

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.285.04 НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ «УРАЛЬСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ПЕРВОГО ПРЕЗИДЕНТА РОССИИ
Б.Н. ЕЛЬЦИНА», МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 17 декабря 2015 г. № 31

О присуждении Мусихину Сергею Александровичу, гражданство Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Влияние химической неоднородности среднеуглеродистых низколегированных сталей на формирование структуры и комплекса свойств при термическом воздействии» по специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов принята к защите 13 октября 2015 г., протокол № 21 диссертационным советом Д 212.285.04 на базе ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Минобрнауки России, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19; созданным приказом Минобрнауки России № 105/нк от 11.04.2012 г.

Соискатель, Мусихин Сергей Александрович, 1989 года рождения.

В 2011 году соискатель окончил ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» по специальности «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»; в 2014 году окончил очную аспирантуру ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» по специальности 05.16.01 – Metallovedeniye i termicheskaya obrabotka metallov i spлавov; работает в должности младшего научного сотрудника лаборатории структурных методов анализа свойств материалов и наноматериалов Центра коллективного пользования ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Минобрнауки России.

Диссертация выполнена на кафедре «Термообработка и физика металлов» ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Минобрнауки России.

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент, Беликов Сергей Владимирович, ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», кафедра «Термообработка и физика металлов», доцент.

Официальные оппоненты:

Кудря Александр Викторович – доктор технических наук, профессор, ФГАОУ ВПО «Национальный исследовательский технологический

университет «МИСиС», г. Москва, кафедра металловедения и физики прочности, профессор;

Яковлева Ирина Леонидовна – доктор технических наук, старший научный сотрудник, ФГБУН Институт физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, лаборатория физического металловедения, главный научный сотрудник,

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – ОАО «Уральский институт металлов», г. Екатеринбург – в своем положительном заключении, подписанном Смирновым Леонидом Андреевичем, доктором технических наук, академиком РАН, научным руководителем института, Беленьким Борисом Зиновьевичем, кандидатом технических наук, исполнительным директором центра «Металлопродукция для Севера» и Селетковым Александром Игнатьевичем, кандидатом технических наук, ученым секретарем научно-технического совета, указала, что диссертационная работа Мусихина С.А. является завершенной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи, имеющей важное значение для развития научных и методологических основ учета влияния неоднородностей химического состава на устойчивость переохлажденного аустенита. Выводы и практические рекомендации работы полезно учитывать при моделировании процессов термической обработки сталей. По актуальности задач, научной новизне, практической значимости и достоверности полученных результатов и

обоснованности выводов работа соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Мусихин Сергей Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Соискатель имеет 10 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 10 работ, опубликовано в рецензируемых научных изданиях – 3.

Другие публикации по теме диссертации представлены в виде 7 статей, опубликованных в сборниках материалов международных научных конференций. Общий объем публикаций – 1,68 п.л., авторский вклад – 1,04 п.л.

Наиболее значительные работы по теме диссертации:

1. Мусихин С.А. Применение программного комплекса Deform 3D для расчета формирующихся в процессе термической обработки структурных и температурных полей и напряженно-деформированного состояния в муфтовой заготовке из стали 20Х1МФА [Электронный ресурс] / А.А.Х. Аль Катави, С.В. Беликов, С.А. Мусихин, И.А. Соляник, К.И. Сергеева // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 3. – Режим доступа: <http://www.science-education.ru/109-9244>.

2. Мусихин С.А. Особенности формирования структуры и комплекса механических свойств трубной низколегированной Cr – Mo – V стали после

аустенитизации в межкритической интервале температур / А.И. Степанов, И.Н. Ашмина, К.И. Сергеева, С.В. Беликов, С.А. Мусихин, М.С. Карабаналов, А.А. Аль – Катави // Сталь. – 2014. – № 6. – С. 86 – 90.

3. Мусихин С.А. Освоение производства обсадных труб, стойких к воздействию промышленных сред, содержащих сероводород / А.И. Степанов, И.Н. Ашихмина, И.Н. Веселов, С.В. Беликов, С.А. Мусихин, К.И. Сергеева // Metallurg. – 2014. – № 7. – С.63 – 66.

На автореферат поступили положительные отзывы:

1. Дуба Владимира Семеновича, доктора технических наук, профессора, научного руководителя Института металлургии и машиностроения, Маркова Сергея Ивановича, доктора технических наук, главного научного сотрудника Института металлургии и машиностроения, и Ромашкина Александра Николаевича, кандидата технических наук, заведующего лабораторией крупного слитка Института металлургии и машиностроения АО «НПО «ЦНИИТМАШ», г. Москва. Содержит вопросы: 1. Для какой из исследованных композиций (Cr-Mo-V или Mn-V), одна и та же степень ликвации углерода влияет сильнее на превращение $\gamma \rightarrow \alpha$? 2. Как повлияло повышение температуры закалки из аустенитной области с 880 °С до 1000 °С на конечный комплекс механических свойств стали 26Х1МФА?

2. Корягина Юрия Дмитриевича, доктора технических наук, профессора, заведующего кафедрой физического металловедения и физики твердого тела, и Окишева Константина Юрьевича, доктора физико-математических наук,

доцента, профессора кафедры физического металловедения и физики твердого тела ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет» (национальный исследовательский университет), г. Челябинск. Замечание: поскольку, количество неметаллических включений и химический состав металлической матрицы в зонах внутреннего окисления должны сильно колебаться, то не вполне ясно, в какой мере, полученные результаты переносимы на дефекты в реальных заготовках.

3. Мамонова Андрея Михайловича, доктора технических наук, профессора, главного научного сотрудника Некоммерческой организации «Фонд развития материаловедения и технологий обработки материалов», г. Москва. Замечание: В автореферате не приведены требования ГОСТ 632-80 к сталям с механическими свойствами, отвечающими высоким группам прочности (М, Р и Т).

4. Козлова Эдуарда Викторовича, доктора физико-математических наук, профессора, заведующего кафедрой физики, Коневой Нины Александровны, доктора физико-математических наук, профессора, профессора кафедры физики, и Поповой Натальи Анатольевны, кандидата технических наук, старшего научного сотрудника кафедры физики ФГБОУ ВО «Томский государственный архитектурно-строительный университет», г. Томск. Без замечаний.

5. Симонова Юрия Николаевича, доктора технических наук, доцента, заведующего кафедрой «Металловедение, термическая и лазерная обработка

металлов» ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь. Без замечаний.

6. Карела Луначека, доктора PhD, исполнительного директора MECAS ESI s.r.o., Чехия, г. Пльзень. Замечание: в автореферате не приведена методика получения «слоистого» материала.

7. Сычкова Александра Борисовича, доктора технических наук, доцента, профессора кафедры литейного производства и материаловедения ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. Замечания: 1. В научной новизне желательно привести численные характеристики полученных положений. 2. По абзацу 2 научной новизны (стр. 5 автореферата) – хотелось бы уточнить размеры непрерывно-литой заготовки (НЛЗ) и применяемые устройства и способы для снижения ликвации (типа ЭМП, модифицирование расплава при кристаллизации или в промковше и т.п.). Представляется неточным характеризование ликвационных процессов в НЛЗ как зональная ликвация; по нашему мнению, в НЛЗ предпочтительнее развивается микрофизическая – дендритная ликвация. 3. В разделе практическая и теоретическая значимость работы (последний абзац на стр. 5 с переходом на стр. 6 автореферата) для марки стали 32Г2Ф указан разбег в значениях критических точек в металле, обусловленный ликвацией легирующих элементов и примесей. Однако не приводится перечень этих элементов, степень их ликвации и влияние на кинетику распада неоднородного по химическому составу аустенита.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их компетентностью и широкой известностью своими достижениями в области улучшения качества металла, наличием публикаций, связанных с исследованием влияния химической и структурной неоднородности на конечный комплекс свойств конструкционных сталей.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

рассмотрено влияние температуры нагрева в МКИ на кинетику распада переохлажденного аустенита в стали 26Х1МФА;

показано, что при охлаждении стали 26Х1МФА от температуры неполной аустенитизации 780 °С происходит снижение устойчивости переохлажденного аустенита по первой ступени, а также замена бейнитного превращения мартенситным по сравнению с охлаждением из аустенитной области. Повышение температуры нагрева в МКИ до 810 °С приближает вид ТКД стали 26Х1МФА к ТДК, построенной при охлаждении из γ – области;

изучено влияние параметров отпуска на свойства стали 26Х1МФА после двойной закалки:

- **построены** кривые отпуска стали 26Х1МФА после двукратной закалки при варьировании температуры отпуска в интервале 450...630 °С, продолжительности от 30 до 240 минут;

- во всем исследованном интервале температур отпуска **установлено** плавное снижение твердости при увеличении продолжительности выдержки;
- **изучены** структурные и фазовые превращения, протекающие в стали 26Х1МФА при отпуске;
- **рассмотрено** влияние продолжительности выдержки в МКИ на процесс выделения, размер и морфологию карбидов после отпуска;
- **показана** высокая кристаллографическая устойчивость структуры, сохраняющей реечное строение после вторичного нагрева под закалку в двухфазную область, а также после высокого отпуска;

установлено, что режим обработки 880 – 810 – 600 °С (90 минут) позволяет получить значения механических свойств, соответствующие группе прочности М по ГОСТ 632 – 80. При этом за счет межкритической обработки обеспечивается большой запас по относительному удлинению и ударной вязкости. Относительное удлинение превышает значение, установленное ГОСТ 632 – 80 на 85 %, а ударная вязкость в 4,5 раза. Режим обработки 880 – 810 – 450 °С (90 минут) позволяет получить значения механических свойств, соответствующие группе прочности Т по ГОСТ 632 – 80. При этом относительное удлинение выше значения, установленного ГОСТ на 83 %;

атомно-эмиссионным спектральным методом, **выявлено**, что количество С и Mn значительно изменяется по сечению муфтовой трубы. Минимальное содержание углерода, наблюдаемое на наружной поверхности

трубы и на глубине 5 мм, составляет $0,271 \pm 0,004$ масс. %, а максимальное - на расстоянии 15,5 мм от наружной поверхности трубы достигает $0,359 \pm 0,004$ масс. %. Содержание марганца минимально на внутренней стенке трубы $1,28 \pm 0,02$ масс. % и на глубине 5 мм от наружной поверхности - $1,34 \pm 0,02$ масс. %, а максимальное на расстоянии 15,5...21,0 мм от наружной поверхности трубы - $1,43 \pm 0,02$ масс. %;

построены термокинетические диаграммы распада переохлажденного аустенита с разным содержанием легирующих элементов и примесей;

- **показано**, что устойчивость переохлажденного аустенита в разных слоях металла существенно отличается, что приводит к аномальному изменению твердости по сечению стенки трубы;

- **установлено**, что максимальное значение твердости наблюдаются на внешней стенке трубы, значение в среднем достигает 650 HV. В зоне с минимальным количеством химических элементов твердость уменьшается до 350 HV. В области с максимальным количеством химических элементов, среднее значение твердости составляет 470 HV. На внутренней стенке трубы твердость составляет 340 HV;

проведено физическое моделирование процесса эволюции искусственного дефекта при горячей пластической деформации с целью создания зоны внутреннего окисления в стали 20кТ;

- **показано**, что при исследуемых температурно-временных параметрах ширина зоны неметаллических включений в образце «свидетеле» составляет

80...100 мкм. При этом по периметру искусственного дефекта ширина зоны окислов изменяется незначительно;

- **установлено**, что горячая пластическая деформация приводит к неравномерному увеличению зоны внутреннего окисления в направлении действия растягивающих напряжений;

- **показано**, что при изученных параметрах температурно-деформационного воздействия протяженность зоны окислов в отдельных направлениях может достигать 200...250 мкм;

выявлено влияние внутреннего окисления на устойчивость переохлажденного аустенита на примере стали 50ХГФА.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

установлены особенности распада переохлажденного аустенита в стали 26Х1МФА с исходной кристаллографически упорядоченной и неупорядоченной структурой после аустенитизации в интервале температур $A_{c1}...A_{c3}+150$ °С. С помощью метода дифракции обратно рассеянных электронов показано, что в интервале температур высокого отпуска и МКИ исходная кристаллографически упорядоченная структура обладает повышенной устойчивостью, что связано с малой подвижностью специальных границ $\Sigma 3$ и выделением вдоль границ дисперсных карбидов;

научно обоснована возможность повышения ударной вязкости сталей типа 26Х1МФА при сохранении прочностных характеристик на уровне свойств стали после термического улучшения, посредством обработки из

межкритического интервала температур за счет измельчения зеренной структуры феррита;

показано, что аномальное изменение прочностных свойств по сечению стенки труб нефтегазового сортамента, изготовленных из непрерывнолитой заготовки, является следствием структурной неоднородности обусловленной зональной ликвацией в первую очередь таких элементов как углерод и марганец, которую не удастся устранить в условиях массового производства термическими методами;

количественно **оценено** влияние внутреннего окисления на устойчивость переохлажденного аустенита. Построены диаграммы распада переохлажденного аустенита для материала, содержащего внутреннее окисление. Установлено, что планарные скопления неметаллических включений уменьшают устойчивость переохлажденного аустенита стали 50ХГФА в области диффузионного превращения.

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

для стали 26Х1МФА **разработан** режим термической обработки 880 (температура закалки из аустенитной области) – 810 (температура закалки из МКИ) – 600 °С (температура отпуска) – 90 минут (время отпуска), который позволяет получить значения механических свойств, соответствующие группе прочности М по ГОСТ 632 – 80. При этом за счет обработки из межкритического интервала температур обеспечивается большой запас по

относительному удлинению и ударной вязкости. Также **разработан** режим термической обработки 880 – 810 – 450 °С (90 минут), который позволяет получить значения механических свойств, соответствующие группе прочности Т, при сохранении относительного удлинения на высоком уровне;

установлены различия в кинетике распада переохлажденного аустенита в стали 32Г2Ф, обедненного и обогащенного по легирующим элементам и примесям;

показано, что критические температуры A_{c3} различных слоев металла трубы 278x28,5 мм различаются на 25 °С, а различие в температуре A_{r3} может достигать 100 °С при охлаждении со скоростями порядка 100 °С/с;

построены термокинетические диаграммы распада переохлажденного аустенита в стали 32Г2Ф с различным содержанием легирующих элементов и примесей для назначения практических режимов термической обработки на основе конечно-элементного моделирования;

предложена методика определения устойчивости переохлажденного аустенита в локальных областях, содержащих дефекты типа внутреннего окисления.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что результаты исследования влияния химической неоднородности среднеуглеродистых низколегированных сталей на формирование структуры и комплекса свойств при термическом воздействии **получены** в результате изучения литературных данных по тематике работы, применения

современных взаимодополняющих методов исследования и проявленной эрудиции в анализе полученных результатов. **Использованы** сравнения авторских данных и данных, представленных в литературе по теме исследования; **установлено**, что результаты автора не противоречат этим данным и обоснованно их дополняют.

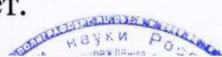
Личный вклад соискателя состоит в том, что все этапы экспериментальных исследований выполнены лично автором или при его активном участии. Автор принимал непосредственное участие в планировании эксперимента и обсуждении полученных результатов, а также в написании основных работ по теме исследования.

На заседании 17.12.2015 г. диссертационный совет принял решение присудить Мусихину С.А. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человека, из них 7 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 23 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 19, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель

диссертационного совета



Попов Артемий Александрович

Ученый секретарь



диссертационного совета



Мальцева Людмила Алексеевна

17.12.2015 г.