

АННОТАЦИЯ

диссертации на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности 6D072300 – «Техническая физика»

ТАБИЕВОЙ ЕРКЕЖАН ЕРКІНБЕКҚЫЗЫ

по теме: **«Изменение структуры и свойств поверхности колесной стали при электролитно-плазменной поверхностной закалке»**

Диссертационная работа посвящена изучению влияния электролитно-плазменной поверхностной закалки на формирование тонкой структуры, структурно-фазовые состояния, трибологические и механические свойства стали марки 2, которая широко используется для изготовления колесных пар железнодорожного транспорта.

Актуальность. Развитие современной машиностроительной отрасли связано с разработкой новых материалов, внедрением инновационных технологий и оборудования, в том числе с созданием новых способов повышения эксплуатационных свойств деталей машин и механизмов. Основные эксплуатационные свойства деталей машин – износостойкость, прочность, коррозионная устойчивость в значительной мере определяются состоянием их поверхностного слоя, определяемого технологией изготовления так как, вследствие поверхностного разрушения при изнашивании выходит из строя 60-80 % изделий машиностроения. Для многих деталей железнодорожного транспорта, строительных, дорожных и сельскохозяйственных машин, металлургического, прессового оборудования долговечность и надежность работы лимитируется главным фактором – износом и контактно усталостными дефектами рабочих поверхностей. Изнашивание сопровождается изменением формы, размеров и состояния поверхностей деталей, что приводит к снижению функциональных свойств и производительности технологического промышленного оборудования, возрастанию вероятности отказа. Материалом большинства изделий машиностроения продолжают оставаться стали и чугуны. Поэтому повышение износостойкости сплавов железа является одной из самых важных и актуальных задач технической физики.

Существует достаточно большое количество различных технологических методов повышения качества поверхностей деталей. Наиболее распространенными из них являются, гальванические и химические методы нанесения покрытий, наплавка, напыление, химико-термическая обработка, поверхностная закалка токами высокой частоты, поверхностная закалка концентрированными потоками энергии (плазменная, электронно-лучевая и лазерная) и т.д. Среди них, самым перспективным методом поверхностного упрочнения сплавов железа является поверхностная закалка концентрированными потоками энергии. Однако широкое внедрение некоторых способов поверхностной закалки концентрированным потоком энергии, а именно, лазерной и электронно-лучевой, сдерживается высокой стоимостью и сложностью оборудования, недостаточными его надежностью и производительностью, необходимостью использования вакуума, специальных

помещений с особыми требованиями, потребностью в квалифицированном обслуживании, высокими эксплуатационными расходами. Поэтому, для широкого внедрения по своим технико-экономическим показателям и результатам сравнительного анализа рекомендован способ плазменной поверхностной закалки, который лишен указанных выше недостатков. Плазменная поверхностная закалка успешно развивается в последние годы и находит все большее применение в различных отраслях промышленности, в частности широко применяется для термической обработки деталей железнодорожного транспорта (пятника грузового вагона, надрессорная балка и боковая рама тележки, бандаж и т.д.).

Являющаяся одним из разновидностей плазменной закалки – электролитно-плазменная поверхностная закалка последнее время развивается и интенсивно изучается. Данный метод характеризуется меньшей энергоемкостью, простотой технологического оборудования и большими размерами упроченной зоны. Достоинствами метода являются достаточно большая производительность процесса и возможность упрочнять детали большой массы и сложного профиля, а степень упрочнения сравнима с плазменной закалкой.

Общеизвестно что ресурс деталей выполненных из стали определяется показателями их служебных характеристик (начиная от химического состава материала до условия в которых должна осуществляться эксплуатация той или иной детали), наибольшая часть которых напрямую зависит от структурно-фазового состояния материала. Работ, посвященных изучению структурно-фазовых превращений в колесной стали при плазменной поверхностной закалке очень мало и они не охватывают в полной мере вопросы структурообразования. При этом, в литературе отсутствуют данные об обработке колесной стали электролитно-плазменной закалкой, что требует проведения комплексных экспериментальных работ для определения дальнейшего применения данного метода для упрочнения бандажей колесных пар. Вместе с этим, несмотря на имеющееся количество работ по электролитно-плазменной обработке сплавов железа, недостаточно изучены количественные характеристики тонкой структуры сталей после электролитно-плазменной поверхностной закалки.

В связи с вышеизложенным, тема диссертационной работы, посвященная разработке способа упрочнения колесной стали и изучению закономерностей формирования тонкой структуры, фазового состава и физических основ трибологических свойств упроченного поверхностного слоя при электролитно-плазменной поверхностной закалке стали марки 2, является актуальной.

Целью диссертационной работы является разработка способа электролитно-плазменной поверхностной закалки, выбор оптимального режима упрочнения обеспечивающего повышение механических и трибологических свойств и дальнейшее исследование микроструктуры, фазового состава и тонкой структуры упроченной стали марки 2.

В соответствии с поставленной целью были сформулированы основные задачи исследования:

1. Разработать способ и оптимальный режим электролитно-плазменной поверхностной закалки материала железнодорожного бандажа из колесной стали марки 2;

2. Исследовать изменение механических и трибологических свойств поверхностных слоев стали марки 2 до и после электролитно-плазменной поверхностной закалки;

3. Изучить особенности формирования структурно-фазового состава стали марки 2 при электролитно-плазменной поверхностной закалке;

4. Количественно определить параметры тонкой структуры исходной и закаленной в электролитной плазме стали марки 2.

Предмет исследования – фазовый состав, тонкая структура, механические и трибологические свойства модифицированных слоев стали марки 2 после электролитно-плазменной поверхностной закалки.

Объект исследования – сталь марки 2 до и после воздействия электролитной плазмой, электролитно-плазменная технология обработки.

Методы исследования. Согласно поставленным задачам использовали такие методы анализа: растровая электронная микроскопия (SEM), просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ), рентгено-структурный анализ (XRD), измерения микротвердости, испытания на износостойкость и коррозионную стойкость.

Научная новизна.

– Разработан способ обработки колесной стали электролитно-плазменной поверхностной закалкой в водном растворе электролита.

– Получены новые экспериментальные данные о влиянии электролитно-плазменной поверхностной закалки на структурно-фазовые состояния стали марки 2.

– Впервые изучены особенности формирования тонкой структуры приповерхностного и переходного слоев стали марки 2 после электролитно-плазменной поверхностной закалки и были рассчитаны количественные характеристики структурно-морфологических составляющих.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Электролитно-плазменный катодный нагрев в электролите из водного раствора, содержащего 10 % карбамида $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ и 20 % карбоната натрия Na_2CO_3 , при напряжении 300 В и плотности тока 10-12 А/см² приводят к получению модифицированного поверхностного слоя колесной стали с повышением износостойкости в 2,5 – 3,8 раза и увеличением твердости до 3,5 ГПа.

2. В стали марки 2 после электролитно-плазменной поверхностной закалки образуется пакетный, пластинчатый низкотемпературный и пластинчатый высокотемпературный мартенсит с объемными долями ~ 60%, ~ 10% и ~ 30%, соответственно, а так же образуются частицы карбидов специального типа M_{23}C_6 , расположенные на границах мартенситных кристаллов, со средним размером ~5 нм.

3. Электролитно-плазменная поверхностная закалка стали марки 2 приводит к изменению количественных характеристик и параметров тонкой структуры поверхностного слоя: плотность дислокации увеличивается от $2,1 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$ до $2,24 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$, выполняются условия $\rho > \rho_{\pm}$ и $\sigma_{\text{л}} > \sigma_{\text{д}}$, которые препятствуют образованию микротрещин в материале.

Научная и практическая значимость работы.

Показана возможность применения результатов исследования для поверхностной обработки материала банджа колесных пар и других деталей железнодорожного транспорта с целью повышения их эксплуатационных свойств, что подтверждается патентом №5365 РК МПК C21D 1/09 (2020/0348.2).

Результаты исследования тонкой структуры и свойств стали марки 2, параметры субструктуры, выявленные в настоящей работе, которые оказывают существенное влияние на поверхностное упрочнение стали, могут быть использованы как учебный материал в курсе лекции по физике конденсированного состояния, материаловедения и поверхностного упрочнения материалов для развития теории структурно-фазовых превращений в сталях (акт внедрения в учебный процесс от 25.01.2022 для подготовки бакалавров и магистрантов по ОП «Техническая физика» НАО «ВКТУ им.Д.Серикбаева»).

Связь работы с научно-исследовательскими проектами.

Диссертационная работа выполнена в НАО «ВКТУ им. Д.Серикбаева», НАО «ВКУ им. С. Аманжолова» и в Томском государственном архитектурно-строительном университете в рамках реализации госбюджетного проекта грантового финансирования по теме «Исследования и разработка инновационных технологий получения износостойких материалов для изделий машиностроения», гос.рег. №0118РК00989, финансируемый Комитетом науки МОН РК по Договору №197 от 16.03.2018 г.

Личный вклад автора заключается в проведении большинства экспериментальных и теоретических исследований, обработке результатов измерений, их анализе на основе существующих представлений физики конденсированного состояния и физического материаловедения.

Достоверность и обоснованность. Исследования проводились путем зарекомендованных неоднократно методов исследования с применением современного оборудования и инновационных подходов. Обсуждение полученных результатов на каждом этапе исследования докладывались на научных семинарах кафедры, также результаты представлялись на международных и региональных конференциях, симпозиумах с участием ведущих специалистов данной области. Полученные результаты проходили проверку на достоверность путем рецензирования при издании в периодических международных научных журналах и докладах международных конференций, входящих в базы Thomson Reuters и Scopus. Также результаты исследования прошли положительную проверку в патентном бюро Республики Казахстан, на основании чего автором был получен патент на полезную модель.

Апробация диссертационной работы. Результаты, полученные в диссертационной работе, докладывались и обсуждались на 5 научно-технических конференциях и семинарах, в том числе:

1. Международная научно-практическая конференция «XXXVIIIth Autumn Tribology School» (2019, Вроцлав);

2. 11-я Международная научная конференция «Хаос и структуры в нелинейных системах. Теория и эксперимент» (2019, Караганда);

3. VI Международная научно-практическая конференция «Наука и образование в современном мире: вызовы XXI века» (2020, Нур-Султан);

4. XVII Международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспективы развития фундаментальных наук» (2020, Томск);

5. XVI Международная школа-семинар «Эволюция дефектных структур в конденсированных средах» (2020, Барнаул).

Кроме того, основные результаты докладывались и обсуждались на научных семинарах докторантов ВКТУ им. Д. Серикбаева.

Публикации: По материалам диссертационной работы опубликовано 12 печатных работ в том числе 2 статьи в рецензируемых зарубежных научных журналах с импакт-фактором входящих в базу данных Scopus и Web of Science, 4 в изданиях, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества в сфере образования и науки МОН РК и 5 работ в материалах Международных и Республиканских научных конференций и 1 патент на полезную модель Республики Казахстан.

Объем и структура диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, 4 разделов, заключения и списка использованных источников из 144 наименований, содержит 119 страниц основного компьютерного текста, включая 61 рисунок и 12 таблиц.