

ОТЗЫВ

**официального оппонента д.т.н., доцента,
профессора кафедры материаловедения и технологии материалов
ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет»
Крыловой Светланы Евгеньевны
на диссертационную работу Якимова Николая Сергеевича
на тему: «Улучшение структуры и свойств высокопрочных сталей и титановых сплавов для поглощающих аппаратов и демпферов транспортной техники при термической и поверхностной обработках», представленную
на соискание ученой степени кандидата технических наук
по научной специальности 2.6.17 – Материаловедение**

Актуальность темы диссертационного исследования

Реалии социально-экономического и внешнеполитического состояния Российской Федерации свидетельствуют о повышении мобильности населения, увеличении товародвижения, актуализации национальной безопасности и обороноспособности страны, что непосредственно находит отражение в сферах развития железнодорожного транспорта и авиационной промышленности. Утвержденная правительством РФ стратегия развития данной сферы, направлена на формирование мощного научно-технического потенциала авиационной и машиностроительной промышленности, за счет совершенствования методов обработки применяемых и внедрения новых материалов и перспективных технологических процессов. Прогнозируется, что своевременная реализация данных процессов позволит повысить эффективность и качество перевозок и полетов, увеличить выпуск высокоскоростной техники, повысить осевые нагрузки при движении железнодорожного транспорта, сократить сроки ремонтных и сервисных работ стратегически важной гражданской и оборонной транспортной техники.

Для достижения желаемого эффекта, особого внимания заслуживают ответственные узлы и изделия амортизационных, поглощающих и демпфирующих устройств, широко применяемых в железнодорожных и авиационных транспортных средствах, определяющих целостность конструкции транспортного средства, автотормозного оборудования, ходовой части и груза, который в нем перевозится, безопасности перевозок в целом.

Несмотря на то, что современная отечественная и зарубежная транспортная и авиационная промышленность располагает достаточно широким спектром высокопрочных сталей и титановых сплавов, потенциально удовлетворяющих условиям эксплуатации, статистика фиксирует частые случаи их преждевременного разрушения в ходе приемо-сдаточных испытаний и эксплуатации. Решение проблемы повышения надежности функционирования поглощающих аппаратов (ПА) и демпферов (Д) является актуальным вопросом для отечественной и зарубежной транспортной техники, и может быть реализовано путем совершенствования способов обработки, используемых для их изготовления сталей и сплавов, а также за счет применения перспективных методов воздействия на материалы с целью улучшения их эксплуатационного состояния.

В диссертационной работе Якимова Николая Сергеевича «Улучшение структуры и свойств высокопрочных сталей и титановых сплавов для поглощающих аппаратов и демпферов транспортной техники при термической и поверхностной обработках» проведено сквозное исследование, направленное на разработку способов и режимов термической и поверхностной обработок материалов, применяемых для ответственных узлов транспортной техники, позволяющих улучшить их структуру и свойства.

Структура и содержание диссертационной работы, ее завершенности и качества оформления. Соответствие публикаций и автореферата основным положениям диссертации

Рукопись диссертации состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы, изложена на 176 страницах текста, содержит одно приложение, 70 рисунков и 37 таблиц.

Диссертация оформлена по общепринятой структуре.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, показана степень её разработанности, сформулированы научная проблема и цель исследования, перечислены задачи исследования, сформулирована научная новизна работы, описана практическая значимость работы, определены положения, выносимые на защиту, обоснована степень достоверности, приведены сведения об апробации результатов исследования.

В первой главе соискателем проведен анализ литературных источников (рассмотрено 206 научных работ) по тематике диссертации, включая книги и статьи, причем большинство рассмотренных работ были опубликованы в течение последних 10 лет. Проанализированы условия эксплуатации ПА и Д, используемых в транспортной технике, выявлены требования по характеристикам свойств применяемых сталей и титановых сплавов. Установлены особенности химического состава и формирования структуры высокопрочных сталей и сплавов транспортного назначения, проанализированы современные методы их термического и поверхностного упрочнения.

Во второй главе представлены материалы и методы исследования, используемые автором в диссертационной работе. Соискатель применяет многочисленные разнообразные методы исследования структуры и свойств высокопрочных легированных сталей, титановых сплавов и генерируемых на них покрытий, используя современное оборудование, включающее световые и растровые микроскопы, определение фазового состава, оборудование для физико-механических испытаний. Диссертационная работа выполнена на достаточном научном уровне с использованием современных экспериментальных методов исследования (в частности, с применением рентгеноструктурного анализа, высокоразрешающей растровой электронной микроскопии и др.).

В третьей главе исследованы случаи преждевременного разрушения железнодорожных поглощающих эластомерных аппаратов и авиационных гидравлических демпферов в ходе приемо-сдаточных испытаний, а также при их эксплуатации. Выявлены причины преждевременного разрушения корпусов поглощаю-

щих аппаратов из стали 30ХГСН2А, в ходе приемо-сдаточных испытаний в результате недостаточного уровня механических свойств и неконтролируемой в производстве степени чистоты стали 30ХГСН2А по азоту и содержанию легкоплавких примесей (олово, сурьма, свинец, мышьяк), что значительно снижает служебные свойства легированных сталей, характеристики их вязкости и пластичности. Проведены микроструктурные исследования, подтверждающие причины разрушения корпусов при приемо-сдаточных испытаниях. Установлены причины разрушения корпусов ПА при эксплуатации, установлено, что причиной возникновения трещин и задиров в корпусе является разрушение хромового покрытия, показана необходимость коррекции технологии нанесения хрома.

В четвертой главе диссертации описаны результаты поиска режимов термической обработки, уменьшающих негативное влияние примесей на процесс обезуглероживания, прокаливаемость, уровень поверхностной твердости и другие свойства стали 30ХГСН2А. Предложен скорректированный режим окончательной термической обработки корпусов, предусматривающий назначение сокращенного времени выдержки при температуре закалки (900 °С) - 180 минут и отпуск при температуре 210 °С в течении 180 минут. Данный режим обработки позволяет обеспечить требуемый уровень механических свойств стали при появлении случаев неконтролируемой недостаточной зональной степени чистоты стали по азоту и легкоплавким примесям. Обоснован положительный эффект от реализации нагрева стали под закалку в вакууме. Проведена отработка возможных вариантов корректирующей термической обработки корпусов ПА из стали 30ХГСН2А для устранения их несоответствий по уровню механических свойств. Показано, что отработанный режим повторной термической обработки, включающий нормализацию, закалку и отпуск при 210 °С, позволяет достигнуть требуемый уровень твердости у 80% изделий, имеющих неудовлетворительный уровень твердости после первой термической обработки, а увеличение времени выдержки в масле до значений не менее 90 минут, позволяет обеспечить количество годных изделий в партии до 95%. Даны рекомендации по улучшению режимов термической обработки сталей 14Х17Н2 и ВКЛ-3 (12Х2НВМЛ), используемых в транспортостроении, в том числе для комплектации поглощающих аппаратов.

В пятой главе представлено исследование, направленное на разработку режимов поверхностного упрочнения штоков железнодорожных ПА. Проработаны возможности снижения дефектности хромовых покрытий коррекцией режимов обезводороживания. Исследованы различные методы и процессы нанесения никель-хромовых и вольфрамсодержащих покрытий, затронуты вопросы фракционного состава, гранулометрии напыляемых порошковых композиций, вопросы подготовки поверхности и оптимизации параметров напыления, что позволило обоснованно рекомендовать режимы метода APS и метода HVOF, удовлетворяющие требованиям к вольфрамовым покрытиям штоков на сталь 30ХГСН2А (твердость не менее 8500 МПа, прочность сцепления $\tau_{сдв}$ не менее 40 МПа, пористость не более 10%). На основании данных микрорентгеноспектрального анализа сделан вывод о распределении химических элементов и упрочняющих фаз по глубине покрытия.

В **шестой главе** описаны результаты разработки режимов термического и поверхностного упрочнения титановых сплавов, применяемых для изготовления штоков и поршней демпферов авиационного назначения. Так, для достижения требуемого уровня прочности титановых сплавов, автором рекомендован режим повторной термической обработки для исправления пониженного уровня прочности штоков и поршней после отжига. Показано, что при реализации предложенного автором режима, повторная выдержка при 750 °С позволяет получить более стабильную и устойчивую к распаду при охлаждении структуру, а пониженная температура второй ступени приводит к распаду метастабильной β -фазы с образованием дисперсных частиц, что приводит к повышенной прочности сплава в пределах 1200-1210 МПа.

Отработаны варианты формирования на титане поверхностных слоев и покрытий с особыми характеристиками методами напыления композиций на основе вольфрама и (или) хрома, как альтернатива хромирования поверхности, а также нанесением антифрикционного бронзового покрытия методом плазменного напыления. Автором показано, что реализация режимов предложенных обработок поверхности титановых сплавов позволяет формировать требуемый и улучшенный уровень характеристик материала. Структурные исследования полученных покрытий объясняют механизмы формирования фаз и интерметаллидный характер упрочнения.

В **заключении** сформулированы основные выводы по результатам диссертационной работы.

В **приложении** приведен акт внедрения результатов диссертационной работы на базе предприятия АО «Авиаагрегат» при изготовлении поглощающих аппаратов и демпферов из стали 30ХГСН2А и титанового сплава ВТ22.

Таким образом, содержание диссертации охватывает основные вопросы поставленной научной проблемы и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается следующими обстоятельствами:

- обоснованностью актуальности темы исследования, структуры диссертации, концепции и программы исследования;
- взаимоувязанной методологической платформой и концептуальными решениями;
- взаимосвязью основной идейной линии, частных и общих выводов.

В целом работа обладает научной новизной и практической значимостью, выполнена на высоком методическом и теоретико-экспериментальном уровне.

В автореферате изложены основные идеи и выводы диссертации, показан вклад автора в проведённое исследование, степень новизны и практическая значимость результатов исследований.

Научная новизна и практическая значимость результатов диссертационных исследований

Научную новизну диссертационной работы Якимова Николая Сергеевича можно сформулировать следующим образом:

1. Установлены механизмы преждевременного разрушения высокопроч-

ных сталей и титановых сплавов, в том числе с гальваническим хромовым покрытием, в условиях комплексного воздействия значительных статических и ударных воздействий, циклических нагрузок и износа, характерного для ПА и Д транспортной техники.

2. Выявлены особенности формирования структуры и свойств высокопрочных сталей (30ХГСН2А, 14Х17Н2, ВКЛ-3) и титанового сплава ВТ22 в процессе варьирования видов и режимов термической обработки.

3. Определены закономерности влияния исходного состояния порошковых смесей и параметров газотермического напыления на характеристики качества износостойких и антифрикционных покрытий, наносимых на высокопрочные стали и титановые сплавы.

4. Установлены особенности формирования фазового состава по глубине поверхностного слоя, получаемого при лазерном поверхностном легировании титана медью.

Наибольшую значимость для практики имеют следующие результаты диссертационной работы:

1. Разработанные режимы термической обработки высокопрочных сталей для корпусов ПА железнодорожного назначения, обеспечивающие повышение их надежности, за счет исключения случаев их преждевременного разрушения.

2. Разработанные режимы повторной термической обработки высокопрочных сталей для корпусов ПА и титановых сплавов для штоков Д авиационного назначения, позволяющие достигать требуемого уровня свойств, в случае его неудовлетворительного уровня после первой термической обработки.

3. Предложенные режимы нанесения газотермических покрытий (в вариантах APS и HVOF) на высокопрочные стали и титановые сплавы, позволяющие получать износостойкие и антифрикционные покрытия с характеристиками, отвечающими требованиям нормативных документов для ПА и Д.

Достоверность научных положений и рекомендаций

Полученные результаты диссертационной работы не противоречат имеющимся данным других исследователей и современным теоретическим представлениям металловедения и термической обработки. Степень достоверности основных результатов подтверждается применением современных методов исследования и корректной постановкой цели и задач исследования, основанных на использовании действующих требований к структуре, эксплуатационным свойствам и технологии производства высокопрочных сталей и титановых сплавов.

По теме диссертации **опубликовано** 12 научных публикаций, в т.ч. 5 в рецензируемых изданиях из перечня ВАК РФ, 2 статьи проиндексированы в наукометрических базах цитирования Scopus и WoS, что свидетельствует о новизне результатов исследования и об ознакомлении работы с широким кругом научной и инженерно-технической общественности.

Результаты апробации диссертационной работы подтверждаются представлением и обсуждением на школах семинарах и конференциях различного уровня,

в том числе: X Юбилейная международная научная конференция «Наука и образование в современной России» Москва, 2018г.), научно-технические семинары кафедры «Металловедение, порошковая металлургия, наноматериалы» СамГТУ (Самара, 2018, 2019, 2020, 2021 г.г.), X Международная научно-практическая конференция «Перспективное развитие науки, техники и технологий» (Курск, 2020), 19 Международная научно-техническая конференция «Пром-Инжиниринг» (Сочи, 2020 г.), 20 Международная научно-техническая конференция «Пром-Инжиниринг» (Сочи, 2021 г.)

Оценка содержания и оформления диссертации

Диссертация изложена грамотным научным языком, обладает единством и логикой построения, полностью раскрывает сущность выполненного исследования, содержит теоретические обоснования полученных автором результатов и описание их практической реализации, оформлена в соответствии с установленными требованиями. Полученные результаты и выводы соответствуют поставленным в диссертации цели и задачам. Тема и содержание диссертации соответствуют научной специальности 2.6.17 – Материаловедение.

В диссертации отсутствуют заимствованные материалы без ссылок на авторов и источники заимствования.

Замечания

По структуре и оформлению работы:

1. Диссертация изложена на 176 листах и более чем на треть (60 листов) без учета списка использованных источников, состоит из аналитического обзора. Кроме того, что объем аналитического обзора завышен, вызывает сомнение необходимость деления остального текста диссертации (по факту 87 страниц) на пять глав с 2-3 разделами каждой, причем в содержании диссертации никаких разделов не прослеживается, данная иерархия структуры представлена только в автореферате работы. Данный факт, позволяет сделать вывод о некоторой оформительской разбалансированности изложения и несовпадении структуры самой работы и автореферата диссертации, что затрудняет ее объективную оценку по формальному признаку.

2. В работе представлено пять задач, при решении которых сформулировано 9 выводов, причем выводы с 3 по 8 включительно относятся к решению четвертой задачи исследования, в смысловом выражении полностью повторяющей цель работы в целом. На мой взгляд, автору работы следовало бы более продуманно и корректнее формулировать частные задачи и выводы по работе.

По сути проведенных исследований:

3. Работа поражает многообразием выбранных к рассмотрению вопросов и аспектов исследования: это и вопросы ликвации химических элементов, многообразие выбранных для исследования материалов, оптимизация химического состава материалов и покрытий, вопросы гальваники, термической обработки, различные методы и режимы нанесения разнообразных покрытий. Несмотря на такой

комплексный подход к повышению качества узлов транспортной авиационной и железнодорожной техники, считаю, что многие моменты заслуживают более детального изучения для рекомендации оптимальных режимов термической обработки и способов нанесения покрытий. Так, например, отсутствуют статистические данные и анализ оптимумов температурных и временных параметров режимов термической обработки, не прослеживается сравнительный анализ при замене одного покрытия другим, или при замене соотношения фракционного и геометрического состава исходных порошковых композиций.

Поверхностный анализ отдельных вопросов, несомненно, предопределяет почву для дальнейших исследований в данной области.

4. В диссертации, на стр. 120 указано, что в работе выполнен рентгеновский фазовый анализ покрытия системы WC-Co-Cr. Далее приведена текстовая интерпретация не представленных рентгенограмм и данных их расшифровки, позволяющих убедиться в правильности заявленных выводов, относительно фазового состава карбидных фаз.

5. Автором, на стр. 121-125 работы приводятся данные микрорентгеноспектрального анализа по толщине покрытия, выполненные на электронном растровом микроскопе JEOL с приставкой JED-2300. На основании полученных данных сделано заключение о содержании и распределении типа карбидных фаз по толщине покрытия. Однако, с учетом того, что данный анализ фиксирует только локальное содержание химических элементов в выбранном спектре, судить по результатам таких исследований о фазовом составе карбидов не представляется возможным. В данном случае, более эффективным был бы метод послойного травливания с применением рентгеновского фазового анализа слоев, что позволило бы точно определить формулу карбидных фаз по параметрам кристаллической решетки.

6. В работе, для улучшения структуры и свойств материалов транспортной техники рекомендован ряд повторных режимов термической обработки. К сожалению, на предприятиях, повторные режимы термической обработки, не могут считаться эффективной мерой повышения механических свойств в принципе. Повторная ТО, считается единичным вынужденным случаем и достаточно затратной мерой по смете расходов на единицу продукции. Кроме того, реальные технологические процессы на предприятиях многостадийные, где каждая стадия ограничена определенными интервалами по времени, что привязано к срокам сдачи продукции в целом. Из этих соображений, для улучшения структуры и сыпучих характеристик, предпочтительнее всесторонне изучить основной режим термической обработки и провести его оптимизацию, с точки зрения требуемого уровня свойств.

7. По результату проведенных исследований остается открытым вопрос эффективности замены одного метода получения покрытия другим, начиная от химического состава покрытия, заканчивая самым способом его нанесения, так как это влечет за собой реорганизацию производства, переобучение узконаправленных специалистов, обслуживание различного оборудования. К сожалению, расчет или сравнительная оценка экономической эффективности рекомендуемых изменений в технологиях поверхностного упрочнения, равно, как и в технологиях

термической обработки, не приведены ни для одного рекомендуемого способа.

Заключение

Указанные замечания не снижают ценности и значимости выполненных исследований, носят частный характер и не влияют на общую положительную оценку работы, отражающую ее актуальность, научную новизну и практическое использование результатов при производстве и упрочнении ответственных узлов транспортной техники из высокопрочных легированных сталей и титановых сплавов.

Диссертация Якимова Николая Сергеевича «Улучшение структуры и свойств высокопрочных сталей и титановых сплавов для поглощающих аппаратов и демпферов транспортной техники при термической и поверхностной обработках» является завершенной научно-квалификационной работой. Основываясь на проведенных исследованиях, автор решает актуальные научные задачи, связанные с улучшением структуры и свойств высокопрочных сталей и титановых сплавов для транспортной техники за счет модернизации способов и режимов термической и поверхностной обработок.

Диссертационная работа 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 кандидата технических наук. Автор диссертационной работы – Якимов Николай Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 – Материаловедение.

Официальный оппонент

Доктор технических наук, доцент,
профессор кафедры материаловедения
и технологии материалов
ФГБОУ ВО «Оренбургский
государственный университет»

Крылова Светлана Евгеньевна
« 18 » 11 2021 г.

Шифр научной специальности: 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов

460018, г. Оренбург,
просп. Победы, д. 13
Тел: +7 9068368537
E-mail: krilova27@yandex.ru

Подпись и данные места работы С.Е. Крыловой заверяю:

Подпись
заверяю
Ведущий специалист по
документационному обеспечению
работы с персоналом

