

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.345.03,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ Федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения высшего образования
«Нижегородский государственный технический университет
им. Р.Е. Алексеева»
Министерства науки и высшего образования Российской Федерации,
ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 22.12.2023 г. №13

О присуждении Ворожевой Евгении Львовне, гражданке Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Обеспечение микроструктуры и стабильных механических свойств стального проката при повышении толщины заготовки в условиях литейно-прокатного комплекса» по специальности 2.6.1 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов принята к защите 17.10.2023 г. (протокол заседания № 10) диссертационным советом 24.2.345.03, созданным на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 603155, г. Нижний Новгород, ул. Минина, д. 24, приказ №105/нк от 11.04.2012 г.

Соискательница Ворожева Евгения Львовна, 10 ноября 1978 года рождения. В 2000 году соискательница окончила Карагандинский металлургический институт, в настоящее время является аспиранткой заочной формы обучения Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева.

Ворожева Е.Л. работает в должности главного специалиста по металловедению отдела по технологии производства проката управления по технологии металлургического производства Инженерно-технологического центра в Акционерном Обществе «Выксунский металлургический завод».

Диссертация выполнена на кафедре «Материаловедение, технологии материалов и термическая обработка металлов» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», Министерство науки и

высшего образования Российской Федерации и в Инженерно-технологическом центре Акционерного Общества «Выксунский металлургический завод» (г. Выкса, Нижегородская обл.).

Научный руководитель - доктор технических наук, доцент Хлыбов Александр Анатольевич, заведующий кафедрой «Материаловедение, технологии материалов и термическая обработка металлов» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева».

Официальные оппоненты:

1. **Выбойщик Михаил Александрович**, доктор физико-математических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тольяттинский государственный университет», профессор кафедры «Нанотехнологии, материаловедение и механика», г. Тольятти, Самарская область;

2. **Рингинен Дмитрий Александрович**, кандидат технических наук, Публичное Акционерное Общество «Новолипецкий металлургический комбинат», руководитель экспертного направления дирекции по исследованиям и разработке новых продуктов группы «Новолипецкий металлургический комбинат», г. Москва

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск Челябинской области, в своем положительном отзыве, подписанном Феоктистовым Николаем Александровичем, кандидатом технических наук, доцентом, заведующим кафедрой литейных процессов и материаловедения, указала, что диссертационная работа представляет собой научную квалификационную работу, в которой изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения, направленные на повышение эффективности работы литейно-прокатных комплексов, а именно повышение производительности за счет применения новой технологии непрерывной разливки сляба толщиной 105 мм и последующей прокатки, имеющие существенное значение для развития страны. Диссертационная работа соответствует требованиям п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», а её автор, Ворожева Евгения Львовна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1 – Металловедение и

термическая обработка металлов и сплавов. Разработки соискателя могут быть использованы на различных металлургических предприятиях (в частности, на АО «Выксунский металлургический завод»), имеющих литейно-прокатные комплексы.

Соискатель имеет 14 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 10 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 9 работ, в том числе 6 публикаций в изданиях, индексируемых в Международных базах данных, перечень которых определен в соответствии с рекомендациями ВАК Минобрнауки РФ (Scopus), 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, а также материалы всероссийских и международных конференций и конгрессов.

Объем научных изданий с участием автора по теме диссертации составляет 9,94 печатных листа. Авторский вклад составляет 2,67 печатных листа. Все публикации относятся к области металловедения и термической обработки металлов и связаны с изучением структурообразования в трубных сталях в процессе их производства без этапов $\gamma \rightarrow \alpha \rightarrow \gamma$ превращения в микроструктуре слябов перед этапом прокатки и разработкой металловедческих решений для формирования стабильных вязкостных и прочностных механических свойств в горячекатаном прокате. Научное содержание диссертационной работы в полной мере соответствует авторскому вкладу соискателя в публикациях, выполненных в соавторстве.

Недостовверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах отсутствуют.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. **Vorozheva, E.L.** Studying on the internal quality of steel at various stages of production: Slab-rolled metal / A.A. Hlybov, E.L. Vorozheva // Materials Science Forum – 2022 – 1052 MSF – p.p.377–383. (SCOPUS)
2. **Ворожева Е.Л.** Методы изучения структурного состояния непрерывнолитых слябов и горячекатаного металла, произведённого на литейно-прокатном комплексе. / Ворожева Е.Л., Кудашов Д.В., Хлыбов А.А., Сметанин К.С. // Металлы. – 2022. – №3 – С.40-48. (SCOPUS)
3. **Ворожева Е.Л.** Особенности формирования структуры тонких слябов, разлитых с разными скоростями, их влияние на структуру и свойства горячекатаного проката. / Ворожева Е.Л., Кудашов Д.В., Хлыбов А.А., Сметанин К.С. // Черные металлы. – 2022. – Июль. – С.27-33. (SCOPUS)

4. **Ворожева Е.Л.** Металлографическое исследование особенностей строения тонкого сляба и произведённого из него проката. / Ворожева Е.Л., Сметанин К.С., Кислица В.В., Кудашов Д.В. // Известия ВУЗов. Черная металлургия. – 2023 – 66(1) – С.105-111 – DOI 10.17073/0368-0797-2023-1-105-111. (SCOPUS)

5. **Ворожева Е.Л.** Оценка характера деформации тонких слябов методом количественной металлографии. / Ворожева Е.Л., Кудашов Д.В., Хлыбов А.А., Сметанин К.С., Подтёлков В.В. // МиТОМ. – 2023. – №4. – С.34-40. (SCOPUS)

На диссертацию и автореферат поступили **отзывы:**

1. Моргунов Сергей Олегович, начальник отдела трансформаторных сталей, кандидат технических наук, ПАО «Новолипецкий металлургический комбинат», г. Липецк;

2. Муратов Владимир Сергеевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Металловедение, порошковая металлургия, наноматериалы» ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», г. Самара;

3. Алибеков Сергей Якубович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Машиностроение и материаловедение» ФГБОУ ВО Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола, Республика Марий Эл;

4. Муравьёв Виталий Васильевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Приборы и методы измерений, контроля, диагностики» ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова», г. Ижевск, Удмуртская республика;

5. Астанин Владимир Васильевич, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры «Материаловедение и физика металлов» ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий», г. Уфа, Республика Башкортостан;

6. Андрюшкин Александр Юрьевич, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Технология конструкционных материалов и производство ракетно-космической техники» ФГБОУ ВО «Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова», г. Санкт-Петербург;

7. Шатульский Александр Анатольевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Материаловедение, литье и сварка» ФГБОУ ВО «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьёва», г. Рыбинск, Ярославская область;

8. Башкова Татьяна Игоревна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Материаловедение и технология новых материалов» ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет», г. Комсомольск-на-Амуре, Хабаровский край;

9. Белов Николай Александрович, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник кафедры «Обработка металлов давлением» ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва;

10. Сафонов Владимир Михайлович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Электрометаллургия» Выксунский филиал ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Выкса, Нижегородская область;

11. Арсенкин Александр Михайлович, кандидат технических наук, заведующий лабораторией металловедения и прочности ООО «Исследовательский центр ТМК», г. Москва;

12. Григорович Константин Всеволодович, академик РАН, доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией диагностики материалов; Комолова Ольга Александровна, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории диагностики материалов, ФГБУН «Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук», г. Москва.

Все отзывы положительные, отмечают высокую актуальность проведённых исследований, научную новизну и достоверность полученных результатов, практическую значимость работы в области металловедения и термической обработки. Во всех отзывах указывается, что Ворожева Евгения Львовна заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1 - Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

В качестве наиболее существенных критических замечаний и вопросов отмечается:

Из автореферата не понятно, происходит ли растворение в туннельной печи неметаллических включений на основе ниобия, выделившиеся в непрерывнолитой заготовке в линии разливки; не отмечено, какое количество измерений использовано в исследовании, как использовались инструменты статистического анализа при построении зависимостей; не указано (стр.12), что является критерием установления температуры завершения деформации (840°C) при контролируемой прокатке в условиях стана 1950 ЛПК; недостатком является то, что автор хоть и упоминает в актуальности и выводах работы о требованиях к

коррозионной стойкости, но не ясно, каким образом оценивалась коррозионная стойкость и какие результаты были получены; не ясно, почему для исследования были выбраны марки сталей 30Г и 05ХГБ; в Главе 3 получены расчёты дендритной сегрегации в Thermo-Calc, однако не отмечено, с какой точностью экспериментальные данные совпадают с расчётными; не ясно, как рассчитаны скорости охлаждения непрерывнолитых заготовок; автор работы указывает на снижение объёмной доли карбонитридов в металле с 0,00035 до 0,0003 при увеличении толщины слябов; диссертант не приводит при этом величину ошибки определения объёмной доли, что не позволяет сделать вывод о значимости данной величины.

Выбор официальных оппонентов обосновывается их компетентностью и опытом работы в области производства трубных сталей и подтверждается числом публикаций в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, за последние пять лет. Профессор Выбойщик Михаил Александрович является ведущим российским специалистом в области создания сталей для производства нефтепромысловых труб повышенной прочности и коррозионной стойкости, включая разработку состава и структурного состояния, обеспечивающее высокие механические и коррозионные свойства соединительных деталей трубопроводов нефтегазопроводных систем, анализ структуры и свойств трубных сталей при термомеханической обработке и разрушения соединительных деталей нефтепромысловых трубопроводов в процессе эксплуатации, создания сталей для производства нефтепромысловых труб повышенной прочности и коррозионной стойкости. Рингинен Дмитрий Александрович является известным специалистом в области производства на литейно-прокатных комплексах рулонного проката для труб магистральных трубопроводов с одновременным обеспечением равномерного удлинения и хладостойкости, а также в области производства толстолистового проката.

Выбор ведущей организации обосновывается тем, что Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» – федеральный опорный университет, ведущий российский университет, одним из приоритетных научных направлений работы которого являются фундаментальные и прикладные исследования в области разработки технологии производства листового проката из высокопрочной конструкционной стали северного исполнения. В его состав входит кафедра «Литейные процессы и

материаловедение», на которой работают признанные специалисты по теме представленной диссертации в области теории и технологии металловедения и термической обработки, включая процессы термической обработки конструкционных экономно-легированных высокопрочных сталей для Арктики и крайнего Севера, формирования структурно-фазовых превращений в хладостойких сталях, что подтверждается публикациями по данной тематике за последние пять лет.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- **разработана** новая научная идея, обогащающая научную концепцию термомеханической обработки низкоуглеродистых микролегированных ниобием сталей в процессе без предварительного $\gamma \rightarrow \alpha \rightarrow \gamma$ превращения для измельчения аустенитного зерна, основанная на снижении доли выделившихся до прокатки соединений ниобия при затвердевании заготовки в линии непрерывной разливки, а также равномерного воздействия на дендритную структуру, относительно которой формируется рекристаллизованное аустенитное зерно при черновой прокатке;

- **предложены** оригинальные суждения по заявленной тематике, основанные на том, что дендритные сегрегации марганца и ниобия являются одними из центров образования структурной неоднородности после прокатки стали марки 05ХГБ, дендритная сегрегация Mn и локальное выделение соединений Nb до прокатки способствует неоднородности размеров аустенитных зёрен в ходе термодеформационной обработки; методика оценки равномерности местных деформаций для образования однородной структуры аустенита под действием термомеханической обработки;

- **доказаны** перспективность использования новых технических решений в практике совершенствования технологии производства горячекатаного проката применительно к условиям литейно-прокатного комплекса и наличие закономерностей формирования микроструктуры в зависимости от уровня дендритных сегрегаций в технологии совмещённого процесса непрерывной разливки и термомеханической обработки стального проката трубных сталей;

- **введено** новое понятие «распределение объёмной доли соединений ниобия в зависимости от дендритной структуры».

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- **доказаны** положения, вносящие вклад в расширение представлений об изучаемом процессе структурообразования для

обеспечения механических свойств в горячекатаном прокате трубных сталей, такие как: при превращении $\delta \rightarrow \gamma$ концентрация Nb увеличивается на оси дендрита в 1,3 раза по сравнению с содержанием элемента в расплаве; дендритные сегрегации Mn и Nb приводят к образованию структурной неоднородности, снижающей хладостойкость; установлен фактический диапазон расстояний между дендритными осями второго порядка в слябах толщинами 90 мм и 105 мм; формирование аустенитной структуры в ходе черновой прокатки зависит от дендритной структуры; установлена количественная связь между степенью деформации и относительным изменением расстояния между дендритными осями первого порядка.

- применительно к проблематике диссертации эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов **использован** комплекс существующих базовых методов исследования микроструктуры и механических свойств, в том числе методов математического моделирования процессов образования дендритных сегрегаций с использованием накопленных эмпирических данных,

- **изложены** научные факты, подтверждающие, что расстояния между дендритными осями второго порядка составляют от 22 до 180 мкм; при затвердевании низкоуглеродистых микролегированных сталей формируется дендритная сегрегация микролегирующего элемента ниобия; доказательства того, что размер рекристаллизованных зёрен после черновой прокатки формируется в зависимости от исходной дендритной структуры: в участках, занятых вытянутыми дендритными остовами, присутствуют полностью рекристаллизованные аустенитные зёрна размером около 110 мкм, а в междендритных пространствах - зёрна мелкого размера менее 10 мкм,

- **раскрыты** закономерности распределении объёмной доли соединений ниобия относительно дендритной структуры в непрерывнолитой заготовке и в выделении до термомеханической обработки карбонитридов ниобия в участках, занятыми дендритными остовами и межосных промежутках: на осях дендритов температура начала выделения карбидных частиц составляет 1140°C, между осями - 1095°C, в металле перед входом сляба толщиной 90мм в туннельную печь при температуре 950°C выделяется около 60% карбидов ниобия от общего содержания карбидов на дендритных осях и выделяется 50% карбидов ниобия от общего содержания карбидов в межосных промежутках,

- **изучены** связи образования в микроструктуре проката областей с повышенным содержанием малоугловых границ с дендритными

сегрегациями и генезис процесса хрупкого разрушения образцов при испытании на ударный изгиб,

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

- **разработаны и внедрены** технологии производства слябов повышенной (105 мм) толщины в условиях литейно-прокатного комплекса АО «Выксунский металлургический завод»,

- **определены** перспективы практического использования сляба увеличенной толщины для повышения производительности за счет увеличения объема выпускаемого проката из стали марки 05ХГБ класса прочности K52,

- **создано** направление снижения доли выделившихся до прокатки в структуре заготовки соединений ниобия в линии машины непрерывной разливки стали и равномерного воздействия на дендритную структуру, относительно которой формируется рекристаллизованное аустенитное зерно при черновой прокатке,

- **представлены** технологические рекомендации для температур завершения деформации и скорости охлаждения на основании построенных термокинетических диаграмм для обеспечения микроструктуры и механических свойств горячекатаного проката трубных сталей из слябов повышенной толщины, а именно в горячекатаном прокате из низкоуглеродистой микролегированной Nb стали толщиной 7-8 мм показатели ударной вязкости более 250 Дж/см² стабильно фиксируются до температуры -60°C. Доля вязкой составляющей проката при испытании продольных образцов также находится на стабильном и предельно высоком уровне 100%.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что:

- **результаты** экспериментов получены на сертифицированном оборудовании, показана их воспроизводимость в различных условиях;

- **теория** построена на известных, проверяемых данных, фактах и согласуется с опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации;

- **идея** базируется на анализе практики и обобщении передового опыта отечественных и зарубежных исследователей в области теории и практики получения горячекатаного высокопрочного проката трубных сталей с требованиями по хладостойкости;

- **использовано** сравнение авторских экспериментальных данных и данных, полученных и опубликованных ранее по рассматриваемой тематике;

- **установлено** качественное и количественное совпадение результатов диссертации с результатами, представленными в независимых источниках по данной тематике;

- **использованы** современные методики сбора и обработки исходной информации, в том числе разработанные специализированные программы для ЭВМ и представительные выборочные совокупности с обоснованием подбора объектов (единиц) наблюдения и измерения.

Личный вклад соискателя состоит в выборе объекта и предмета исследования; постановке задач экспериментальных и теоретических исследований; поиске и выборе методов решения поставленных задач; разработке теоретических положений; непосредственном участии в проведении лабораторных и промышленных экспериментов; обработке, интерпретации и обобщении полученных результатов. Основные теоретические положения и научные результаты, являющиеся предметом защиты, получены автором самостоятельно.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания: не отмечено, почему объёмная доля карбонитридов при переходе сляба с толщины 90 мм на толщину 105 мм уменьшается, не корректное словосочетание «первичные дендриты», не отмечено влияние хрома, не раскрыта связь степени деформации и относительного изменения расстояния между осями первого порядка, не используются размерности в международной системе единиц СИ, цель работы сформулирована не совсем корректно

Соискательница Ворожева Е.Л. частично согласилась с замечаниями и привела собственную аргументацию на некоторые замечания, высказанные во время дискуссии:

1. Снижение объёмной доли карбонитридов при переходе сляба с толщины 90 мм на толщину 105 мм обусловлено повышением температуры за счёт снижения скорости охлаждения в линии разливки с 950 до 1005°C.

2. Дендритная сегрегация хрома отсутствует, ниобий является более сильным карбидообразующим элементом и неоднородное выделение карбонитридов ниобия при затвердевании сляба является одним из факторов структурной неоднородности. Согласно расчётам программного пакета Thermo-calc температура выделений соединений с хромом одинаковая на осях и межосных промежутках: составила 725°C, что является ниже температуры завершения деформации.

3. Имитацией горячей прокатки установлено, что относительные изменения между дендритными осями первого порядка соответствуют

