

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 31.1.007.01, СОЗДАННОГО
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИТАРНОГО
ПРЕДПРИЯТИЯ «ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ ИМ. И.П. БАРДИНА»,
МИНИСТЕРСТВО ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ТОРГОВЛИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 30 сентября 2025 года № 6/25

О присуждении Письменному Евгению Александровичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Повышение ресурса работы фрикционных клиньев грузовых железнодорожных вагонов на основе совершенствования технологии термической обработки» по специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов принята к защите 29 июля 2025 года (протокол заседания № 5/25) диссертационным советом 31.1.007.01, созданным на базе федерального государственного унитарного предприятия «Центральный научно-исследовательский институт черной металлургии им. И.П. Бардина», Министерство промышленности и торговли Российской Федерации, 105005, г. Москва, ул. Радио, д. 23/9, стр. 2, приказ о создании диссертационного совета № 673/нк от 18 ноября 2020 года.

Соискатель Письменный Евгений Александрович, «21» апреля 1970 года рождения.

В 1995 году соискатель окончил Днепропетровский государственный технический университет железнодорожного транспорта с присвоением квалификации специалиста инженер-механик по специальности «Вагоны», диплом КД № 900877. В 2025 году окончил аспирантуру в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», где освоил

программу подготовки научно-педагогических кадров по направлению подготовки 22.06.01 Технологии материалов с присвоением квалификации «Исследователь. Преподаватель-исследователь», диплом № 102231 0682948. Справка № 12 о сдаче кандидатских экзаменов по иностранному языку (английский), истории и философии науки и по специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов выдана федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» в 2024 году.

Работает заместителем генерального директора по испытательной деятельности и сертификации в акционерном обществе «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта».

Диссертация выполнена на кафедре «Технология машиностроения», федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор, Марков Андрей Михайлович, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова», кафедра «Технология машиностроения», профессор кафедры.

Официальные оппоненты:

Федин Владимир Михайлович – доктор технических наук, профессор, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет транспорта», кафедра «Технология транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава», профессор кафедры;

Ишков Алексей Владимирович – доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Алтайский государственный аграрный университет», кафедра «Технология конструкционных материалов и ремонта машин», заведующий кафедрой дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Брянский государственный технический университет», г. Брянск в своем положительном отзыве, подписанном Бондаренко Денисом Андреевичем, кандидатом технических наук, доцентом, заведующим кафедрой «Производство и сервис в транспортном машиностроении», утвержденном Сканцевым Виталием Михайловичем, кандидатом технических наук, доцентом, первым проректором, указала, что диссертация является актуальной научно-квалификационной работой и имеет важное народно-хозяйственное значение; посвящена разработке новой стали и технологии ее термической обработки для производства фрикционных клиньев с повышенными эксплуатационными характеристиками; на основании проведенных исследований и натурных испытаний, в которых автор был полностью вовлечен, установлены закономерности структурно-фазовых превращений в новой, специально разработанной для изготовления фрикционного клина облегченной конструкции, стали 50СЛ, построена диаграмма изотермического распада аустенита и термокинетическая диаграмма; это позволило автору разработать технологию термической обработки фрикционного клина из стали 50СЛ и внедрить результаты работы в производство; в соответствии с п. 10 «Положения о присуждении ученых степеней» диссертация, написана самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, и свидетельствует о личном вкладе автора диссертации в науку; результаты работы соответствуют требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения учёных степеней», а её автор заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Соискатель имеет 44 опубликованных работы, в том числе по теме диссертации опубликовано 19 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 6 работ. Публикации посвящены изучению особенностей макро- и микроструктуры стали 50СЛ, выявлению закономерностей влияния структурного состояния на твердость, износостойкость и ударную вязкость стали 50СЛ, определению влияния температурно-временных параметров термической

обработки на формирование структурно-фазового состояния и уровень свойств стали 50СЛ. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах. Общий объем опубликованных статей, в которых отражены основные положения диссертации, составляет 12,91 п.л., а авторский вклад – 5,39 п.л.

Наиболее значимые работы:

1. **Письменный Е.А.** Оптимизация материала узла гашения колебаний тележки грузового вагона **Е.А. Письменный**, А.М. Марков // Ползуновский вестник. – 2021. – № 2. – С. 225-232. (1 п.л./0,5 п.л.).

2. **Письменный Е.А.** Особенности термической обработки литой стали 38ХСЛ для деталей фрикционного узла поглощающего аппарата / **Е.А. Письменный**, А.М. Марков, Д.А. Габец, А.В. Габец // Ползуновский вестник. – 2020. – № 1. – С. 145-149. (0,63 п.л./0,2 п.л.).

3. **Письменный Е.А.** Исследование влияния химического состава и структуры на ударную вязкость среднеуглеродистых низколегированных сталей, предназначенных для деталей, работающих в условиях ударно-фрикционного износа / **Е.А. Письменный**, А.М. Марков, Д.А. Габец, А.В. Габец // Ползуновский вестник. Письменный Е.А. 2020. – № 2. – С. 152-159. (1 п.л./0,25 п.л.).

4. **Письменный Е.А.** Исследование влияния химического состава кремнистой стали на её механические свойства / **Е.А. Письменный**, А.М. Марков, Д.А. Габец // Ползуновский вестник. – 2020. – № 3. – С. 83-87. (0,63 п.л./0,2 п.л.).

5. Габец Д.А. Влияние комплексного модифицирования на структуру и свойства серого чугуна триботехнического назначения / Д.А. Габец, А.М. Марков, М.А. Гурьев, **Е.А. Письменный**, А.К. Насырова // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2022. – Т. 24. – № 4. –С. 165-180. (2 п.л./0,8 п.л.).

6. **Письменный Е.А.** Разработка и расчет на прочность новой конструкции фрикционного клина узла гашения колебания тележки грузового вагона / **Е.А. Письменный**, А.В. Габец, А.М. Марков, Д.А. Габец // Инженерный вестник Дона. – 2020. – № 5 (65). – С. 22. (0,13 п.л./0,07 п.л.).

7. Optimization of heat treatment process for cast steel 50SL // **Pismennyi E.A.**, Markov A.M., Augstkaln A.I., Deev V.B. CIS Iron and Steel Review. Vol. 27. (2024). P. 9–14. DOI:10.17580/cisir.2024.02.08 (0,75 п.л./0,25 п.л.).

8. **Письменный Е.А.** Инженерное проектировании фрикционного клина узла гашения колебаний тележки грузового вагона / **Е.А. Письменный**, А.М. Марков, Д.А. Габец, И.В. Левкин // сб. материалов IV Международной научно-практической конференции с онлайн-участием. Кемерово. – 2020. – С. 416-418. (0,38 п.л./0,1 п.л.).

9. **Письменный Е.А.** Исследование режимов термической обработки литых деталей поглощающего аппарата АПФК-110 / **Е.А. Письменный**, А.М. Марков, Д.А. Габец, А.В. Габец // Сб. трудов X Международной научно-практической конференция. Под редакцией В.Ю. Блюменштейна. – 2019. – С. 470-479. (1,25 п.л./0,4 п.л.).

На диссертацию и автореферат поступили отзывы: 11 положительных, из них 10 содержат замечания и пожелания, 1 отзыв – без замечаний. Во всех отзывах отмечено, что диссертационная работа посвящена актуальной теме: решению проблемы повышения ресурса работы фрикционного клина тележки грузового вагона, изготовленного из стали 50СЛ. Отмечается, что автору работы удалось не только разработать новый, оригинальный способ термической обработки, но и внедрить результаты работы в производство, что позволяет решить важную народно-хозяйственную проблему повышения надежности грузовых перевозок железнодорожным транспортом. Работа Е.А. Письменного направлена на разработку технологии термической обработки литых фрикционных клиньев из стали 50СЛ, обеспечивающей повышенные показатели ресурса работы при одновременном снижении материалоемкости их производства. В этой связи постановка цели настоящей работы вполне обоснована.

Отмечается, что для решения поставленных задач автором проведен большой цикл структурно-фазовых исследований, полученные результаты позволили разработать, научно обосновать и предложить технологию термической обработки фрикционного клина из стали 50СЛ, обладающего повышенной эксплуатационной надежностью и увеличенным ресурсом.

Среди результатов, имеющих несомненную научную новизну, отмечаются: проведенный автором анализ закономерностей структурно-фазовых превращений, позволивший изучить влияние структурного состояния на прочность и пластичность стали 50СЛ. Так, впервые установлены закономерности структурно-фазовых превращений распада аустенита стали 50СЛ в условиях различных температурно-скоростных параметров охлаждения с определением глубины прокаливаемости. Установлен и научно обоснован температурно-скоростной режим термической обработки отливок из стали 50СЛ, обеспечивающий ударную вязкость при гарантированной твердости за счет формирования целевой мартенсито-бейнитной структуры стали, упрочненной дисперсными выделениями наноразмерных карбидных фаз размером 70-100 нм.

Основные научные положения, выводы и рекомендации работы представляются обоснованными и не подлежащими сомнениям.

В отзывах отмечается высокая практическая значимость диссертационной работы Е.А. Письменного. Автором разработана технология термической обработки, позволяющая увеличить ударную вязкость фрикционного клина при сохранении его высокой прочности. Внедренная технология позволила уменьшить общую длительность процесса термической обработки и себестоимость производства фрикционного клина наряду с получением превосходных по сравнению с традиционными характеристик.

С учетом разработанной технологии весь процесс термической обработки 1 тонны отливок фрикционного клина в условиях двух предприятий: ООО «Композит-инжиниринг» и ООО «СибТрансМаш» занимает 6–7 часов, в то время как процесс термической обработки 1 тонны отливок фрикционного клина по традиционной технологии занимает не менее 15–17 часов. На сегодня ведутся поставки клиньев фрикционных из стали 50СЛ на предприятия, занимающиеся производством и ремонтом грузовых железнодорожных вагонов, в объеме 4000 штук ежемесячно.

Замечания, приведенные в отзывах:

1. **Батаев Анатолий Андреевич**, и.о. ректора ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет», д.т.н., проф.:

а) положение 2 описано не вполне корректно;

б) для объяснения особенностей тонкого строения мартенсита и бейнита полученных в процессе эксперимента, было бы рационально использовать метод просвечивающей электронной микроскопии.

2. Бурков Александр Анатольевич, заведующий лабораторией физико-химических основ технологии материалов ФГБУН Хабаровский Федеральный исследовательский центр Институт Материаловедения Дальневосточного отделения Российской академии наук, к.ф.-м.н.:

а) опечатка в наименовании оси X на рисунках 7, 9, 11, 13 и 15: "Gegree";

б) на стр. 15 упоминается балл зерна, связанный с ударной вязкостью. Необходимо дать пояснение бальной системе в автореферате;

в) в описании рисунков 7, 9, 11, 13 и 15 с дифрактограммами приводятся структуры аустенита, мартенсита феррита и цементита. Тогда как на дифрактограммах присутствуют рефлексы только трех фаз: αFe , γFe и цементита;

г) в тексте автореферата присутствуют не согласованные предложения: «...можно различить выделения цементита, располагающихся по границам мартенситных игл.», «...на соответствие технических требований согласно ГОСТ...».

3. Громов Виктор Евгеньевич, заведующий кафедрой естественнонаучных дисциплин имени профессора В.М. Финкеля ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», д.ф.-м.н., проф.; **Невский Сергей Андреевич**, профессор кафедры естественнонаучных дисциплин профессора В.М. Финкеля ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», д.т.н., доц.:

а) было бы желательно привести данные по размеру областей когерентного рассеяния и микродисторсии стали 50СЛ при различных режимах термической обработки, что усилило бы работу;

б) описание четвертого раздела диссертации следовало бы дополнить таблицей механических свойств стали 50СЛ.

4. Запольская Екатерина Михайловна, старший научный сотрудник НИЛ ЭМиОИ ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», к.т.н.:

вопросов нет.

5. Земляков Сергей Анатольевич, главный металлург ООО УК «Алтайский завод прецизионных изделий», к.т.н.:

а) не приведены данные по температуре критических точек Ag_1 , Ag_3 ;

б) по какой методике осуществлялся подсчет количества частиц цементита и определение их размеров, результаты которых представлены в последнем абзаце на стр. 17 автореферата (последнее предложение перед рисунком 10 автореферата)?;

в) в тексте автореферата автор указывает, что «... количество цементитных включений с размерами от 70 до 90 нм составляет 92 % от общего количества, отдельные частицы достигают размеров 400 нм, а их количество составляет 0,3 %...». Каковы размерные факторы оставшихся 7,7 %?;

г) не приведены данные по размеру зерна до и после термической обработки деталей из 20Л и 50СЛ.

6. Комиссаров Виктор Владимирович, начальник испытательного центра железнодорожного транспорта Белорусского государственного университета транспорта, к.т.н, доц.:

а) по тексту есть некоторые неточности: ссылка на Приложение А (с. 6), которое есть только в диссертации; на рисунке 2 (а) плохо читаются надписи;

б) на с. 21 указано, что «..суммарный износ деталей пары трения 50СЛ-50СЛ на 56 % меньше по сравнению с используемой в настоящее время парой трения 20Л-20Л..», а в научной новизне (с. 5) отмечается, «..что в паре трения для изделия из стали марки 50СЛ в качестве контртела наиболее перспективными являются детали из сталей марок 50СЛ и 20Л, позволяющие существенно (на 56% и 28% соответственно) уменьшить интенсивность износа относительно применяемой в настоящее время базовой пары 20л-30ХГСА». Считаем, что необходимо уточнить с какой парой трения производилось сравнение;

в) при определении прокаливаемости стали 50СЛ делается вывод по значениям твердости в единицах HB, а на рисунке 3 используются зависимости в единицах HRC.

7. Мосоров Владимир Иванович, заведующий кафедрой «Металловедение и технологии обработки материалов», ФГБОУ ВО «Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления», к.т.н., доц.:

в автореферате имеются упоминания о проведенных трибологических испытаниях, однако более развернутых данных, демонстрирующих их результаты, в автореферате отсутствуют. Также в работе отсутствуют и результаты испытаний реальных изделий.

8. Поляков Борис Олегович, начальник отдела испытаний металлопродукции АО «НВЦ «Вагоны», к.т.н.:

а) автор пишет, что клин – многофункциональный узел, но испытания проведены только при вертикальной нагрузке без учета боковых и угловых перемещений;

б) основная характеристика фрикционного клина с точки зрения динамики подвижного состава – относительный коэффициент трения, но в автореферате об этом нет упоминаний.

9. Попов Андрей Юрьевич, профессор кафедры «Металлорежущие станки и инструменты» ФГАОУ ВО «Омский государственный технический университет», д.т.н., проф:

а) из автореферата не понятно, за счет чего снижена масса клина;

б) не понятно, что происходит с ресурсом контртела?

10. Слаутин Олег Викторович, доцент кафедры «Материаловедение и композиционные материалы» ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», д.т.н., доц.:

а) судя по тексту автореферата диссертации, определение глубины прокаливаемости стали 50СЛ производили на образцах Джомини, т.е. эмпирическим путем, однако на графике (рисунок 3 в автореферате на 14 странице) не указаны доверительные интервалы;

б) на рисунках 4 и 5 автореферата (стр.14) представлены, судя по всему, микроструктуры и результаты анализа величины зерна стали 50СЛ вдоль и поперек направления кристаллизации, однако автор в автореферате никоим образом не комментирует отличия в микроструктуре и по величине зерна, которые визуальнo различаются в зависимости от ориентации рассматриваемой структуры. Чем обусловлена разница в величине зерна?.

11. Цуканов Виктор Владимирович, начальник 31 лаборатории НИЦ «Курчатовский институт» - ЦНИИ КМ «Прометей», д.т.н., проф.:

а) цель № 1 – можно ли было использовать ТКД из многочисленных справочников, а также по ним оценить прокаливаемость стали 50СЛ? В чем отличие экспериментально полученных результатов от справочных данных? На странице 12 приведен метод пробных закалок для определения критических точек Ас3, Ас1 и температур начала бейнитного и мартенситного превращений. Думаю, что применение для этих задач современного дилатометра было бы более рационально. Метод пробных закалок применялся на заре первичного понимания о критических точках. К тому же непонятно, как определялся разброс $\pm$ °С;

б) на странице 10 неудачная фраза «...выдерживали в климатической камере при температуре от минус 60 °С до минус 58 °С...»;

в) по таблице № 1: сравнение режимов 7 и 8 – в них отличие только в режиме охлаждения: в режиме № 7 охлаждение после выдержки при температуре 850 °С в воде, а в режиме № 8 в масле, т.е. можно говорить только об изменении структур закалочного типа. А на странице 18 (последний абзац) – режим термической обработки (подразумевается № 8) не позволил провести полную гомогенизацию химического состава стали по сравнению с режимом № 7. В чем здесь глубокий смысл, если в обоих режимах (№№ 7 и 8) режимы нагрева одинаковы (температуры 950 и 850 °С)? К тому же, для гомогенизации температуры явно низковаты.

Заключение по отзывам:

1. Экспериментально обоснована целевая мартенсито-бейнитная структура стали марки 50СЛ (93-95% мартенсита + 5-7% бейнита), обеспечивающая требуемый комплекс механических свойств и ударной вязкости, превышающей на 30% требования НТД ОАО «РЖД» к материалу фрикционных клиньев.

2. Успешно решены научные и прикладные задачи. Результаты имеют важное значение для прикладного металловедения и могут быть использованы на практике при разработке технологий термической обработки не только деталей железнодорожного транспорта, но и других деталей.

3. Достоинством работы является комплексный и методически обоснованный подход к решению поставленных задач; значительный объем металлографических исследований; применение сканирующей электронной микроскопии; изучение структурного состояния методом рентгеноструктурного анализа; проведение испытаний в условиях, приближенным к эксплуатационным, по результатам которых подтверждены высокие показатели эксплуатационных свойств.

4. Достоверность полученных результатов подтверждается использованием современных методов изучения структурно-фазового состояния, большим объемом экспериментальных данных и непротиворечивостью результатов с результатами других авторов.

5. Основные положения и результаты работы достаточно полно освещены в публикациях и обсуждены на профильных конференциях, в том числе на всероссийских и международных. Автореферат написан грамотным техническим языком, основные положения исследований подкреплены иллюстративным материалом.

6. Во всех отзывах отмечается, что диссертационная работа соответствует паспорту специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов и критериям, предъявляемым ВАК, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается:

- **Федин Владимир Михайлович** – ведущий специалист в области металловедения и термической обработки металлов и сплавов для железнодорожного транспорта;

- **Ишков Алексей Владимирович** – ведущий специалист в области материаловедения, широко известный своими работами в области повышения ресурса и надежности рабочих узлов и деталей машин;

- федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Брянский государственный технический университет» - образовательная и научно-исследовательская организация, широко известная своими работами в области разработки материалов и технологий, направленных на повышение свойств деталей машин, в том числе для железнодорожного транспорта.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана научно обоснованная технология термической обработки фрикционного клина из новой стали 50СЛ с целью повышения ресурса его работы не менее, чем в два раза,

предложен оригинальный подход к технологической операции нагрева под закалку отливок фрикционного клина из стали 50СЛ, заключающийся в совмещении операций гомогенизирующего отжига и нагрева под закалку в одну операцию ступенчатого отжига, предполагающий проведение закалки непосредственно после термической выдержки, что позволило в 2,5 раза сократить общее время операции термической обработки,

доказана возможность производства фрикционного клина из среднеуглеродистой низколегированной стали 50СЛ, обладающего гарантированным ресурсом работы свыше 250 тыс. км, что в 2 раза превышает ресурс работы используемых в настоящее время клиньев из стали 20Л и чугуна СЧ25 и СЧ35,

введены технические условия на разработанный фрикционный клин из новой стали 50СЛ, что позволило на 32,5% снизить его материалоемкость, в 2 раза повысить ресурс работы и на 25% снизить себестоимость изготовления.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана возможность использовать для изготовления детали железнодорожного транспорта «фрикционный клин» среднеуглеродистую кремнистую сталь 50СЛ, что позволило на 32,5% снизить его массу при сохранении эксплуатационных характеристик,

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использованы методы

компьютерного моделирования структурно-фазового состояния, рентгеноструктурного анализа, оптической и электронной микроскопии, **изложены** и научно обоснованы требования к целевой мартенсито-бейнитной структуре стали марки 50СЛ (93-95% мартенсита + 5-7% бейнита), которая обеспечивает требуемый комплекс механических свойств, в том числе ударную вязкость, превышающую на 30% требования НТД ОАО «РЖД» к материалу фрикционных клиньев, **раскрыты** закономерности влияния температурно-временных параметров термической обработки на структурно-фазовое состояние, прокаливаемость и уровень механических свойств стали 50СЛ, **изучен** и научно обоснован температурно-скоростной режим термической обработки отливок из стали марки 50СЛ, обеспечивающий однородность химического состава по содержанию углерода в объеме отливки, повышающий ударную вязкость при гарантированной твердости за счет формирования целевой мартенсито-бейнитной структуры стали, упрочненной дисперсными выделениями наноразмерных карбидных фаз величиной 70-100 нм, **проведена модернизация** существующей технологии термической обработки отливок из стали 50СЛ путем замены двухэтапной термической обработки (гомогенизирующий отжиг с охлаждением вместе с печью и последующий нагрев под закалку) на одноэтапный ступенчатый гомогенизирующий отжиг с последующей закалкой, что позволило в 2 раза снизить время процесса термической обработки.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработаны и внедрены технические условия на производство фрикционного клина из стали 50СЛ и получен сертификат соответствия и начато производство и поставки разработанного фрикционного клина,

определены основные температурно-временные параметры процесса термической обработки стали 50СЛ, заключающиеся в нагреве отливок клина фрикционного до 930-950°C с выдержкой в течение 2 ч для устранения ликвации углерода по объему отливки; охлаждение с печью до 830-850°C с выдержкой в течение 0,3 ч и

охлаждением с интенсивностью $4-5^{\circ}\text{C}/\text{с}$ при закалке для формирования оптимальной мартенсито-бейнитной структуры стали; последующий отпуск при температуре $340-350^{\circ}\text{C}$ в течение 2 ч с целью формирования структуры мартенсита отпуска, выделения дисперсных карбидных фаз диаметром 70-100 нм и снятия закалочных напряжений,

создана новая конструкция фрикционного клина, имеющая на треть меньшую материалоемкость, что позволило пропорционально снизить массы в железнодорожном вагоне, что в свою очередь привело к повышению надежности работы всей системы рессорного подвешивания грузового железнодорожного вагона,

представлена оптимальная технология термической обработки фрикционного клина из стали 50СЛ, в результате которой термически обработанный по разработанному режиму клин фрикционный имеет твердость на уровне 320 ± 8 НВ и показатели ударной вязкости $KCU = 382,8$ кДж/м², что на 30-40% превышает минимальное значение, регламентируемое нормативно-технической документацией и внутренними стандартами ОАО «РЖД» - 245 кДж/м².

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ применялись современные методы исследований механических свойств и испытаний на современном сертифицированном и поверенном оборудовании,

теория исследования построена на основных положениях современного металловедения. Основным научным подходом в работе является установление связей между технологией термической обработки, структурным состоянием и уровнем свойств стали,

идея базируются на анализе и обобщении данных компьютерного моделирования и собственных экспериментальных данных, опубликованных данных в области металловедения и термической обработки, которые согласуются с основными положениями металловедения, а также подтверждаются результатами успешной реализации технологических решений в промышленных условиях,

использованы методы статистической обработки результатов и современное лицензионное программное обеспечение, большой объем экспериментальных

работ, сопоставление полученных результатов с опубликованными данными, комплекс современных методов исследования микроструктуры металла с использованием сканирующей электронной микроскопии, рентгеноструктурный анализ, а также анализ механических свойств металла,

установлена непротиворечивость результатов исследования, полученных в работе с известными из литературы, совпадение результатов лабораторных и промышленных экспериментов и испытаний, показана воспроизводимость результатов,

использованы методология и методы исследования, применяемые в металловедении, в частности, комплекс современных методов исследования структуры металла с использованием оптической и сканирующей микроскопий, рентгеноструктурного анализа, а также определения механических свойств металла.

Личный вклад соискателя состоит в проведении анализа мировой научной литературы, постановке цели и определении задач данной работы, выборе направлений и методов получения экспериментальных данных, анализе и обобщении результатов, а также в том, что основные научные положения и результаты диссертационной работы базируются на исследованиях и результатах экспериментов, проведенных лично или с участием автора.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания: о комплексе факторов обеспечивающих выбор стали 50СЛ среди ряда аналогичных сталей в качестве оптимальной основы для изготовления изделий с высокими показателями механических и триботехнических свойств?; о вкладе разработанной технологии обработки (включая особый режим термической обработки и химический состав стали), обеспечивающей получение заданных структурных состояний (мартенсит-бейнитная структура) и высоких значений прочности, износостойкости и ударной вязкости?

Соискатель Письменный Е.А. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию: При разработке стали учитывался ряд ключевых факторов, которые позволили признать сталь 50СЛ оптимальным выбором. Углерод повышает твёрдость и прочность, а кремний и

марганец улучшают прокаливаемость и сопротивляемость хрупкому разрушению. Это сочетание элементов даёт высокую устойчивость к нагрузкам, пластичность и износоустойчивость. Благодаря повышенному содержанию кремния (до 1,6%) сталь демонстрирует повышенную стойкость к износу при работе за счет формирования в процессе термической обработки по предложенному режиму мелкодисперсных выделений карбидной фазы, реализуя принцип Шарпи. Легирование кремнием и марганцем в рекомендуемых пределах и при термической обработки по режиму, указанному в диссертационной работе, стабилизирует бейнитно-мартенситную структуру с мелкодисперсными выделениями карбидов. Нагрев до 950°C обеспечивает полное растворение феррита и цементита, обеспечивая равномерное распределение углерода по объему аустенита. Сопутствующее охлаждение до 850°C и выдержка при этой температуре позволяет провести охлаждение в воде с оптимальной скоростью для формирования мартенсито-бейнитной структуры. При этом, ключевую роль в достижении необходимых характеристик играют: а) химический состав. Кремний (~ 1,2-1,6%) способствует формированию равномерно распределенного по объему дисперсного карбида железа (Fe_3C) в процессе отпуска стали после закалки. Марганец, легируя α -фазу, в комплексе с влиянием кремния, позволяет получить высокие показатели ударной вязкости в заданном диапазоне твердости; б) особенности термической обработки. Разработанный режим термической обработки с нагревом до 950°C и последующим охлаждением с печью до 850°C позволяет растворить цементит и облегчить перераспределение углерода в аустените. Такое распределение углерода по объему аустенита приводит к получению максимально гомогенной по содержанию углерода конечной структуры после закалки. Это позволило получить для стали 50СЛ значения предела прочности $\sigma_b > 730$ МПа, ударной вязкости $KCU \geq 380$ кДж/м² и повысить сопротивление абразивному износу. Выбор марки стали 50СЛ обоснован совокупностью преимуществ, достигнутых благодаря сочетанию химического состава и разработанным технологиям термической обработки. Эти решения в комплексе позволили создать материал, обладающий требуемыми свойствами, что повысило надежность и срок службы изготавливаемых деталей.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 14 докторов наук по научной специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 22 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за – 15, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Ree

James