ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.324.03,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «МАГНИТОГОРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Г.И. НОСОВА»,
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от «27» мая 2025 № 6

О присуждении Шараповой Валентине Анатольевне, Российская Федерация, ученой степени доктора технических наук.

Диссертация «Научно обоснованные технологические решения упрочнения и повышения износостойкости машиностроительных материалов за счет ТРИП-эффекта в структуре метастабильного аустенита» по специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов принята к защите 18 февраля 2025 г. (протокол №2) диссертационным советом 24.2.324.03, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38, приказ № 1193/нк от 12 октября 2022 года.

Соискатель Шарапова Валентина Анатольевна, «11» августа 1986 года рождения.

Диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук «Закономерности влияния состава, структуры и технологии механо-термической обработки на комплекс свойств новых сталей на Fe-Cr-Ni основе для упругих элементов» защитила в 2011 году в диссертационном совете Д

212.285.04, созданном на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», работает доцентом в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре «Металловедение», федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный консультант – доктор технических наук Филиппов Михаил Александрович, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», профессор.

Официальные оппоненты:

Калинин Григорий Юрьевич, доктор технических наук, доцент, федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт конструкционных материалов «Прометей» имени И.В. Горынина Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», начальник лаборатории,

Данилов Владимир Иванович, доктор физико-математических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук (ИФПМ СО РАН), главный научный сотрудник,

Салищев Геннадий Алексеевич, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», руководитель лаборатории

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем сверхпластичности металлов Российской академии наук, г. Уфа в своем положительном отзыве, подписанном Валитовым Венером Анваровичем, доктором технических наук, ведущим научным сотрудником, указала, что «…Совокупность полученных научно-практических результатов, с учетом их апробаций, дает основание полагать, что результаты и выводы диссертации являются значимыми для развития металлургической и машиностроительной отраслей страны и могут применяться для организаций, выполняющих заказы по производству коррозионностойких изделий тонких сечений (медицинские иглы), термической обработке деталей насосов (цилиндровых втулок). Таким образом, диссертация Шараповой Валентины Анатольевны «Научно обоснованные технологические решения упрочнения и повышения износостойкости машиностроительных материалов за счет ТРИП-эффекта в структуре метастабильного аустенита» является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований изложены новые научно обоснованные решения применения ТРИП-эффекта в материалах со структурой метастабильного аустенита, соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а ее автор, Шарапова Валентина Анатольевна, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Соискатель имеет 120 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 35 работ, из них в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ, опубликовано 11 работ. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах. Результаты опубликованы в виде статей в рецензируемых научных изданиях, входящих в Перечень ВАК РФ, в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в Web of Science и Scopus, охранных документах и материалах конференций.

Авторский вклад соискателя объемом 3,6 п.л. в опубликованных работах общим объемом 11,3 п.л. состоит в проведении анализа литературных данных по результатам изучения влияния термической обработки на фазовый состав, тонкую структуру, абразивную износостойкость и фрикционное упрочнение сталей и чугунов с метастабильным аустенитом, разработке научной идеи о связи параметров микроструктуры металлической основы сталей и чугунов с возможностью протекания в них ТРИП-эффекта и новых технологических решений повышения абразивной износостойкости промышленных высокохромистых и экономнолегированных сталей и чугунов, проведении теоретических и экспериментальных исследований закономерностей структурно-фазовых превращений, изменения механических свойств и эксплуатационных характеристик исследуемых сплавов после высокотемпературной закалки, подготовке научных работ к опубликованию в открытой печати.

Наиболее значительные публикации по теме диссертации:

1. О влиянии напряженного состояния на образование мартенсита деформации в стали 03Х14Н11К5М2ЮТ / Л.А. Мальцева, Ю.Н. Логинов, Т.В. Мальцева, В.А. Шарапова // Металлы. – 2013. – № 5. – С. 85-92.

2. Инженерный метод оценки способности металлов и сплавов к деформационному упрочнению / М.А. Филиппов, В.А. Шарапова, Е.И. Корзунова, В.В. Легчило // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2019. – Т.15. – №3 (171). – С. 126-129.

3. Роль метастабильного аустенита в повышении абразивной износостойкости стали перлитного класса 150ХНМЛ / М.А. Филиппов, М.С. Хадыев, Н.Н. Кудряшова, В.А. Шарапова, С.О. Морозов // Сталь. – 2021. – № 8. – С. 44-49.

4. Формирование диссипативной структуры метастабильного аустенита для повышения износостойкости углеродистых сталей / М.А. Филиппов, В.П. Швейкин, В.А. Шарапова, С.М. Никифорова, М.С. Хадыев // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2022. – № 9 (807). – С. 41-46.

5. Шарапова, В.А. Структурные особенности в высокоуглеродистой стали с микро-TRIP/TWIP-эффектом / В.А. Шарапова // Технология машиностроения. –2024. – № 10. – С. 19-27.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» (г. Санкт-Петербург), подписанный доктором технических наук Шахназаровым К.Ю. Замечание: Как объяснить, что при росте зерна, например, для стали 135СГЛ на стр. 23, рис. 16 (*а, б*) ударная вязкость повышается с 3 до 4 Дж/см^2? (Отзыв положительный)

2. ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет» (г. Новокузнецк), подписанный доктором физико-математических наук Громовым Е.В. и кандидатом технических наук Невским С.А. Замечание: На графиках, представленных на рисунках 7, 15, 20, 22, 23, следовало бы привести доверительные интервалы. (Отзыв положительный)

3. АО «Уралэлектромедь» (г. Верхняя Пышма), подписанный ведущим инженером технологом ТО ИПУ Павленко И.В. Замечания отсутствуют. (Отзыв положительный)

4. ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет» (г. Тюмень), подписанный доктором технических наук Ковенским И.Н. Замечания отсутствуют. (Отзыв положительный)

5. Институт механики ФГБУН УдмФИЦ УрО РАН (г. Ижевск), подписанный доктором технических наук Дементьевым В.Б. Замечания отсутствуют. (Отзыв положительный)

6. ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет» (г. Новокузнецк), подписанный доктором технических наук Арышенским Е.В. и младшим научным сотрудником Шуберт А.В. Замечания: 1. Неполное обоснование выбора температурных режимов – критерии выбора температуры нагрева под закалку описаны, но не подкреплены достаточным сравнительным анализом альтернативных режимов. 2. Слабое внимание к влиянию δ-феррита – присутствие δ-феррита отмечено, однако его влияние на механические свойства и последующие фазовые превращения недостаточно проанализировано. 3. В четвёртой главе рассматриваются различные стали, включая перспективную безуглеродистую сверхравновесно-азотистую сталь аустенитного класса. Однако описание её структуры, фазового состава и свойств недостаточно детализи-

ровано. Рекомендуем добавить детальный анализ структуры безуглеродистой стали, её фазового состава и характеристик. (Отзыв положительный)

7. ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет» (г. Тольятти), подписанный доктором физико-математических наук Мерсоном Д.Л. Замечание: 1. В формулировке научной новизны применительно к ТРИП-стали 03Х14Н11К5М2ЮТ сказано о ее рекордной пластичности, при этом не указывается по сравнению с чем. 2. В разделе «Материалы и методы исследования» не указано по каким стандартам и с помощью какого оборудования проводили испытания на ударную вязкость, результаты которого, например, есть в таблице 2. (Отзыв положительный)

8. ФГБУН Институт машиноведения имени Э.С. Горкунова УрО РАН (г. Екатеринбург), подписанный доктором технических наук Пугачевой Н.Б. Замечания отсутствуют. (Отзыв положительный)

9. ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» (г. Екатеринбург), подписанный доктором технических наук Потехиным Б.А. Замечания: 1. Возникает, тем не менее, вопрос, что общего у износостойкости и релаксационной стойкости? 2. На стр. 5 указано, что «механизм царапания сменяется микрорезанием», но ведь, по-существу, это одно и то же. (Отзыв положительный)

10. ФГАОУ ВО «Уральский государственный педагогический университет» (г. Екатеринбург), подписанный доктором технических наук Гузановым Б.Н. Замечание: Однако, сделанное в работе заключение о полезности использования высокотемпературной закалки с целью получения достаточного количества остаточного аустенита, например, в перлитных сталях, требует дополнительного обоснования, поскольку это обусловит нежелательный рост зерна. (Отзыв положительный)

11. ФГБУН Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН (г. Екатеринбург), подписанный доктором технических наук Коробовым Ю.С. Замечание: В работе выполнено научно обоснованное описание эффектов, обусловленных деформационным мартенситным превращением, применительно к сталям и чугунам различных классов. Однако для более широкого практическо-

го применения полученных результатов желательно для всех исследованных материалов представить интервалы удельных внешних нагрузок и скоростей нагружения, в которых указанные превращения заметно влияют на свойства. (Отзыв положительный)

12. ПАО «Каменск-Уральский Металлургический Завод» (г. Каменск-Уральский), подписанный главным технологом Бурибаевым Э.И. Замечания отсутствуют. (Отзыв положительный)

13. ГНЦ ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина» (г. Москва), подписанный доктором технических наук Филипповым Г.А. Замечания: 1. Известно, что трип-стали обладают повышенным сопротивлением разрушению при холодной деформации (например, штамповке) и циклическом нагружении, что является следствием высокой твердости и запаса вязкости. Как показали исследования влияния температуры нагрева под закалку стали 135ГСЛ (рис. 15 автореферата) увеличение температуры нагрева снижает твердость и практически не увеличивает вязкость. При этом наблюдается существенное повышение износостойкости. Не ясно, каков в этом случае механизм такого повышения? 2. В работе убедительно показано положительное влияние высокотемпературного нагрева под закалку на сопротивление абразивному износу. Представляет интерес оценить влияние предложенного вида термообработки стали на сопротивление контактной выносливости. (Отзыв положительный)

14. ФГБОУ ВО «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева» (г. Рыбинск), подписанный доктором технических наук Шатульским А.А. и кандидатом технических наук Жуковым А.А. Замечания: 1. Из текста автореферата не понятно, какие методы количественного металлографического анализа структуры и фазового состава использовали? 2. Уравнение множественной регрессии позволяет прогнозировать значение микротвердости Hv после испытаний на изнашивание, но для того чтобы оценить способность к фрикционному упрочнению, необходимо знать исходное значение Hv. Кроме того, не совсем понятно, какое значение Hv приведено в таблице: расчетное по уравнению (1) или измеренное. 3. Отсутствует объяснение, почему углерод оказывает наиболее отрицательное влияние на микротвер-

дость. 4. Целесообразно выполнить корреляционный анализ данных в таблице 5, что дополнительно к уравнению (1) позволит оценить влияние фазового состава на микротвердость и способность материала к фрикционному упрочнению. (Отзыв положительный)

15. ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет» (г. Хабаровск), подписанный доктором технических наук Ри Э.Х. Замечания: 1. В автореферате не отражена экономическая эффективность предложенных технологий. 2. На странице 7 во 2 абзаце автореферата говорится о выборе сплавов с содержанием метастабильного аустенита, далее приведена таблица 1, но в ней не указано количество метастабильного аустенита для каждого сплава. 3. Некоторые микрофотографии образцов нечеткие или затемненные. Рисунок 18 не имеет смысла в черно-белом варианте. (Отзыв положительный)

16. ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», подписанный доктором технических наук Юдиным Ю.В. (Отзыв отрицательный) Замечания:

- Абсолютно отсутствует актуальность представленной работы. Автор представляет, что сталь 110Г13 и подобные стали почему-то себя исчерпали. Но где диссертант ищет решение? Предлагается сталь 03Х14Н11К5М2ЮТ, содержащая 0,03 % углерода. Сталь архи дорогая и весьма узко специализированная. Почему о таких сталях идет речь? В первой и второй главе вообще нет ни слова об износостойкости сталей. Вероятно, эти данные взяты из кандидатской диссертации автора, защищенной в 2011. Где тогда научная новизна? Как можно объединять совершенно различные классы марок сталей, предназначенных для абсолютно различных изделий на основе того, что в них наблюдается ряд сходных эффектов? Работа представляет собой эклектичное соединение экспериментальных данных, никак не связанных между собой.

- На стр. 9-10 указано, что «по технологическим и экономическим соображениям чугун 260Х16М2 рекомендован для изготовления лопаток дробеметных аппаратов и износостойких вставок биметаллических втулок грязевых насосов. Обработанные по предложенной технологии детали показали хорошую эксплуатационную стойкость: на 25% выше стали Х12МФЛ». Однако на стр. 11

говорится, что втулки из стали Х12МФЛ «показали высокую эксплуатационную стойкость - отработали более 960 часов и были ещё в работоспособном состоянии, таким образом в 1,8 раза превысив эксплуатационный срок в тех же условиях серийной партии втулок из чугуна ИЧХ20М». Таким образом, имеются вопросы к акту внедрения в НГО Уралмаш от 17 ноября 2016 г. за № 37-518 - по какой причине была все-таки внедрена сталь Х12МФЛ, показывающая существенно меньшую износостойкость по сравнению с разработанным чугуном 260Х16М2?

- Если обратиться к кандидатской диссертации автора, то акт внедрения по предприятию «Медтехника», г. Казань, взят из нее, что недопустимо по требованиям ВАК. Тем более что данный акт был получен много лет назад (в 2005...2010 г.), на что указывает старое название в акте УГТУ-УПИ вместо УрФУ (с.251...252). Вероятно, в полученных результатах есть некоторый научный смысл, но до промышленного освоения дело так и не дошло. Какова рентабельность данной работы? Где какие-то экономические расчеты по выполненным работам?

- В методике проведения исследований ряд основополагающих моментов отсутствует. Нет статистического анализа полученных данных. Например, предлагается формула (1.1), с. 20 текста диссертации для определения абразивной износостойкости. Поскольку данная величина определяется как частное от деления убыли массы контртела и исследуемого образца, то соответственно при взвешивании существует погрешность применяемого метода. Предположим, что стандартное отклонение искомой величины составляет 0,1. Но поскольку в испытаниях число образцов равно 2, выборка мало репрезентативна, то по теории ошибок данную величину необходимо умножить на критерий Стьюдента, равный 12,7 для доверительной вероятности 0,95. В результате получается, что погрешность составляет +1,27. Например, для е = 2 вероятное его значение будет 0,73 3,27. Поскольку объем выборки мал, следует округлить полученные значения до одной значащей цифры. В результате получается 0,7...3. Четырех кратное «размытие» результата сводит к нулю все изыскания автора.

- При описании методики оценки износостойкости отсутствует подробное

описание установки, а также не ясно, по какой схеме реализовано испытание? Краткое дополнение методики приводится лишь в главе 7, стр. 196. Там указано, что размер испытуемых образцов составлял 10х10 мм, однако смещение образца производилось лишь на 1,2 мм за каждый возвратно-поступательный ход. То есть бОльшая часть поверхности образца проходила испытания на уже изношенной поверхности абразивной бумаги. Учитывалось ли шаржирование образцов продуктами износа / истирание абразивной бумаги и каким образом это было учтено или устранено? Как осуществлялось взвешивание образцов (прибор, погрешности)? Проверялась ли достоверность результатов испытаний на износостойкость иными методами или на других установках?

- Полученный выше результат перекликается с обобщениями о влиянии объемной доли α-фазы на величину Δε. Возникает вопрос о погрешности данного фактора, поскольку берется не разность, а отношение. В ряде присланных отзывов есть вопрос об уравнении (7.2), с. 194 диссертации, в автореферате уравнение на стр.6, первый абзац « $f(\Delta\varepsilon) = 2{,}1e^{-0{,}05\alpha}$ ». Естественно, данное уравнение должно вытекать из обобщения экспериментальных данных, приведенных в табл. 7.1 , с. 193 диссертации и табл.5 , с. 28 автореферата. По приведенным данным мною был построен график зависимости $\Delta\varepsilon = f(\alpha)$. Он абсолютно не совпадает с рис. 7.3, приведенным в диссертации. То есть автор пытается выдать желаемое за действительное. На построенном графике (рис. 1) приведены результаты, рассчитанные по уравнению (7.2), розовые маркеры. Даже знаки показателя степени различные. Корреляция между Δε и α отсутствует. Об этом свидетельствует огромный разброс величины Δε, коэффициент детерминации равен 0,0005. Это еще раз доказывает, что работа весьма сырая и требует кардинальных изменений.

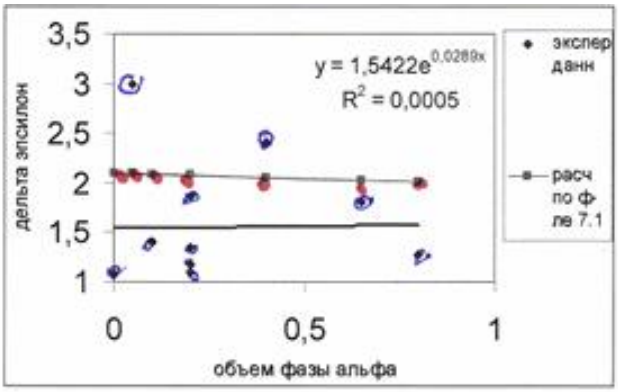

Рис. 1 Реальная зависимость $\Delta\varepsilon = f(\alpha)$ по данным табл. 7.1, с. 193 диссертации. или табл. 5 автореферата. Маркеры синего цвета – экспериментальные данные, розового – рассчитанные по уравнению (7.2)

- Проведенный автором регрессионный анализ также озадачивает, уравнение, с. 195, уравнение на с. 6 автореферата, абз.5. Согласно полученному уравнению, для увеличения твердости после изнашивания надо уменьшать количество углерода, марганца, хрома, но увеличивать содержание кремния. Это вообще о чем? Данное уравнение вынесено в научную новизну!!! Автор, вероятно, не знаком с основами регрессионного анализа и проверкой всех полученных линейных коэффициентов на значимость. Еще раз убеждаюсь, что работа весьма и весьма сырая.

- В работе абсолютно не рассматривается и не исследуется наиболее широко используемый в промышленности и машиностроении класс конструкционных среднеуглеродистых легированных сталей, для которых как раз является актуальным повышение износостойкости. Содержание углерода в исследуемых сталях и сплавах варьируется от 0,03 до 3,12 %, однако этого недостаточно для построения адекватной модели, поскольку для сплавов с содержанием углерода 0,03 до 0,72 % (основная масса применяемых сталей) отсутствуют соответствующие результаты.

- Автор не владеет элементарными знаниями в области металловедения, путая изотермические и термокинетические диаграммы распада метастабильного аустенита. На изотермическую диаграмму нанесены термические траектории (рис. 3.4, с. 101). Почему? Разве можно так делать? По данному графику есть ряд вопросов.

- Почему охлаждение на воздухе всего вдвое больше занимает времени, чем в масле? Как происходило охлаждение в песке? Это расчеты или реальный

эксперимент? Что собой представляло изделие (масса, размерные характеристики)? Поясните, как получены первичные данные по термометрированию изделия, приводимые в работе? Неверно указано название оси абсцисс. Не lg т, а «время», размерность «секунды».

- Качество иллюстративного материала оставляет желать лучшего (например, стр. 28, 29 - один номер рисунка 2.4 на две иллюстрации, на стр. 29 масштаб графика по оси ординат не позволяет увидеть какие-либо различия на графиках, если таковые имеются). Складывается ощущение, что не было проведено достаточной работы над анализом результатов и оформлением материала. Такие данные невозможно в дальнейшем использовать, поэтому это значительно снижает научную ценность представленной работы. На рис. 2.25, стр. 52, сделана попытка выделения пика на рентгенограмме, однако данный «пик» полностью перекрывается шумом экспериментальных данных. Подводя итог, высказываю мнение, что работа не соответствует требованиям ВАК и должна быть кардинально переработана автором. О защите не может быть и речи, к чему призываю всех членов диссертационного совета.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается соответствием их научных интересов профилю рассматриваемой диссертации, а также наличием публикаций в области металловедения, формирования структурно-фазового состояния и эксплуатационных свойств сталей и чугунов при термическом и деформационном воздействии в ведущих рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ, и изданиях, индексируемых в Web of Science и Scopus. Это подтверждает их способность квалифицированно определить и оценить научную новизну и практическую ценность исследований.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана, теоретически обоснована и экспериментально доказана новая научная идея о наличии ТРИП-эффекта в высокоуглеродистой стали, впервые показанного на закаленных от высокой температуры сталях перлитного и ледебуритного классов, в которых уже после первого однократного фрикционного воздействия образуется деформационный нанокристаллический высокоуглероди-

стый мартенсит с размером кристаллов 10 – 100 нм, стойкий к абразивному изнашиванию, чередующийся с кристаллами аустенита, склонного к фрикционному упрочнению; формирующаяся структура поверхности обладает способностью к релаксации напряжений в процессе γ→α превращения, сопровождающегося ТРИП-эффектом;

предложена оригинальная научная гипотеза о возможности смены механизма микрорезания на царапание при испытаниях на абразивное изнашивание после высокотемпературной закалки поверхности на примере сталей 0Х18А1.2, 100Х18 и 135СГЛ, в результате чего абразивная износостойкость поверхности снижается, что подтверждается увеличением параметров шероховатости;

доказана перспективность использования высокотемпературной закалки в масло экономно легированного чугуна типа нихард (300Х2Н4), а также износостойких хромистых чугунов (260Х16М2 и 250Х25МФТ) для обеспечения максимального упрочнения без потери пластичности и высокой ударной вязкости вплоть до криогенных температур;

введено в научную практику новое понятие «критерий скорости прироста износостойкости», под которым понимается скорость прироста износостойкости в процессе изнашивания при увеличении доли остаточного аустенита после высокотемпературной закалки перед испытанием, который используется при выборе материалов для обеспечения максимальной долговечности поверхностям деталей.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказано, что обнаруженные закономерности протекания фазовых и структурных превращений в сталях перлитного и ледебуритного классов и износостойких хромистых чугунах вносят существенный вклад в понимание физических процессов увеличения износостойкости с ростом температуры закалки и прироста износостойкости по мере развития деформационного мартенситного превращения, сопровождаемого ТРИП-эффектом;

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) **использованы** методы анализа структуры и свойств, в том числе оптическая и электронная микро-

скопия, рентгеноструктурный анализ; метод дифракции обратно рассеянных электронов; методы проведения трибологических испытаний, измерения микротвердости поверхностного слоя и его профилометрия;

изложены научные обоснования применения нетрадиционных режимов термической обработки, включающие высокотемпературную закалку сталей Х12МФЛ, 95Х18, 70Х2ГСМЛ, 150ХНМЛ, 0Х18А1.2, 100Х18 и 135СГЛ и обработку холодом чугунов 260Х16М2 и 250Х25МФТ, а также проявление ТРИП- и ТВИП-эффектов в высокоуглеродистых сталях 70Х2ГСМЛ, 150ХНМЛ, Х12МФЛ, 135СГЛ, что обеспечивает повышение комплекса физико-механических свойств и сопротивление абразивному изнашиванию поверхности;

раскрыта проблема ухудшения механических свойств при экономном легировании кобальтом запатентованной аустенитнной ТРИП-стали гарантированной сверхвязкости 03Х14Н11К5М2ЮТ за счет выделения высокотемпературной технологически нежелательной охрупчивающей χ-фазы;

изучены закономерности формирования вторичной структуры повышенной износостойкости и ее свойств после высокотемпературной (1170 °С) закалки поверхности высокоуглеродистых сплавов Х12МФЛ, 95Х18, 70Х2ГСМЛ, 150ХНМЛ, 100Х18, 135СГЛ, 300Х2Н4, 260Х16М2 и 250Х25МФТ;

проведена модернизация существующих математических моделей выбора износостойких материалов за счет использования критериев (микротвердость рабочей поверхности после изнашивания и прирост износостойкости при испытаниях на абразивный износ), которые формируют систему оценивания связи фрикционного упрочнения, релаксации напряжений и эксплуатационных свойств материала.

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

разработаны и внедрены (прошли успешные полупромышленные испытания) режимы термической обработки для формирования самотрансформирующегося в процессе изнашивания слоя рабочей поверхности для сталей аустенитного, перлитного, ледебуритного классов и высокохромистых чугунов; изготовлена

опытная партия износостойких вставок из высокоуглеродистых сплавов разных систем легирования, что подтверждено актом ООО «УЗТЕРМО» (г. Екатеринбург); предложена обработка проволоки для стрежневого мединструмента, что подтверждено актом внедрения в ООО «Медтехника» (г. Казань), с привлечением специалистов филиала ООО «Уралмаш НГО Холдинг» проведены промышленные испытания опытной партии втулок буровых насосов из стали Х12МФЛ в климатических условиях региона ЯНАО, что подтверждено актом;

определены пределы и перспективы практического использования новых данных о влиянии высокотемпературной закалки на структуру и свойства сплавов 03Х14Н11К5М2ЮТ, 03Х14Н11КМ2ЮТ, 03Х14Н11М2ЮТ, Х12МФЛ, 95Х18, 70Х2ГСМЛ, 150ХНМЛ, 100Х18, 0Х18А1.2, 120Г18, 135СГЛ, 300Х2Н4, 260Х16М2 и 250Х25МФТ, которые могут быть использованы при назначении технологических режимов термообработки в условиях освоения производством новых изделий с целью реализации в структуре ТРИП-эффекта для значительного упрочнения без потери пластичности;

создана система практических рекомендаций в виде разработанных режимов термической обработки для сталей Х12МФЛ, 95Х18, 70Х2ГСМЛ, 150ХНМЛ, 100Х18, 0Х18А1.2, 135СГЛ и чугунов 300Х2Н4, 260Х16М2 и 250Х25МФТ при необходимости создания диссипативной структуры с деформационно-метастабильным аустенитом;

представлены технологические рекомендации по выбору температуры закалки запатентованной ТРИП-стали 03Х14Н11К5М2ЮТ и ряда промышленно используемых сталей (100Х18, 150ХНМЛ, Х12МФЛ) и чугунов (300Х2Н4, 260Х16М2, 250Х25МФТ), а также сталей 0Х18А1.2, 70Х2ГСМЛ, 135СГЛ для прогноза их износостойкости и срока службы в отливках.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ результаты получены на сертифицированном оборудовании, измерения проведены в соответствии с требованиями стандартов, показана воспроизводимость результатов исследования в производственных условиях, контроль, полупромышленные и промышленные испытания об-

работанных деталей проведены в ООО «Медтехника» (г. Казань), ООО «УЗ-ТЕРМО», ООО «Уралмаш НГО Холдинг» (г. Екатеринбург);

теория построена на фундаментальных положениях теории фазовых превращений и термической обработки и не противоречит им, согласуется с опубликованными экспериментальными данными ведущих исследователей по теории и практике деформационной, фрикционной и термической обработки;

идея базируется на обобщении передового опыта применения ТРИП-сталей, поверхностного упрочнения деталей машин, работающих в условиях интенсивного абразивного износа, анализе технических требований к упрочненной поверхности, а также требований к технологии с учетом возможности внедрения в серийное производство;

использованы сравнения полученных автором данных с ранее полученными результатами экспериментальных исследований других авторов;

установлено качественное и количественное совпадение результатов, проведенных в диссертационной работе исследований и испытаний, полученных с использованием различных методик, с известными теоретическими и экспериментальными данными и общепринятыми научными представлениями о ТРИП-эффекте и мартенситной сверхпластичности;

использованы современные методики сбора и обработки исходной информации, сертифицированные измерительные системы, высокопроизводительные компьютерные комплексы и лицензионное специализированное программное обеспечение.

Личный вклад соискателя состоит в:

непосредственном участии при проведении аналитического обзора отечественной и зарубежной литературы по теме получения структур диссипативного типа при термической и деформационной обработке конструкционных материалов, патентной проработке различных способов упрочнения деталей машин, разработке идеи реализации ТРИП-эффекта в высокоуглеродистых сплавах после высокотемпературной закалки и новых технических решений ее реализации, постановке цели и задач, а также формулировке выводов и положений, выносимых на защиту, проведении теоретических и экспериментальных исследований влия-

ния режимов термической и деформационной обработки материалов различных структурных классов, апробации результатов работы в производственных условиях, интерпретации результатов исследований, подготовке публикаций по теме диссертации.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания

ведущей организацией:

1. Требует пояснения, что понимается под успешными полупромышленными испытаниями предлагаемой стали с точки зрения достигнутого результата.

2. Целесообразным было бы разделить первую главу на более узкие по содержанию части, что только бы улучшило восприятие всей работы в целом.

3. В диссертации не описано, что представляет собой χ-фаза, какова ее кристаллическая решетка, условия появления и свойства, как она может влиять на свойства сталей. Какое влияние на технологические или эксплуатационные свойства исследуемых сталей оказывает установленное в работе снижение температурного интервала выделения χ-фазы при уменьшении концентрации в них кобальта.

4. Для исследования релаксационной стойкости следовало бы использовать более современное оборудование и методики.

5. Как объясняется выбор высокотемпературной закалки с точки зрения роста зерна?

6. В докладе не раскрыт механизм формирования метастабильного аустенита в высокоуглеродистой безникелевой коррозионностойкой стали.

7. Не представлены механические свойства метастабильного аустенита.

8. В выводе 2 диссертации показано, что структура метастабильного аустенита с чередующимися кристаллами дисперсного микро- и нанокристаллического трибологического мартенсита и остаточного аустенита представляет собой синергетическую систему, обладающую ТРИП-эффектом вследствие «мартенситной сверхпластичности». Однако, не раскрыты особенности прояв-

ления «мартенситной сверхпластичности», и неясно, что понимается под мартенситной сверхпластичностью?

9. В седьмой главе для интерпретации результатов экспериментов по сопротивлению абразивному изнашиванию показано применение статистической обработки, получено уравнение множественной регрессии: HV50изн=383-234·%C-50·%Mn-24·%Cr+3,5·%Ni-40·%Mo+91·%Si. Исходя из этого уравнения, автор утверждает, что столь значимое влияние кремния на фрикционное упрочнение поверхности, очевидно, объясняется тем, что при деформации, как и при охлаждении, кремний понижает энергию дефектов упаковки. В тоже время, в табл. 5 приведены данные для чугунов 250Х25МФТ и 260Х16М2, в химическом составе которых нет кремния. Значит, некорректно применять вышеприведенное уравнение для указанных сплавов. В других сталях Х12МФЛ и150ХНМЛ содержание углерода в 6,0 раза больше кремния. Кроме того, далее в диссертации отмечено, что чем больше после закалки остаточного аустенита и выше содержание в нем углерода, тем больше увеличение износостойкости. Исходя из вышеизложенного, непонятно, чем объясняется значимое влияние кремния на износостойкость стали по сравнению с углеродом? По-видимому, в дальнейшем потребуется корректировка уравнения с целью более четкой оценки как отдельного, так и совместного влияния различных факторов совершенствования химического состава сплавов на их абразивную износостойкость с помощью комплексного показателя – микротвёрдости рабочей поверхности после изнашивания.

официальным оппонентом Калининым Г.Ю.:

1. Вопрос по главе 2: поскольку упругие элементы изготавливают путем навивки, резки, вырубки проволоки или ленты, обязательным этапом технологического процесса становится деформационная обработка материала для получения заготовок нужных размеров. При производстве проволоки тонких диаметров не возникает технологических проблем, поскольку волочение обеспечивает и деформационное упрочнение стали, и получение требуемого диаметра. Для изготовления проволочных заготовок средних и больших диаметров (4,0-6,0 мм) из метастабильных аустенитных сталей необходим иной подход, за-

ключающийся в упрочнении заготовки без существенного изменения размеров поперечного сечения. Можно ли использовать разработанную сталь с точки зрения указанного подхода?

2. Как отмечает автор, с увеличением температуры нагрева под закалку от 900 до 1170°С количество остаточного аустенита в исследованных сталях растет практически от 0 до 95 %, что должно сопровождаться монотонным возрастанием сопротивления износу при выбранных условиях изнашивания. Однако на рис. 3.3 (стр. 99 диссертации) при увеличении нагрева от 1050 до 1170°С относительная износостойкость практически не изменяется. С чем это связано?

3. С повышением температуры закалки у исследуемых сталей свыше 1050°С помимо увеличения количества остаточного аустенита происходит и увеличение исходного зерна самого аустенита (рис. 3.5, стр. 102; рис. 3.10, стр. 112), что должно сопровождаться снижением сопротивления пластической деформации. Поэтому, как показано в работах Ю. А. Геллера, не может быть одинаковой оценка влияния на износостойкость без учёта влияния величины напряжений, возникающих при эксплуатации.

4. Автор отмечает (стр. 119 диссертации, табл. 3.1), что с увеличением температуры нагрева под закалку в исследованном интервале температур происходит монотонное снижение температуры начала мартенситного превращения $M_н$ для всех изученных сплавов, причём для сталей 95Х18 и 0Х18А1.2 практически до нуля. Как были использованы полученные результаты в контексте темы диссертации?

5. Вопрос по главе 3: «Увеличение температуры нагрева вызывает постепенное растворение вторичных карбидов M_7C_3 в стали Х12МФЛ и $M_{23}C_6$ в стали 95Х18 (стр. 120). Это приводит к увеличению γ-фазы в стали Х12МФЛ от 0 до 60 % и в стали 95Х18 от 0 до 95 % при температурах закалки 900°С и 1170°С соответственно (таблица 3.1)». Справедливо ли утверждать, что при нагреве до 1170°С в аустените полностью растворяются специальные карбиды?

6. Вопрос по главе 4: «При значительном повышении температуры нагрева под закалку происходит обезуглероживание поверхности деталей». Не огра-

ничит ли это возможности их широкого применения? Какова логическая связка между главами 3 и 4?

7. Зачем надо было организовывать такую сложную технологию обработки сталей ($T_{зак.}$ = 1170°С → масло → обработка холодом при -70°С), когда требуемую структуру можно было получить только за счёт выбора температуры нагрева под закалку?

8. В чём цель проведения отпуска после закалки от 1000 и 1170°С? Эту операцию следует рассматривать как отмену обработки холодом или автор преследовал какие-то другие цели, которые следует изложить при ответе на этот вопрос.

9. Замечание по главе 8: нет понимания целесообразности выделения этого материала в отдельную главу, подраздел 8.2 диссертации не раскрывает суть заявленных притязаний автора.

официальным оппонентом Даниловым В.И.:

1. Выводы по работе в целом и по главам аморфные и изобилуют излишними подробностями, которые уже были изложены в тексте. Это мешает оценить, достигнута ли заявленная цель, найдены ли технологические решения для повышения износостойкости сталей и сплавов путем использования ТРИП-эффекта. Так, например, в выводе 3 по главе 2 на стр. 91 автор только констатирует, что содержание Со контролирует ТРИП-эффект, но не говорит о причинах, хотя именно это соответствует цели диссертационного исследования и, судя по тексту, эти причины могли бы быть раскрыты.

2. В качестве элемента новизны на странице 10 (введение), а затем на странице 194 (глава 7) автор приводит уравнение, отражающее экспоненциальную зависимость между скоростью прироста относительной износостойкости и содержанием α-фазы. Не ясно, как оно получено. Ссылка на график рис. 7.3, стр. 194 ничего не поясняет, потому что на нем нет экспериментальных точек.

3. Почему автор рассчитывает истинную деформацию при волочении (стр. 61) как $e = 2\ln(d_0/d)$? Если условная деформация $\varepsilon \approx d_0/d$, то должно быть $e = \ln(1+\varepsilon) = \ln[1+(d_0/d)]$.

4. На стр. 67 автор утверждает: «На сталях с пониженным содержанием кобальта при более низкой степени суммарной пластической деформации наступает потеря пластичности, что проявляется в отсутствии различия в значениях временного сопротивления разрыву ($\sigma_в$) и предела текучести ($\sigma_{0,2}$)» Но именно требование близости этих параметров предъявляется к ТРИП-сталям. Для пояснения своего утверждения следовало бы привести диаграммы ($\sigma - \varepsilon$) для разных степеней обжатия, чтобы оценить вклады ТРИП-эффекта в общую пластичность у обеих сталей.

5. На стр. 74 приводится утверждение: «Терморентгенографический анализ, несмотря на не высокую степень деформации осаживанием, показал, что в структуре присутствует ГЦК фаза, а существование ОЦК-мартенсита деформации отмечается лишь до температуры 600°С, как было показано ранее, фаза, выделяющаяся из ОЦК-твердого раствора является упрочняющей и расшифровывается как NiAl, растворяясь выше 500°С интерметаллиды инициируют $\alpha \rightarrow \gamma$ превращение; выше 600°С структуре – аустенит». Предложение, по-видимому, не согласовано. Но еще при этом возникает вопрос о природе и количестве ГЦК-фазы. Если это метастабильный аустенит, то его присутствие можно рассматривать как дополнительный резерв износостойкости.

6. В выводе 3 на стр. 162 автор констатирует, что сталь 135СГЛ после закалки от 900°С в процессе отпуска сохраняет на 1-2 единицы HRC более высокую твёрдость до температуры 600°С, чем после высокотемпературной закалки с остаточным аустенитом и не проявляет способности к дисперсионному твердению при отпуске с нагревом до 700°С. Нужно ли проводить отпуск, и как температура отпуска повлияет на сопротивление износу?

7. Автор неверно цитирует работы Л.Б. Зуева и С.А. Баранниковой, в которых идет речь не о волнах, а об автоволнах (стр. 190). Автоволны – объекты во много разные, а иногда и противоположные волнам, могут возникать только в активных диссипативных средах, поэтому связаны с пластической деформацией. Пластическая деформация по своей природе и по определению может только возрастать или оставаться неизменной в любом элементе деформируе-

мого объекта. Меняться, в том числе и на противоположную, может лишь скорость пластической деформации.

8. Почему параграф 5.1. называется «Особенности применения углеродистых инструментальных сталей», когда речь в нем идет исключительно о чугунах? Непонятно, какую роль он играет в работе, если это общие рассуждения о графитизированных чугунах?

9. Небрежно выполнены рисунки 2.7 и 2.8. Положение пиков критически важных фаз отмечено неточно.

10. На страницах 38 и 39 дважды приведен один и тот же абзац о снижении трещиностойкости с понижением температуры испытания до -196°С.

11. Рисунки 2.36-2.38 неразборчивы, не было смысла их приводить. Если нет полюсных фигур, следовало бы ограничиться таблицами 2.4-2.6.

12. На стр. 104 не понятен смысл предложения «Суммарное количество мартенсита на поверхности изнашивания после закалки от 1170°С, по данным рентгеноструктурного анализа, меняется на противоположное: если в исходном перед испытанием состоянии количество мартенсита составляло 20 %, то в результате изнашивания возросло до 95 %.»

13. На страницах 111 и 112 автор приводит тривиальное описание изменения структуры и субструктуры стали 12ХНМЛ при разных температурах аустенизации, которое уместно в учебнике, а не в диссертации.

14. В выводе 2 на стр. 186 автор заявляет: «Увеличение износостойкости обусловлено высокой способностью к упрочнению рабочей поверхности – микротвердостью ($HV_{50изн}$), возрастающей от 8,9 до 10,1 ГПа после высокотемпературной закалки…». Как сопротивление изнашиванию может быть обусловлено микротвердостью?

официальным оппонентом Салищевым Г.А.:

1. В работе было исследовано 15 сплавов. Большая часть их существенно отличалась друг от друга химическим составом и структурой. Но ко всем сплавам был применен практически один и тот же методический подход: поиск подходящей температуры для закалки и образования определенной доли метастабильного остаточного аустенита. Почему недостаточно было выбрать всего

лишь несколько представительных систем, их исследовать и разработать научно-обоснованный поход для повышения износостойкости высокоуглеродистых сплавов?

2. Автором были достаточно точно выявлены особенности структурных изменений в ходе пластической деформации при абразивном износе. Однако, хотя дефектная и фазовая структура были исследованы и выявлены ряд ее особенностей, остается неясным, почему не обнаруживаются выделившиеся при деформации карбиды? При абразивном износе имеет место достаточно очевидное повышение температуры в области контакта, а метастабильный аустенит содержит неравновесную концентрацию углерода, так что образование карбидов вполне возможно.

3. На страницах 25-27 приведены рисунки 2.1-2.3, к которым практически отсутствует описание. То же самое на стр. 102. Рис. 3.5.

4. Стр. 96. Фрагмент предложения «…фазовый наклёп с повышением предела текучести аустенита…». Вероятно, автор хотел написать - … фазовый наклеп приводит к росту предела текучести?

5. Стр. 98. Фрагмент предложения «...Значительное содержание остаточного аустенита до 20 % после закалки от 1170°С образуется за счет растворения карбидов (с хромом) …». Можно только догадаться, что вероятно растворение карбидов при температуре закалки изменило соотношение фаз в пользу аустенита, а рост его легированности повысило его стабильность, так?

6. Глава 3, вывод 5. Фрагмент: «…как следствие, увеличению прокаливаемости (отливок сечением до 50 мм) и теплостойкости с сохранением твёрдости до температуры отпуска 500°С в стали 70Х2ГСМЛ и до температуры отпуска 400°С в стали 150 ХНМЛ, что положительно влияет на износостойкость...». Надо полагать, что только рост теплостойкости влияет на износостойкость?

7. Стр. 193. Написано: Зависимость степени развития ДМП от количества метастабильного аустенита в структуре поверхности при изнашивании (7.2) показывает значительный прирост износостойкости по мере развития ДМП в сплавах после высокотемпературной закалки. Стилистически неверное предло-

жение. Между тем в уравнении 7.2 указана, что величина α - доля мартенсита после высокотемпературной закалки, тогда как в приведенном предложении указано, что …зависимость степени развития ДМП от количества метастабильного аустенита в структуре поверхности при изнашивании (7.2) …

8. Стр. 194. Написано: «Иными словами, чем больше после закалки поверхности остаточного аустенита и выше содержание в нем углерода, тем больше прирост износостойкости». Вероятно, автор хотел написать…чем больше после закалки остаточного аустенита…?

9. Стр. 194. Рисунок 7.3. Ни в подрисуночной подписи, ни на графике не написано, что за обозначения представлены.

10. Стр. 195. Таблица 7.2 Название таблицы: Содержание углерода и микротвердость рабочей поверхности сплавов после испытания на изнашивание. Грамматически неверное написание названия. Две ошибки: содержание углерода может быть в сплавах, а рабочей поверхности у сплавов нет. Должно быть, например: Содержание углерода в сплавах и микротвердость рабочей поверхности образцов после испытания на изнашивание.

11. Общее замечание. Текст диссертации плохо отработан, содержит много ошибок, неточностей.

Соискатель Шарапова В.А. ответила на заданные ей в ходе заседания вопросы и привела собственную аргументацию, дополнила информацию по следующим направлениям исследований: о полезности использования высокотемпературной закалки с целью получения достаточного количества метастабильного остаточного аустенита; методическим положениям по выбору и расчету уравнений множественной регрессии; оценке актуальности, научной значимости и новизны работы; определению аспектов экономической целесообразности при освоении высоколегированных ТРИП-сталей; расширению области применения предлагаемых режимов высокотемпературной закалки. В ответах приведена трактовка понятий «микро-ТРИП-эффект», «мартенситная сверхпластичность», «прирост относительной износостойкости». Соискатель подробно ответила на вопрос о тех ограничениях для деталей, которые потребовались при переходе на новую технологию. Они включали рекомендации по применению де-

талей в условиях чисто абразивного изнашивания, по ТВЧ-закалке поверхности рабочего слоя детали с сохранением градиентной структуры, по миниатюризации изделий из дорогостоящей мартенситностареющей ТРИП-стали. Решения по внедрению высоколегированной ТРИП-стали позволяют также значительно сократить число промежуточных отжигов при волочении проволоки. Соискатель, отвечая на вопрос о том, что понимается под успешными полупромышленными испытаниями широко применяемых марок стали с точки зрения достигнутого результата, показала, что результаты использованы «Уралмаш НГО Холдинг» при изготовлении опытной партии цилиндрических втулок из стали Х12МФЛ, которые прошли закалку внутренней рабочей поверхности ТВЧ с нагревом до 1120-1170ºС и охлаждением струей сжатого воздуха, показав продолженную эксплуатационную стойкость на нефтяных месторождениях в Ямало-Ненецком и Ханты-Мансийском автономных округах при работе в течение 960 часов, будучи снятыми в годном состоянии.

В ответах на замечания, содержащиеся в отрицательном отзыве, соискатель Шарапова В.А. привела следующие аргументы:

- Нельзя согласиться с рецензентом об отсутствии актуальности представленной работы. ТРИП-эффект и его применение – тематика, не теряющая своей актуальности во всем мире, т.к. важна и для автомобильной промышленности, и для производства медицинских изделий, и для броневых сталей и т.д. В работе не идет речь о замене стали 110Г13Л, а говорится о том, что марганцовистые стали не работают в условиях чисто абразивного изнашивания. Сталь 03Х14Н11К5М2ЮТ предлагается, поскольку показывает рекордные (по сравнению с публикациями других авторов) сочетания способности к упрочнению при сохранении более чем удовлетворительной пластичности и обладает ярко выраженным ТРИП-эффектом. Объединять различные классы марок сталей нужно именно по наличию сходных эффектов, выявление сходных эффектов как раз может и должно составлять научную новизну работы. Тем более, что литературных данных о наличии ТРИП-эффекта в углеродистых сталях и доказательств микро-ТРИП-эффекта в

структуре рабочего слоя поверхности деталей из высокоуглеродистых сплавов не представлено.

- Вначале обработанными по предложенному режиму испытывали втулки из стали Х12МФЛ, которая является более широко распространённой, чем чугун 260Х16М2. Это объясняет, почему изделия из стали были исследованы и внедрены раньше, чем изделия из чугуна.

- Результаты кандидатской можно использовать в докторской диссертации, но это должно быть не просто продолжение работы, а именно расширение области исследований. Я считаю, что мы с этим требованием ВАК справились. Что касается промышленного освоения ТРИП-стали, а тем более внесения «медицинской» стали в стандарт, в отечественной практике эти процессы занимают десятилетия. Рентабельность дорогостоящей ТРИП-стали обеспечивается значительным сокращением числа промежуточных отжигов при волочении. Экономические расчеты – это коммерческая тайна предприятия. Было бы удивительно, когда организации на грани банкротства или ООО с уставным капиталом 10 тыс. руб., выдают акты с миллионным эффектом. Отсутствие данных по экономическому эффекту внедрения только подтверждает честность автора и реальность полученных результатов.

- Износостойкость образцов оценивали по ГОСТ 30480-97 при трении по закреплённому абразиву. Методика реализована на специальной установке: образцы с рабочей поверхностью 10×10 мм совершали возвратно-поступательное движение по шлифовальной бумажной шкурке 14А32МН481 (ГОСТ 6456-82) на корундовой основе со скоростью 0,158 м/с. Нагрузка на образец составляла 10 кг (удельная нагрузка 1 МПа). Контртело для сталей – валковая сталь 9Х5МФС после закалки от 900°С и низкого отпуска на твердость 60 HRC, для чугунов – сталь У7 со структурой сорбита и твёрдостью 37 HRC. При сравнении с азотистой сталью – аустенитная сталь 110Г13Л после закалки от 1050ºС в воду с твердостью 22 HRC. Результаты испытаний приведены как средние потери массы образцов по двум испытаниям. Следование государственным стандартам обеспечивает единообразие и повторяемость испытаний, и гарантирует получение сравни-

мых и надежных результатов. Изыскания автора подтверждены актами внедрения и реальным результатом.

- Была использована установка отечественного производства на базе строгального станка. В работе указано, что износостойкость образцов оценивали по ГОСТ 30480-97 при трении по закреплённому абразиву. Использовались высокоточные аналитические электронные весы AND GF-403A с точностью до 4-го знака, с погрешностью 0,01 г. Длина одного рабочего хода образцов составляла 0,135 м, путь трения образца за одно испытание при скорости движения 0,158 м/с составлял 60 м. Нормальная нагрузка, действующая на образец, – 10 кг (удельная нагрузка 1 МПа). Величина поперечного смещения шлифовальной бумаги за один двойной ход образца равнялась 1,2 мм. Частичное перекрытие поверхности при испытании по свежей шкурке на всех сталях даёт хорошо воспроизводимые результаты, а больший перескок после двойного хода патрона с образцом по уже истёртой части дает еще большую погрешность, поэтому принято смещение на 1,2 мм. Результаты сопоставимы по литературным данным с результатами других авторов.

- Данное уравнение представляет собой модель, по которой можно оценить скорость прироста относительной износостойкости в зависимости от фазового состава после закалки. Сначала по экспериментальным данным таблицы 7.1 было получено уравнение линейной регрессии, а за тем подобрано наиболее подходящее к нему экспоненциальное уравнение. Экспоненциальный характер зависимости выбран, исходя из соображений, что все процессы зарождения в природе, в том числе образование новой фазы имеют скачкообразный экспоненциальный рост. Моделирование применяется в ситуациях, где прямое, натурное исследование или эксперимент невозможен или нецелесообразен (например, измерение скорости деформационного мартенситного превращения в тонком слое поверхности). Поэтому на рис. 7.3 нет экспериментальных точек на кривой, и проверить уравнение, просто подставив данные из таблицы, невозможно.

- Уравнение регрессионной зависимости вынесено в практическую значимость. Уравнение описывает увеличение микротвердости после

испытаний на изнашивание, т.е. способность стали к деформационному упрочнению поверхности в результате γ→α′ деформационного превращения. По А.В. Макарову: при переходе углерода в твердый раствор он не только повышает прочность стали за счет твердорастворного упрочнения, но и эффективно закрепляет дислокации, тем самым упрочняя и стабилизируя структуру деформированного слоя поверхности к деформационному превращению. Марганец также стабилизирует аустенит к деформационному упрочнению, а кремний понижает энергию дефектов упаковки, интенсифицируя деформационное превращение.

- Модель строилась по результатам испытаний на изнашивание образцов с 0,7% С и выше, подвергнутых высокотемпературной закалке, как нестандартному способу термической обработки для этих сталей, причем для деталей рекомендован кратковременный ТВЧ-нагрев рабочей поверхности. Среднеуглеродистые легированные конструкционные стали для улучшения механических свойств, таких как прочность и ударная вязкость подвергают нормализации.

- В подавляющем большинстве случаев при печной термообработке, высокочастотной закалке и сварке превращение протекает в условиях непрерывного охлаждения. Использование диаграмм изотермического превращения для анализа кинетики превращения аустенита при непрерывном охлаждении путем простого наложения кривых охлаждения на диаграмму показало отсутствие количественного соответствия как между температурными интервалами превращения, так и между образующимися структурами. В связи с этим С.С. Штейнбергом был предложен приближенный метод расчета температуры начала превращения аустенита, длительности инкубационного периода и критической температуры закалки при непрерывном охлаждении по данным диаграмм изотермического превращения. Позднее А.П. Гуляев и К.А. Осипов распространили расчетную методику С. С. Штейнберга на интервал температур перлитного превращения. Формула перевода основана на принципе эквивалентности превращений при непрерывном и изотермическом

охлаждении. Непрерывное охлаждение можно рассматривать как ступенчатое с малыми равными остановками при каждой температуре. Такие диаграммы есть во всех классических учебниках С.С. Штейнберга, А.П. Гуляева, М.Е. Блантера.

- Экспериментальные данные были получены на дилатометре Шевенара, затем примерные (в диапазоне) скорости были нанесены на изотермическую диаграмму. При охлаждении на воздухе речь идет об обдуве сжатым воздухом, а не о спокойном воздухе. Ось абсцисс подписана верно.

- Согласна с замечаниями по оформлению, но не могу согласиться с заявлением о недостаточном анализе результатов исследования.

Соискатель Шарапова В.А. согласилась с замечаниями по оформлению, носящими рекомендательный характер, а также с замечаниями, касающимися результатов исследований, в частности, необходимости уточнения причин, по которым Со контролирует ТРИП-эффект, и что, судя по тексту диссертации, эти причины могли бы быть раскрыты. Требуют более детальных исследований выявленные математические зависимости значений микротвердости поверхности после испытаний на изнашивание от химического состава сплава, а также скорости прироста износостойкости от фазового состава после закалки, что позволит расширить область их применения. Следует продолжить совершенствование технологических процессов применения сталей с ТРИП-эффектом и усилить работу с предприятиями. В связи с тем, что внедрение данной технологии не освоено отечественной промышленностью.

На заседании 27 мая 2025 года диссертационный совет принял решение за новые научно обоснованные технологические решения по применению высокотемпературной закалки для упрочнения и повышения износостойкости материалов и практике выбора эффективных режимов термической обработки для формирования резервов деформационно-метастабильного аустенита в структуре высокоуглеродистых сталей и чугунов с целью реализации в них ТРИП-эффекта, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие горно-металлургической и машиностроительной отраслей страны, присудить Шараповой В.А. ученую степень доктора технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 8 докторов наук по научной специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 15, против нет, недействительных бюллетеней нет.

Председатель
диссертационного совета Чукин Михаил Витальевич

Ученый секретарь
диссертационного совета Полякова Марина Андреевна

« 27 » мая 2025 г.