

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.111.05, 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 КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от «15» марта 2022 г. № 3

О присуждении Кузнецовой Алле Сергеевне, Российская Федерация, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Формирование структуры и свойств экономнолегированных высокопрочных хладостойких сталей 20Г2СМРА и 16ГНТРА для тяжелой подъемно-транспортной техники» по специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов принята к защите 28.12.2021 г. (протокол заседания № 17) диссертационным советом Д 212.111.05, 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 № 717/нк от 09.11.2012 г.

Соискатель Кузнецова Алла Сергеевна, «18» октября 1986 года рождения,

В 2009 году соискатель окончила государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» по специальности «Порошковая металлургия, композиционные материалы, покрытия».

В период подготовки диссертации соискатель Кузнецова Алла Сергеевна в 2012 году окончила аспирантуру государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» по специальности 05.02.23 – Стандартизация и управление качеством продукции

работает младшим научным сотрудником инжинирингового центра научно-инновационного сектора федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Магнитогорский государственный

технический университет им. Г.И. Носова», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре технологий обработки материалов, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук, Полецков Павел Петрович, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», кафедра технологий обработки материалов, профессор.

Официальные оппоненты:

Крылова Светлана Евгеньевна, доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет», кафедра материаловедения и технологии материалов, профессор,

Маковецкий Александр Николаевич, кандидат технических наук, ПАО «Трубная Металлургическая Компания», отдел труб энергетического комплекса и специальных видов труб, начальник отдела
дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь в своем положительном отзыве, подписанном Шацовым Александром Ароновичем, доктором технических наук, профессором, кафедра «Металловедение, термическая и лазерная обработка металлов», профессор, указала, что «... диссертация Кузнецовой Аллы Сергеевны на тему: «Формирование структуры и свойств экономнолегированных высокопрочных хладостойких сталей 20Г2СМРА и 16ГНТРА для тяжелой подъемно-транспортной техники» является законченной научно-квалификационной работой. Полученные результаты исследований представляют новые научно-обоснованные технические решения – экономически эффективные химические составы хладостойких сталей классов прочности 700 и 900 МПа и режимы их термической обработки, внедрение которых существенно повышает уровень потребительских свойств высокопрочного толстолистового проката, предназначенного для тяжелой подъемно-транспортной техники, эксплуатируемой в условиях низких климатических температур. Вместе с тем вносят значительный вклад в развитие предприятий

машиностроительного комплекса и способствуют повышению конкурентоспособности металлопродукции. Диссертация отвечает требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, п. 9-11, 13 и 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор, Кузнецова Алла Сергеевна, заслуживает присуждение ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Соискатель имеет 48 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 17 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 7 работ. Сведения об опубликованных работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации, достоверны. Авторский вклад соискателя объемом 2,0 п.л. в опубликованных работах общим объемом 10,56 п.л. состоит в постановке цели и задач исследований, планировании и проведении выплавки экспериментальных химических составов, формулировании основных положений и выводов по результатам лабораторных исследований закономерностей структурно-фазовых превращений при непрерывном охлаждении, закономерностей изменения микроструктуры и механических свойств при закалке и отпуске в новых экономнолегированных высокопрочных хладостойких сталях, научном обосновании выявленных зависимостей, подготовке научных статей к опубликованию в открытой печати.

Наиболее значительные публикации по теме диссертации:

1. Investigation of the effect of nickel content on the structural and phase transformation and properties of high-strength cold-resistant complex-alloyed steel / P.P. Poletskov, O.A. Nikitenko, A.S. Kuznetsova, Y.Y. Efimova // Journal of Chemical Technology and Metallurgy. – 2019. – 54 (6). – P. 1291–1297.

2. The study of influence of heat treatment procedures on structure and properties of the new high-strength steel with increased cold resistance / P.P. Poletskov, A.S. Kuznetsova, O.A. Nikitenko, D.Yu. Alekseev // CIS Iron and Steel Review. – 2020. – Vol. 20. – P. 50–54.

3. Разработка режимов термической обработки новой конструкционной экономнолегированной высокопрочной стали для Арктики и Крайнего Севера / П.П. Полецков, О.А. Никитенко, А.С. Кузнецова, Д.Ю. Алексеев // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2021. – № 4 (790). – С. 3-8.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. АО «Выксунский металлургический завод» (г. Выкса), подписанный д-ром техн. наук Эфроном Л.И. Замечания: 1. В автореферате не приведены исследование состояния бора и результаты, подтверждающие его эффективность. В особенности это относится к стали 20Г2СМРА, в составе которой используется бор без добавки титана. Следовало бы указать технологию ввода бора в сталь, обеспечивающую сохранение его в твердом растворе. 2. Не объяснен механизм снижения ударной вязкости стали 20Г2СМРА при температуре отпуска 300°C (рисунок 7 автореферата). 3. Сталь 16ГНТРА в работе рекомендовано применять после закалки без отпуска. По нашему мнению, следовало бы изучить склонность данной стали после закалки на мартенсит к замедленному разрушению.

2. ФГБУН Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук (г. Томск), подписанный д-ром техн. наук Созовой О.В. Замечание: На стр. 17 автореферата сообщается, что в работе определяли качественный и количественный анализ остаточного аустенита, однако результаты проведенных исследований не приведены. Что автор понимает под качественным анализом гамма-фазы?

3. ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» (г. Самара), подписанный д-ром техн. наук Муратовым В.С., канд. техн. наук Якубовичем Е.А. Замечания: 1. В автореферате отсутствуют пояснения обоснования выбора исследуемых количеств легирующих элементов в предлагаемых химических композициях состава сталей. Почему выбрано содержание, указанное в табл. 2 и 3, а не иное? 2. На графиках рисунков 4 и 7 не приведены доверительные интервалы полученных значений величин, что затрудняет оценку статистической значимости представленных зависимостей. 3. В п. 4 научной новизны и в 4 выводе по работе указано, что требуемый уровень свойств стали 20Г2СМРА достигается за счет формирования определенной микроструктуры как после проведения закалки, так и отпуска. Для стали же 16ГНТРА об особенностях микроструктуры после отпуска здесь ничего не говорится. Почему? Они не могут не влиять на уровень свойств.

4. ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)» (г. Челябинск), подписанный д-ром физ.-мат. наук Окишевым К.Ю. Замечание: Не вполне ясными остаются рекомендации по термической обработке стали 16ГНТРА: в табл. 8 не указан режим её отпуска. Между тем эта сталь должна быть склонна к обратимой отпускной хрупкости, и вопрос обеспечения ударной вязкости после окончательного отпуска имеет для нее серьезное значение.

5. ГНЦ ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей» НИЦ «Курчатовский институт» (г. Санкт-Петербург), подписанный д-ром техн. наук Ильиным А.В., канд. техн. наук Князюк Т.В. Замечания: 1. В работе исследуется формирование структуры и свойств новых сталей исключительно в зависимости от параметров термической обработки, минуя исследование важной стадии производства листового проката – горячей прокатки. Именно в процессе горячей прокатки формируется размер и форма аустенитных зерен, влияющих на превращенную структуру после термообработки и механические свойства. 2. Вызывает сомнение технико-экономическая эффективность разработанных сталей, поскольку выбранные композиции легирования приводят к значительному изменению себестоимости сталей по сравнению с другими экспериментальными плавками и зарубежными аналогами (для стали 20Г2СМРА – на 15,2%, для стали 16ГНТРА – на 16,9%,). 3. Не указано, на каком промышленном стане изготавливались опытные партии листового проката.

6. ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана» (НИУ) (г. Москва), подписанный канд. техн. наук Плохих А.И. Замечания: 1. Исходя из результатов исследований, представленных в главе 3, в качестве наиболее подходящего указан химический состав №5 (для стали класса прочности 700 МПа), однако данный выбор не очевиден. При удовлетворительных показателях прочности, образцы композиции №3 по вязкости и пластичности, превосходят композицию №5 при существенном снижении себестоимости. 2. Насколько целесообразно в работе было построение термокинетических диаграмм фазовых превращений, если термическая обработка осуществлялась как отдельная технологическая операция?

7. ГНЦ РФ ФГУП «ЦНИИЧермет им. И.П. Бардина» (г. Москва), подписанный д-ром техн. наук Матросовым Ю.И. Замечания: 1. В таблицах 1, 5 и 9 некорректно указаны значения твердости в единицах НВW. Данная аббревиатура относится к единицам измерения при твердости материала более 450 единиц НВ и при использовании твердосплавного шарика, в то время, как значения, представленные в таблицах 1, 5 и 9, менее 450 НВ. 2. В автореферате не приведен сортамент (толщина) листового проката, исследованного в лабораторных и изготовленного в опытно-промышленных условиях.

8. ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (г. Уфа), подписанный д-ром физ.-мат. наук Гундеровым Д.В. Замечания: 1. Непонятно, на основе каких данных принято удельное время нагрева металла, равное 2,5 мин/мм при промышленном освоении сталей. 2. В таблице 1 –

требования – есть показатель твердость HV, при этом в результатах сдаточных испытаний (табл. 9) данный параметр не определен.

9. ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет» (г. Липецк), подписанный д-ром техн. наук Мазуром И.П. Замечания: 1. В соответствии с таблицей 1 автореферата одним из требований, предъявляемых к комплексу свойств разрабатываемых сталей, является достижение заданного уровня твердости HV. Однако, значения рассматриваемого показателя, достигнутые при проведении сдаточных испытаний, не представлены в таблице 9 автореферата. 2. Масштаб осей и качество рисунков 7 и 10 автореферата усложняют процесс анализа значений ударной вязкости KCV, достигаемых при различных режимах термической обработки.

10. ФГБУН Институт физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук (г. Екатеринбург), подписанный канд. техн. наук Хлебниковой Ю.В. Замечание: Из текста автореферата не ясно, на сколько снижена себестоимость листового проката из разработанных сталей по сравнению с известными отечественными и зарубежными аналогами.

11. ПАО НПО «Искра» (г. Пермь), подписанный канд. техн. наук Подузовым Д.П. Замечания: 1. Из текста автореферата не вполне ясно, чем обоснован выбор проката классов прочности 700 и 900 МПа. 2. В тексте автореферата не приведены данные о прокаливаемости исследуемых сталей.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их известными систематическими исследованиями и научными работами в области металловедения, формирования структурно-фазового состояния и эксплуатационных свойств высокопрочных сталей, разработки оптимальных химических составов сталей, исследования структурообразования и свойств низколегированных сталей при термическом влиянии, о чем свидетельствуют публикации в ведущих рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ, и изданиях, индексируемых в Scopus и Web of Science. Это подтверждает их способность квалифицированно определить и оценить научную и практическую новизну исследований.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана научная концепция выбора химических составов высокопрочных хладостойких сталей на базе систем экономного легирования, предназначенных для тяжелой подъемно-транспортной техники, обеспечивающих в сочетании с рациональными режимами термической обработки формирование мелкодисперсного

речного мартенсита с небольшими прослойками остаточного аустенита при закалке, а также субзеренной структуры α -фазы и высокодисперсных карбидных частиц при отпуске, гарантирующей достижение в листовом прокате свойств класса прочности 700 МПа; формирование мелкодисперсного речного мартенсита с небольшими прослойками остаточного аустенита при закалке, гарантирующей достижение в листовом прокате свойств класса прочности 900 МПа;

предложен нетрадиционный подход к выбору наиболее экономичных химических составов высокопрочных хладостойких сталей классов прочности 700 и 900 МПа с учетом снижения себестоимости готовой продукции и соответствия углеродному эквиваленту;

доказана перспективность использования новых химических составов и режимов термической обработки высокопрочных хладостойких сталей, что позволило освоить производство нового вида стального проката в условиях ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат»;

введены в научную практику термокинетические диаграммы распада переохлажденного аустенита разработанных сталей 20Г2СМРА и 16ГНТРА.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказано, что формирование мелкодисперсного речного мартенсита с небольшими прослойками остаточного аустенита при закалке, а также субзеренной структуры α -фазы и высокодисперсных карбидных частиц при последующем отпуске гарантирует получение свойств класса прочности 700 МПа в листовом прокате из стали 20Г2СМРА, содержащей (мас. %): 0,20 С; 0,55 Si; 1,6 Mn; 0,3 Mo; 0,004 В; формирование мелкодисперсного речного мартенсита с небольшими прослойками остаточного аустенита при закалке гарантирует получение свойств класса прочности 900 МПа в листовом прокате из стали 16ГНТРА, содержащей (мас. %): 0,15 С; 0,22 Si; 1,3 Mn; 0,5 Ni; 0,023 Ti; 0,004 В;

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 (сканирующая и просвечивающая) микроскопия, рентгеноструктурный анализ; методы исследования критических точек, распада переохлажденного аустенита стали и построения термокинетических диаграмм; методы проведения испытаний образцов листового проката на растяжение, ударный изгиб, измерения твердости и микротвердости;

изложены данные о структурно-фазовых превращениях, включающие качественные и количественные характеристики структуры, температуры фазовых превращений, критические скорости закалки, твердость формирующихся структур при различных скоростях охлаждения сталей 20Г2СМРА и 16ГНТРА;

раскрыты особенности формирования структуры, отражающие влияние режимов термической обработки на уровень прочности и хладостойкости сталей 20Г2СМРА и 16ГНТРА. На основании полученных данных определены рациональные режимы термической обработки, обеспечивающие гарантированное достижение требуемых прочностных характеристик в комплексе с низкотемпературной ударной вязкостью: для стали 20Г2СМРА – закалка от температуры 860°C и последующий отпуск при температуре 600 °С, для стали 16ГНТРА – закалка от температуры 850°C;

изучены кинетика фазовых превращений, протекающих в различных температурно-временных интервалах при непрерывном охлаждении, закономерности формирования структуры и свойств сталей при закалке и отпуске;

проведена модернизация подхода к выбору химического состава высокопрочных хладостойких сталей, обеспечивающего одновременное снижение себестоимости с достижением сложносочетаемого комплекса свойств металлопродукции.

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

разработаны и внедрены технологии производства высокопрочного листового проката из экономнолегированных хладостойких сталей 20Г2СМРА и 16ГНТРА в условиях ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат»;

определены пределы и перспективы практического использования термокинетических диаграмм распада переохлажденного аустенита сталей 20Г2СМРА и 16ГНТРА – для разработки технологий производства листового проката из низколегированных низкоуглеродистых сталей с дополнительным требованием по углеродному эквиваленту;

создан подход к выбору химического состава сталей, который основан на одновременной оценке механических характеристик, углеродного эквивалента и себестоимости стали;

представлены технологические рекомендации применительно к условиям стана 5000 ПАО «ММК», включающие химический состав и режимы термической обработки листового проката классов прочности 700 и 900 МПа из экономнолегированных хладостойких сталей, в результате использования которых достигнуто

снижение себестоимости готового металлопроката на 28,9 % (для стали 20Г2СМРА) и на 18 % (для стали 16ГНТРА).

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ использовано сертифицированное оборудование и показана воспроизводимость результатов исследования в условиях ООО «ИЦ Термодеформ-МГТУ» и ЦКП НИИ «Наносталей», ФГБУН Институт физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук (г. Екатеринбург), промышленные испытания проведены в условиях ПАО «ММК»;

теория диссертационной работы построена на фундаментальных положениях теории фазовых превращений и термической обработки и не противоречит им, согласуется с опубликованными экспериментальными данными по исследованиям закономерностей формирования структуры и свойств высокопрочных хладостойких сталей для тяжело нагруженных сварных конструкций;

идея базируется на обобщении передового опыта производства высокопрочного толстолистового проката, анализе технических требований к готовому продукту, спецификаций производителей, а также требований к технологии с учетом возможности производственного оборудования;

использованы сравнения полученных автором данных о формировании структуры и свойств высокопрочных сталей повышенной хладостойкости с ранее полученными результатами экспериментальных исследований других авторов;

установлена высокая сходимость результатов теоретических и лабораторных исследований с результатами, полученными в производственных условиях ПАО «ММК»;

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

Личный вклад соискателя состоит в формулировании цели и задач исследования, выборе систем экономного легирования высокопрочных хладостойких сталей классов прочности 700 и 900 МПа, планировании и проведении лабораторных экспериментов, изучении особенностей структурно-фазовых превращений и формировании свойств сталей, обработке и анализе результатов исследований влияния режимов термической обработки на структуру и механические свойства экономнолегированных высокопрочных хладостойких сталей, формулировании основных положений и выводов, разработке рекомендаций по промышленному

освоению новых высокопрочных экономнолегированных хладостойких сталей, подготовке публикаций по результатам диссертационных исследований.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания.

В отзыве ведущей организации:

1. В работе разработаны и исследованы новые экономнолегированные высокопрочные хладостойкие стали для тяжелой подъемно-транспортной техники. В связи с этим вызывает недоумение отсутствие у автора диссертации патентов на эти стали.

2. На рисунках 4.5 и 4.9, отражающих термокинетические диаграммы превращения переохлажденного аустенита стали 20Г2СМРА и 16ГНТРА, соответственно, имеется линия, упирающаяся в уровень твердости 264 HV для стали 20Г2СМРА и 262 HV для стали 16ГНТРА. При этом отсутствует пояснение, какое превращение происходит по этой линии?

3. По тексту диссертации имеются несоответствия, требующие пояснения:

- несоответствие данных рисунка 4.4 и утверждения (стр. 75) о стопроцентном формировании мартенситной структуры при скорости охлаждения $80^{\circ}\text{C}/\text{с}$;
- несоответствие некоторых данных таблицы 5.1 и рисунка 5.4.

4. В автореферат в последнее время обычно включают раздел «Степень разработанности проблемы», в котором перечисляют отечественных и зарубежных ученых, внесших наиболее значительный вклад в ее решение.

В отзыве официального оппонента С.Е. Крыловой:

1. Выбор оптимального химического состава осуществлен без применения методов математической статистики, что позволило бы наглядно продемонстрировать оптимумы содержания легирующего комплекса, показать приемлемые интервалы варьирования элементов, оценить их комплексное влияние на свойства. Очевидно, что автор в работе столкнулся с многофакторным экспериментом, не все варианты которого проработаны. Таблицы 3.1 и 3.4 содержат по 5 вариантов опытных составов для каждой разрабатываемой марки, которые базируются на базовых теоретических основах металловедения и металлургии и имеющемся опыте их получения и применения, однако с учетом введения нескольких микродобавок одновременно (3 и 4 фактора, соответственно) и зависимости от них целого комплекса свойств, математика бы позволила более доказательно определить химический состав искомого материала без дополнительных опытных плавок (по контрольным точкам матрицы планирования эксперимента).

2. Лабораторные условия выплавки значительно отличаются от производственных (использование Армко-железа, некоторых легирующих добавок в чистом виде, вакуумная плавка, малые объемы расплава и др.), что создает определенные трудности «попадания» в разработанный состав, особенно при микролегировании. Чем подтверждена сопоставимость результатов формирования структуры лабораторной и опытной промышленной партии на стадии кристаллизации и термической обработки? Выданы ли какие-либо рекомендации к промышленной выплавке с учетом вышеуказанных факторов?

3. Зафиксированы ли были точки M_k в новых сталях? Это позволило бы дополнительно обосновать количество Ауст в пределах 1% для обеих сталей. А так возникает вопрос, почему при разном легирующем комплексе и содержании углерода одинаковое количество аустенита? С какой погрешностью его определяли?

4. В работе отсутствуют данные по определению прокаливаемости разработанных сталей. До какого сечения справедливы будут заявленные свойства? Чем это подтверждено?

5. Не приведено обоснование отсутствия отпуска у стали 16ГНТРА.

6. В работе отсутствует четкое объяснение влияния 0,3 % Мо на структурообразование и механизм упрочнения (твердорастворное, карбидное упрочнение?) выбранной стали 20Г2СМРА на стадии получения и термической обработки. Рентгенофазовый анализ и просвечивающая микроскопия зафиксировала только карбиды цементитного типа? Какие соединения образует Мо? С какой точки зрения его введение необходимо и оправданно?

7. Одним из параметров выбора оптимального состава сталей заявлена экономическая целесообразность. Однако ни в выводах, ни в пункте про промышленную апробацию не отмечено, удалось ли с экономической точки зрения решить задачу? Какой экономический эффект это принесло?

В отзыве официального оппонента А.Н. Маковецкого:

1. В литературном обзоре (примечания под табл. 1.2, 1.3) приведены формулы для оценки углеродного эквивалента. Приведенные формулы не учитывают влияния бора на свариваемость. Вероятно, такие технические требования выдвинуты потребителем продукции, но корректно ли это? Не стоит ли провести оценку свариваемости с учетом влияния бора? Например, известная формула Ito-Bessyo учитывает влияние бора на склонность стали к образованию холодных трещин после сварки.

2. В разделе 3.1 предложено для максимального связывания азота и повышения эффективности легирования бором вводить в состав стали в количестве $Ti \geq 3,42N$. Такое легирование действительно приведет к связыванию азота, но рационально ли оно? Согласно современным представлениям («Influence of Al and Nb on Optimum Ti/N Ratio in Controlling Austenite Grain Growth at Reheating Temperatures» M. CHAPA, S. F. MEDINA, V. LÓPEZ and B. FERNÁNDEZ. ISIJ International, Vol. 42 (2002), No. 11, pp. 1288–1296) введение титана в количестве, превышающем стехиометрическое, не оптимально с точки зрения максимального измельчения зерна аустенита. Аналогичное мнение высказано в монографии Эфрона Л.И. «Металловедение в большой металлургии. Трубные стали». М.: Металлургиздат, 2012. На стр. 418 дано описание механизма роста зерна при отношении Ti/N выше стехиометрического. «При дальнейшем повышении содержания титана в стали формируется фаза TiC , имеющая более низкую температуру растворения и не обеспечивающая дополнительного эффекта в присутствии фазы TiN , при этом в связи с изменением соотношения титана и азота при высоких температурах изменяется характер образования нитрида титана — при постоянной его объемной доле увеличивается количество крупных (≥ 1 мкм) частиц, не оказывающих влияния на процесс роста зерна, и уменьшается доля мелких частиц».

3. Автор диссертации, описывая этап лабораторных экспериментов (табл. 3.1, 3.4), не приводит данные о содержании азота в лабораторных плавках. Возможно, что понимание фактически достигнутого отношения Ti/N могло бы пролить свет на нестабильное поведение работы удара KV-40 (рис. 3.2).

4. В разделе 5.3, посвященном исследованию влияния режимов термической обработки на микроструктуру и свойства высокопрочной стали 16ГНТРА, автор диссертации отмечает бейнитную структуру в горячекатаном состоянии. Это, по мнению В.Д. Садовского (В.Д. Садовский. Структурная наследственность в стали. М.: Металлургия, 1973, см. стр. 119), означает возможность структурной наследственности. Согласно экспериментальным данным автора при нагреве аустенитное зерно образуется довольно мелкое (19-25 мкм), но все же остается неопределенность с возможностью проявления структурной наследственности. Ответа на вопрос о возможности и условиях проявления структурной наследственности автор не приводит.

5. В разделе 5.3 автором подробно исследована микроструктура и механические свойства стали 16ГНТРА после закалки в воде. Показано, что требуемый комплекс свойств (предел текучести, временное сопротивление, относительное

удлинение, ударная вязкость, твердость) обеспечивается после закалки. Но поскольку толщина листового проката, подвергаемого закалке, может достигать 20 мм, то на свойства могут оказывать влияние термические напряжения, обусловленные градиентом температур при охлаждении. С целью дальнейшего повышения ударной вязкости термические напряжения могли бы сниматься низким или средним отпуском. Не следовало ли дополнить разработанную технологию закалки низким или средним отпуском и изучить их влияние на свойства стали 16ГНТРА?

В ходе заседания диссертационного совета:

1. Не совсем понятно, исходя из каких соображений, осуществлен выбор «центральных значений» содержания отдельных легирующих элементов базовых композиций (в научной новизне указаны единичные значения). На стр. 9 автореферата содержание химических элементов также представлено одной цифрой, а в рекомендациях даны пределы их содержания. Не ясно, каким образом определены пределы содержания легирующих элементов для практических рекомендаций.
2. В работе приведены результаты исследования влияния режимов термической обработки на свойства образцов листового проката, полученные в лабораторных условиях. Затем технологические свойства переносятся на лист. Не совсем понятно, свойства достигаются в готовом изделии или в листовом прокате.
3. Хладостойкость стали в работе определялась только по показателю ударной вязкости, испытанному на образцах с острым надрезом. Стоило бы также определить долю вязкой составляющей в изломе, а также коэффициент интенсивности разрушения.
4. Не совсем ясны принципы легирования для высокопрочных хладостойких сталей, и в каких пределах варьировали содержание элементов. Не совсем понятно, за счет каких мероприятий и за счет каких элементов достигнута экономия.
5. Требуется разъяснить, чем определялось содержание в составе сталей алюминия, титана и бора; в какой последовательности подаются в расплав эти элементы при выплавке стали; какое количество азота содержится в стали. Следовало бы в работе показать, каким образом обеспечивается свариваемость толстолистового проката, а также провести опыты по сварке проката.
6. Не совсем понятно, как может повлиять снижение содержания углерода ниже установленных диапазонов на свойства стали 20Г2СМРА.
7. Следовало бы привести в работе исследования, подтверждающие присутствие бора в твердом растворе и в виде боридов.

8. Необходимо пояснить, с какой целью проведено исследование тонкой кристаллографической структуры стали; что означает термин «высокотемпературный мартенсит»; а также уточнить, по сравнению с какими сталями достигнуто экономное легирование.

9. Не вполне ясно, почему на разработанные составы сталей не получены патенты.

Соискатель Кузнецова А.С. ответила на задаваемые ей в ходе заседания вопросы и привела собственную аргументацию. Выбор базовых композиций осуществлен на основе анализа литературных источников о влиянии состава на формирование структуры и свойств высокопрочных сталей, а также на основе анализа спецификаций производителей сталей аналогичного назначения. По результатам лабораторной выплавки всех вариантов химического состава был установлен наиболее экономичный легирующий состав, обеспечивающий достижение регламентируемого комплекса свойств. На базе данного химического состава определены целевые значения легирующих элементов. Диапазон варьирования по каждому элементу выбирался на основе проведения повторных выплавов, максимально соответствующих целевому химическому составу. В технических условиях потребитель регламентирует требования к уровню свойств термически обработанного горячекатаного листового проката. Хладостойкость стали определялась только по показателю ударной вязкости, исходя из требований, установленных потребителем металлопродукции для заданных условий эксплуатации. Высокопрочные хладостойкие стали должны характеризоваться низким содержанием углерода (до 0,2 %) для обеспечения свариваемости, минимизации искажения кристаллической решетки и достижения высокого отношения скорости релаксации напряжений к скорости упрочнения; наличием гамма-стабилизирующих элементов, обеспечивающих сквозную прокаливаемость толстолистового проката, а также отпускостойчивость стали при высоких температурах нагрева; низким содержанием серы и фосфора для обеспечения требуемых значений низкотемпературной ударной вязкости. В стали 20Г2СМРА диапазон содержания углерода составлял 0,18-0,22% для обеспечения свариваемости, высоких показателей пластичности, низкотемпературной ударной вязкости; содержание марганца 1,50-1,60 % и кремния 0,50-0,60% для твердорастворного упрочнения, прокаливаемости; микродобавки 0,002-0,004% В для увеличения прокаливаемости. Экономия / снижение себестоимости металлопродукции достигается за счет минимального использования дорогостоящих и дефицитных легирующих элементов (Nb, Mo, Ni, V, Cu) в сочетании с рациональными режимами термической обработки. Содержание титана в стали

16ГНТРА определялось исходя из стехиометрического соотношения $Ti \geq 3,42N$. По данным работ Лякишева Н.П. и Сибата К. бор эффективно влияет на прокаливаемость уже при введении его в количестве 0,001 %. Алюминий вводится в сталь в количестве 0,002 – 0,005 % для раскисления. При выплавке стали 16ГНТРА в раскисленную алюминием сталь добавляется титан, который обладает большим сродством к азоту и способностью прочно связывать азот и выводить его из твердого раствора, что позволяет сохранять большую часть бора в активном состоянии. В стали 20Г2СМРА количество «эффективного» бора, положительно влияющего на прокаливаемость, рассчитывается по эмпирической формуле, приведенной в работе Мазнического А.Н., и составляет 0,002 %. Введение бора в сталь осуществляется на участке внепечной обработки стали перед вакуумной дегазацией. Содержание азота в стали 20Г2СМРА составляет не более 0,005 %, в стали 16ГНТРА – не более 0,007 %. Показатель свариваемости устанавливается потребителем, исходя из условий дальнейшей эксплуатации данных сталей. Снижение содержания углерода в составе стали ведет к уменьшению предела текучести ниже установленных норм. Исследование тонкой структуры стали позволило выявить, что достижение высоких прочностных характеристик в сочетании с низкотемпературной ударной вязкостью обеспечивается за счет формирования в стали 20Г2СМРА мелкодисперсного реечного мартенсита с небольшими прослойками остаточного аустенита при закалке, а также субзеренной структуры α -фазы и высокодисперсных карбидных частиц при отпуске, а в стали 16ГНТРА – мелкодисперсного реечного мартенсита с небольшими прослойками остаточного аустенита при закалке. Высокотемпературный мартенсит - это бесструктурные по форме области, не содержащие внутри себя ни реек, ни пластин, ни других четко обозначенных границ раздела. Температурный интервал образования данной морфологии мартенсита превышает температуру начала формирования реечного мартенсита. Плотность дислокаций в этих областях меньше, чем в реечном мартенсите. Высокотемпературный мартенсит сосуществует с реечным мартенситом в стали, содержащей углерод 0,1-0,5 %. Термин упоминается в работах Краус Г., Пикеринга Ф.Б., Иванова Ю.Ф., Голубевой М.В., Сыч О.В., Хлусовой Е.И., Климашина С.И., в работах школы Счстливцева В.М и др. В данной диссертационной работе проанализирован широкий спектр высокопрочных хладостойких сталей аналогичного назначения, в том числе зарубежных производителей (около 40 позиций). Сравнение химических составов сталей показало, что в работе выбраны наиболее экономичные составы.

Настоящие диссертационные исследования проводились в рамках НИОКТР по заказу ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат». По условиям договора правообладателем полученных технических решений является данное предприятие. В связи с особенностями проведения процедуры патентования в условиях ПАО «ММК» было принято решение о закреплении его авторства по химическому составу данных сталей в виде выпуска каталога под собственным брендом «Magstrong».

На заседании 15.03.2022 г. диссертационный совет принял решение за новые научно-обоснованные технологические решения, имеющие существенное значение для предприятий машиностроительного комплекса, включающие экономнолегированные химические составы высокопрочных хладостойких сталей для тяжелой подъемно-транспортной техники и режимы их термической обработки, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие экономики страны в целом в связи с действующими приоритетами импортозамещения и освоения ресурсной базы Арктической зоны присудить Кузнецовой А.С. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 10 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 18, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель
диссертационного совета



Чукин Михаил Витальевич

Ученый секретарь
диссертационного совета

Полякова Марина Андреевна

15.03.2022 г.