

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 217.035.01 НА БАЗЕ  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИТАРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ  
«ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ ИМ. И.П. БАРДИНА» МИНИСТЕРСТВА  
ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ТОРГОВЛИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО  
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА  
НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 26 октября 2016 г. № 8.2

О присуждении гражданину Российской Федерации **Удоду Кириллу Анатольевичу** ученой степени кандидата технических наук.

**Диссертация** «Управление структурой коррозионностойких сталей мартенситного, мартенситно-аустенитного и ферритного классов для повышения механических свойств и коррозионной стойкости» по специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов», **принята к защите 1 июля 2016 года**, протокол заседания № 8.1, диссертационным советом Д 217.035.01, на базе Федерального государственного унитарного предприятия «Центральный научно-исследовательский институт черной металлургии им. И. П. Бардина» Министерства промышленности и торговли Российской Федерации, по адресу: 105005, г. Москва, ул. Радио, д. 23/9, стр. 2 в соответствии с приказом Министерства образования и науки № 105/нк от 11.04.2012 и частичным изменением № 194/нк от 22.04.2013 г.

**Соискатель**, Удод Кирилл Анатольевич, 1987 года рождения, в 2010 году окончил Национальный Исследовательский Технологический Университет «МИСиС» (г. Москва).

В 2014 г. окончил очную аспирантуру при ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина».

**Работает** младшим научным сотрудником лаборатории теории и практики сталеплавильного производства и ковшовой металлургии Центра физической химии, материаловедения биметаллов и специальных видов коррозии

Федерального государственного унитарного предприятия «Центральный научно-исследовательский институт черной металлургии им. И.П. Бардина», Министерство промышленности и торговли Российской Федерации.

**Диссертация выполнена** в лаборатории теории и практики сталеплавильного производства и ковшовой металлургии Центра физической химии, материаловедения биметаллов и специальных видов коррозии ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина», Министерство промышленности и торговли Российской Федерации.

**Научный руководитель** – доктор технических наук, с.н.с. **Родионова Ирина Гавриловна**, ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина», Центр физической химии, материаловедения биметаллов и специальных видов коррозии, заместитель директора центра.

**Официальные оппоненты:**

**Кудря Александр Викторович**, доктор технических наук, профессор, Национальный Исследовательский Технологический Университет «МИСиС»; кафедра металловедения и физики прочности, профессор кафедры.

**Науменко Виталий Владимирович**, кандидат технических наук, АО «Выксунский металлургический завод», Инженерно-технологический центр, главный специалист по металловедению и термообработке

дали **положительные** отзывы на диссертацию.

**Ведущая организация** – Федеральное государственное бюджетное учреждение Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской Академии Наук в своем положительном заключении, подписанном Блиновым В.М., д.т.н., профессором, главным научным сотрудником лаборатории конструкционных сталей и сплавов **указала, что** разработанные рекомендации могут быть использованы при освоении качественно новых марок нержавеющей сталей на металлургических предприятиях РФ.

Соискатель имеет 6 опубликованных работ по теме диссертации, в том числе 4 в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

**Научные публикации посвящены** изучению особенностей структурообразования коррозионностойких сталей мартенситного и мартенситно-аустенитного классов, легированных азотом и ферритных сталей

повышенной коррозионной стойкости, легированных алюминием; выявлению закономерностей влияния химического состава и режимов термообработки на микроструктурное состояние, механические свойства и коррозионную стойкость; разработке рекомендаций по оптимальному химическому составу и технологическим режимам получения указанных сталей с наиболее высоким и стабильным комплексом свойств.

Результаты исследований, представленные в опубликованных работах, являются полезными для разработки низкоуглеродистых нержавеющей мартенситно-аустенитных сталей и сталей повышенной коррозионной стойкости, легированных алюминием, т.к. эффективно воздействовать на конечное микроструктурное состояние металла с целью повышения механических свойств и коррозионной стойкости.

**Наиболее значимые научные работы** по теме диссертации:

1. Родионова И.Г., Бакланова О.Н., Удод К.А., Чудаков И.Б., Эндель Н.И., Мельниченко А.С. Оценка влияния содержания алюминия на показатели коррозионной стойкости и удельной прочности сталей // *Металлург*. 2014. №12. С. 63-67.

2. Удод К.А., Родионова И.Г., Князев А.В., Стукалин С.В. Исследование влияния химического состава и термической обработки на показатели коррозионной стойкости нержавеющей сталей мартенситного класса, легированных азотом // *Металлург*. 2015. №11. С. 93-96.

3. Удод К.А., Родионова И.Г., Бакланова О.Н., Мельниченко А.С., Стукалин С.В. Факторы, определяющие уровень механических свойств хромистых коррозионностойких сталей, легированных азотом // *Металлург*. 2016. №5. С. 43-48.

На диссертацию и автореферат поступило 9 положительных отзывов, все имеют замечания. Во всех отзывах отмечено, что диссертационная работа посвящена **актуальной теме** разработки новых коррозионностойких высокопрочных сталей и сталей повышенной коррозионной стойкости, легированных алюминием.

**Научные результаты:** подробно исследованы механические и коррозионные свойства, проанализирована их связь с химическим и фазовым

составом, параметрами структуры, **найжены условия**, обеспечивающие заданный комплекс свойств. Для сталей, легированных алюминием, в достижении высоких показателей прочности существенную роль играет субструктурное (дислокационное) упрочнение, а для повышения пластичности необходимо измельчение первичного зерна за счет рекристаллизации, поэтому микролегирование таких сталей Ti и Nb нецелесообразно из-за эффективного торможения рекристаллизации четвертичными включениями (ФГАОУ ВО НИТУ «МИСиС» - Капуткина Л.М., ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ», ФГБОУ ВО «РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина», АО «ВНИИНЕФТЕМАШ», ОАО «ВНИИПТхимнефтеаппаратуры»); **новизна работы** состоит в том, что фазовый состав девятикомпонентных систем найден сначала термодинамическими расчетами равновесий, а затем подтвержден прямыми методами. Карбонитриды диагностированы трансмиссионной электронной микроскопией (ФГАОУ ВО НИТУ «МИСиС» - Штремель М.А.); **установлено**, что формирование дисперсной мартенситно-аустенитной структуры обеспечивает высокий уровень прочности, пластичности, хладостойкости, а также коррозионной стойкости хромистых сталей; **показана** различная роль наноразмерных выделений разных типов и размерных групп в упрочнении стали по механизму дисперсионного твердения (ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ», АО «ВНИИНЕФТЕМАШ»).

**Практическая значимость:** выяснена роль структурных составляющих в упрочнении в зависимости от температур термообработки; полученные результаты будут иметь **практическую ценность** при выборе технологии производства реальных изделий (ОАО «Волгограднефтемаш»); на основании проведенных исследований **предложены практические рекомендации** по химическому составу и технологическим режимам производства коррозионностойких сталей с мартенситно-аустенитной структурой, в результате которых обеспечены прочностные характеристики на уровне мартенситно-старееющих сталей, и сталей повышенной коррозионной стойкости, легированных алюминием (ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ», ОАО «Волгограднефтемаш», АО «ОЭМК»); разработана принципиально новая концепция обеспечения стойкости разрабатываемых сталей против коррозии в

морской воде и в биоактивных средах, а также высокой удельной прочности, пластичности, износостойкости, в соответствии с которой уточнены требования к химическому составу и технологические принципы получения разрабатываемых сталей (ООО «ВНИИХНА»).

**Замечания:** отсутствие расчета термокинетических диаграмм распада переохлажденного аустенита, которые могли бы помочь в определении оптимальных режимов прокатки (ООО «ВНИИХНА»). Отсутствие в работе части, посвящённой технологии выплавки сталей. Однако, автор не ставил перед собой подобной задачи, сделанное замечание носит лишь рекомендательный характер (ОАО «Волгограднефтемаш»). Отсутствие исследования особенностей сварных соединений новых марок сталей (ОАО «ВНИИПТхимнефтеаппаратуры»). Отсутствие данных об испытаниях проката исследованных сталей на стойкость к водородному растрескиванию (ФГБОУ ВО «РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина», АО «ОЭМК»). Требуют пояснения причины получения крайне низкого относительного удлинения ферритных сталей при высоком содержании алюминия (ФГБОУ ВО «РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина»). Непоследовательность нумерации регрессионных уравнений (1, 2, 5), а также целесообразность округления их численных коэффициентов и корреляций, соответственно, до первого и второго знака после запятой вместо трех знаков (АО «ВНИИНЕФТЕМАШ»). Необоснованно высокое доверие к приведенным в автореферате регрессионным уравнениям. Нет данных по стали 2.1, а стали 2.2 и 2.3 имеют близкие состав и уровень механических свойств. Заключение об одинаковом влиянии хрома и алюминия на коррозионную стойкость сталей кажется преждевременным (ФГАОУ ВО НИТУ «МИСиС» - Капуткина Л.М.). В названии работы цель - повышение прочности и коррозионной стойкости, поэтому сопоставление с существующими стандартными марками было бы уместно не только в диссертации, но и в автореферате (ФГАОУ ВО НИТУ «МИСиС» - Штремель М.А.).

### **Заключение по отзывам:**

1. Диссертационная работа по тематике, проработанности решаемых задач, объему экспериментальных результатов, полученных с применением различных методов исследования, способствует развитию прикладного материаловедения (ФГАОУ ВО НИТУ «МИСиС» - Капуткина Л.М.).

2. Достоверность результатов и выводов подтверждается приведенными результатами испытания и исследований с использованием широкого спектра современных методик и оборудования (ОАО «Волгограднефтемаш», АО «ВНИИНЕФТЕМАШ»).

3. К преимуществам работы следует отнести не только технологическую часть работы, но и исследование материаловедческих особенностей, в частности, подробное изучение формирования структуры проката при различной термической обработке сталей (ФГБОУ ВО «РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина»).

4. Работа написана грамотным техническим языком, отличается полнотой материала и логичностью выводов. Полученные результаты безусловно являются научным вкладом для разработки технологии производства новых коррозионностойких сталей на металлургических предприятиях РФ (АО «ВНИИНЕФТЕМАШ», АО «ОЭМК»).

5. Во всех отзывах отмечается, что диссертационная работа соответствует паспорту специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов» и критериям ВАК, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук.

**Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается:**

**Кудря Александр Викторович** – ведущий специалист в области разработки высокопрочных сталей и сплавов, физики прочности разрушения, наблюдения и измерения структур и разрушения, информационных технологий в управлении качеством конструкционных материалов.

**Науменко Виталий Владимирович** – высококвалифицированный специалист в области металлостроения и термической обработки

конструкционных сталей, разработки новых азотистых нержавеющей сталей аустенитного класса.

**Ведущая организация** – Федеральное государственное бюджетное учреждение Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской Академии Наук. Главная цель Института состоит в проведении фундаментальных и прикладных научных исследований в области металлургии и материаловедения. Одним из направлений работы Института является развитие физико-химических основ создания новых металлических материалов, в том числе конструкционных.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

**Обоснованы** научные положения повышения прочности и пластичности коррозионностойких сталей мартенситного, мартенситно-аустенитного и ферритного классов, заключающиеся в формировании определенного типа структуры, выделений избыточных фаз различного состава и морфологии на разных этапах обработки, а также элементов субструктуры.

**Предложены** оригинальные подходы управления микроструктурой проката за счет повышения содержания молибдена с целью формирования дисперсной двухфазной мартенситно-аустенитной структуры хромистых сталей, а также обеспечения содержания алюминия и хрома на уровне 5% каждого для формирования в процессе горячей прокатки дислокационной ячеистой субструктуры ферритных сталей.

**Теоретическая значимость работы обоснована тем, что:**

**впервые показана** различная роль в упрочнении по механизму дисперсионного твердения наноразмерных выделений двух типов и размерных групп. Первая группа - выделения комплексного карбонитрида размерами 10-30 нм, обогащенного ниобием, которые формируются в процессе нормализации в аустените и обеспечивают высокие значения временного сопротивления, практически не влияя на предел текучести. Вторая группа – предвыделения избыточных фаз, которые в процессе отпуска при 400-500 °С

трансформируются в наноразмерные (2-3 нм) выделения карбонитрида, обогащенного ванадием и способствуют повышению предела текучести.

**Показано**, что ключевыми условиями обеспечения высокого комплекса прочности ( $\sigma_B \geq 1290$  МПа,  $\sigma_T \geq 1060$  МПа) пластичности ( $\delta \geq 25\%$ ), хладостойкости ( $KCU_{-100} \geq 1,7$  МДж/м<sup>2</sup>) и коррозионной стойкости хромистых сталей является формирование дисперсной двухфазной мартенситно-аустенитной структуры с содержанием аустенита 20-30% и субмикронными и наноразмерными выделениями комплексных карбонитридов титана, ниобия и ванадия оптимального состава и морфологии.

**Установлено**, что одним из механизмов повышения прочности ( $\sigma_B \geq 560$  МПа,  $\sigma_T \geq 490$  МПа,  $\delta \geq 20\%$ ) сталей, легированных алюминием, является формирование в процессе горячей прокатки дислокационной ячеистой субструктуры, которому способствует повышение содержания алюминия и снижение температуры конца прокатки. При этом размер ферритного зерна не влияет на временное сопротивление стали.

**Экспериментально доказано**, что подавление рекристаллизации при горячей прокатке легированных алюминием сталей приводит к существенному снижению пластичности, что определяет нецелесообразность микролегирования таких сталей титаном и ниобием.

**В работе использованы** методы микроструктурных исследований с использованием оптической и электронной микроскопии, микрорентгеноспектрального анализа химического состава неметаллических включений, рентгеноструктурного анализа фазового состава, расчета температурно-концентрационных областей существования основных и избыточных фаз, испытания механических свойств и коррозионной стойкости.

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

для обеспечения наиболее высоких показателей механических свойств и коррозионной стойкости разработаны рекомендации по оптимальному химическому составу и технологическим режимам выплавки, прокатки и термообработки хромистых коррозионностойких сталей мартенситно-



аустенитного класса и сталей ферритного класса. Разработанные рекомендации могут быть использованы при освоении новых марок нержавеющей сталей на металлургических предприятиях РФ.

**Оценка достоверности** результатов исследования выявила:

экспериментальные материалы для исследований получены путем моделирования в лабораторных условиях процессов выплавки, термомеханической и термической обработки. Проведена выплавка стали опытных составов при помощи вакуумной индукционной печи. Осуществлена термомеханическая обработка заготовок на лабораторном прокатном стане ДУО-300 на полосы с дальнейшей их термической обработкой. Исследования проведены с применением современных методов изучения микроструктуры, испытаний механических свойств и коррозионной стойкости стали на сертифицированном аттестованном испытательном оборудовании. Полученные данные обработаны с использованием современных методов статистического анализа.

**Личный вклад соискателя состоит в** постановке цели и задач исследований, выработке направлений и методов решения научно-практических проблем, разработке программы исследований, непосредственном участии в получении экспериментальных данных, обработке, анализе и интерпретации полученных результатов, формулировке выводов и заключений по работе, апробации материалов исследования и подготовке их к публикации.

**Диссертационная работа** по своим целям, задачам, содержанию, методам исследования, полученным результатам и научной новизне соответствует пункту 3 «Теоретические и экспериментальные исследования влияния структуры (типа, количества и характера распределения дефектов кристаллического строения) на физические, химические, механические, технологические и эксплуатационные свойства металлов и сплавов» паспорта специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Диссертация является законченным исследованием, в котором решена научная задача – повышение прочности, пластичности и коррозионной стойкости коррозионностойких сталей мартенситно-аустенитного и ферритного классов за счет формирования определенного типа структуры, выделений избыточных фаз различного состава и морфологии, а также элементов субструктуры путем совершенствования химического состава и режимов прокатки и термической обработки.

Диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, соответствующую п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 24 сентября 2013 г.

Диссертационный совет на заседании 26 октября 2016 г. принял решение присудить Удоду К.А. ученую степень кандидата технических наук (протокол №8.2)

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 8 докторов наук по специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов» и 9 докторов наук по специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния», участвовавших в заседании, из 23 человек, входящих в состав совета, проголосовали: «за» - 17, «против» - 0, недействительных бюллетеней - 0.

Председатель  
диссертационного совета  
д.ф.-м.н., профессор



А.М. Глезер

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
д.т.н., с.н.с.

Н.М. Александрова

Дата оформления Заключения: «2» ноября 2016 г.