала, что подтверждает их внутреннюю согласованность и единство.

Такой подход к составлению автореферата позволяет читателю получить четкое представление о содержании диссертации, ее научной новизне и практической ценности, сохраняя при этом логическую связь между всеми разделами исследования.

Замечания и рекомендации по диссертации

1. Повторение слов: в некоторых местах наблюдается повторение одних и тех же терминов, например, многократное использование слова "микроструктура" в разделе о микроструктурном анализе.

2. Отсутствие запятых при перечислении: при описании этапов

технологического процесса иногда отсутствуют запятые между элементами списка.

3. Мелкие стилистические погрешности: например, фраза "особенно это проявляется в крупных хозяйствах..." могла бы быть сокращена без потери смысла.

4. Избыточное использование скобок: в тексте часто используются множественные скобки для пояснений, что может создавать избыточную нагрузку на восприятие.

5. Рекомендуются провести исследование влияния дополнительных легирующих элементов (например, ниобия, бора) в наплавочном сплаве "Сормайт" на ударную вязкость и хладноломкость композитного слоя.

6. Рекомендуются изучить возможность и эффективность применения разработанной технологии для других типов рабочих органов почвообрабатывающих машин (культиваторных лап, дисковых ножей).

7. Рекомендуются выполнить расчет термических напряжений, возникающих в системе "сталь-наплавка-покрытие" при термообработке, методом конечных элементов для более точного прогнозирования оптимальных режимов отжига.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным «Положением о порядке присуждения ученых степеней»

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным «Положением о порядке присуждения ученых степеней»

Ознакомившись с представленной диссертацией, авторефератом и публикациями соискателя Бадекина Максима Юрьевича, считаю:

1. Тема диссертационного исследования и ее содержание полностью соответствуют специальности 4.3.1 - Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса, что подтверждается анализом области исследований в соответствии с паспортом специальности.

2. Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную самостоятельно автором на актуальную тему повышения долговечности рабочих органов почвообрабатывающих машин с использованием ионно-плазменных методов упрочнения.

3. Совокупность полученных результатов решает важную научную проблему повышения ресурса рабочих органов почвообрабатывающих машин путем разработки и внедрения эффективной технологии многоступенчатого упрочнения, включающей наплавку сплава Сормайт, вакуумный отжиг и нанесение покрытия TiN.

4. Работа отвечает всем критериям, предъявляемым к кандидатским диссертациям согласно Положения «О присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842:

содержит новые научные результаты;

обладает теоретической и практической значимостью;

включает положения, выносимые на защиту;

подтверждает личный вклад автора в развитие научной проблемы;

имеет апробацию и внедрение результатов.

5. Автор диссертации Бадекин Максим Юрьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 4.3.1 Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса на основании выполненного объема исследований, качества полученных результатов и их практической значимости для развития отрасли.

Данное заключение основано на полном соответствии представляемой работы требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а также на высоком уровне проведенных исследований и их новизне.

Апажев Аслан Каральбиевич
доктор технических наук (05.20.01 –
Технологии и средства механизации
сельского хозяйства, 2019 г.), доцент,
проректор по молодёжной политике и
социальной работе



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В.М. Кокова» (ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ) 360030, г. Нальчик, пр. Ленина, д. 1в, тел.: 8(8662)40-73-07, факс: 8(8662)40-55-06, e-mail: kbr.apagev@yandex.ru

05.11.2025 г.

Подпись Апажева А.К.
заверено
Начальник ОАД



Ташерова А.Х.
05.11.2025г.