

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу **Кондратьева Никиты Андреевича**  
«Разработка научно-технологических основ изготовления листового проката  
толщиной 5-15 мм из высокопрочной хладостойкой стали с пределом  
текучести не менее 460 МПа для морской техники», представленную  
на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности  
2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов

### Актуальность избранной темы диссертационной работы

Для изделий машиностроения и морских сварных конструкций, эксплуатирующихся в том числе в северных регионах с низкими температурами, достигающими до минус 60 °С, все чаще требуются высокопрочные хладостойкие стали относительно небольших толщин 5...15 мм. Производство листового проката высокой прочности малых толщин из судостроительных сталей по ГОСТ Р 52927-2023 в России затруднено по ряду причин, связанных как с отсутствием технологий, так и с возможностями имеющегося на предприятиях РФ оборудования, которое не исключает появления анизотропии свойств по длине рулоне. Поэтому автор поставил перед собой задачу предложить варианты известных в судостроении марок стали и технологических приемов при производстве листового проката толщиной 5...15 мм с пределом текучести выше 460 и до 690 МПа, которые обеспечили бы формирование довольно однородной и мелкозернистой структуры для получения заданных прочностных свойств в сочетании с высокой хладостойкостью. Реализация предполагалась методом имитационного моделирования, позволяющим сократить затратность разработки новых технологий, с подробным изучением всех процессов изменения структуры, происходящих при непрерывной горячей прокатке с ускоренным охлаждением. Вторым важным моментом является задача замещения импорта высокопрочных марок стали малых толщин, которые приобретались

ИИЦ «Курчатовский институт» ЦНИИ КМ «Прометей»	
Вх. № 914/04-283/БФ0	№
«15» 04 20 26г.	подп.
Осн. 8 л.	
Прил. — л.	

за рубежом и не всегда отвечали требованиям к материалу для работы в сложных климатических условиях. В связи с вышеизложенным актуальность диссертационной работы Кондратьева Н.А. не вызывает сомнений.

### **Общая характеристика диссертационной работы**

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, выводов по главам, заключения, списка литературных источников (186 наименований), приложения. Объем диссертации – 226 страниц. Представлен акт об использовании результатов кандидатской диссертации.

**Объектами исследования** являются низкоуглеродистая низколегированная и легированная судостроительная сталь марок 07Г2НФБ и 09ХН2МД(Ф)Б.

**Достоверность и обоснованность основных научных положений, результатов, выводов и рекомендаций** работы подтверждена использованием воспроизводимых экспериментальных методик, современного сертифицированного оборудования при проведении исследований, взаимодополняющими методами структурных исследований, корректной обработкой экспериментальных данных. Все полученные результаты и выводы не противоречат современным научным представлениям.

**Оценка содержания автореферата, оформления и апробации диссертационной работы.** Автореферат полностью соответствует диссертации, отражает все ее основные положения и результаты. Диссертация и автореферат хорошо оформлены, текст изложен грамотным техническим языком и не содержит критических технических ошибок. Текст подкреплён исчерпывающим иллюстративным и табличным материалом (104 рисунка и 42 таблицы). Результаты работы весьма подробно изложены в печатных работах с участием диссертанта (9 научных работ, из них 3 в изданиях, рекомендованных перечнем ВАК РФ, 1 статья в изданиях, входящих в международную базу научного цитирования WEB of SCIENCE и SCOPUS). Работа обсуждена на 5 научных конференциях с 2021 по 2025 год.

## **Научная новизна работы и практическая значимость**

Работа имеет несомненную **научную новизну**, наиболее значимые ее положения состоят в следующем. Установлено, что из стали предложенных композиций легирования возможно получение листового проката широкого спектра прочности: из стали марки 07Г2НФБ - толщиной 5 мм уровня прочности 460-690 МПа, а из стали марки 09ХН2МД, дополнительно легированной ниобием или ванадием, - листового проката толщиной 5-7 мм уровня прочности 500-690 МПа.

В работе сформулированы принципы назначения технологических параметров изготовления листового проката толщиной 5...15 мм из хладостойкой стали марки 09ХН2МДБ уровня прочности не менее 460 МПа на непрерывном стане. При этом показано, что значения характеристик прочности и работы удара могут быть получены регулированием температуры горячей прокатки, температуры окончания процесса и скорости ускоренного охлаждения за счет формирования бейнитной структуры различной морфологии, изменения соотношения доли феррита, гранулярного и реечного бейнита, а также размера структурных составляющих.

Изучено влияние высокоскоростной горячей пластической деформации в аустенитной области на кинетику фазовых превращений и протекание динамической рекристаллизации, что ранее не было известно для этих марок стали, несмотря на то, что известны они довольно давно. Показано влияние ванадия и ниобия на фазовые превращения после высокоскоростной деформации.

**Практическая значимость** работы состоит в разработке научно-технологических основ изготовления листового проката толщиной 5...15 мм из высокопрочной хладостойкой стали уровня прочности 460...690 МПа на непрерывных станах горячей прокатки с реверсивной и непрерывной клетями; разработке методических указаний для имитационного моделирования процесса получения листового проката на непрерывном стане горячей прокатки, которые внедрены в учебный процесс СПбПУ Петра Великого; опробование раз-

работанных технологий в промышленных условиях на реверсивном стане горячей прокатки. Методические указания, описывающие последовательный процесс имитационных стадий моделирования, без сомнения, будут полезны аспирантам, студентам старших курсов, работникам инженерно-технических центров металлургических комбинатов.

### **Анализ работы по разделам**

**Во введении** обоснована актуальность диссертационной работы, сформулированы цель и основные задачи проведенных исследований, научная новизна работы и положения, вынесенные на защиту, теоретическая и практическая значимость работы, описан личный вклад соискателя, приведены сведения о достоверности и апробации полученных результатов.

**В первой главе** проведен комплексный анализ российского и зарубежного опыта производства сталей уровня прочности от 460 МПа и более. Показано, что для листового проката толщиной 5...15 мм требуемых уровней прочности чаще применяют стали марганцевой композиции легирования с небольшими добавками хрома, меди и молибдена и микролегированием ванадием, ниобием и титаном. Подробно рассмотрены особенности технологического процесса, в том числе на основе патентного поиска, проведен анализ влияния технологических параметров на структуру и свойства листового проката с учетом имеющегося оборудования для производства листового проката небольших толщин. На основании проведенного исследования были сформулированы цель работы и задачи исследования.

**Во второй главе** приведена информация о материалах и методах исследования. Рассмотрено имитационное моделирование процессов структурообразования. Для получения достоверных данных о структуре и свойствах полученных материалов в работе применен комплекс современных аналитических методов исследования.

**В третьей главе** разработаны требования к химическому составу, микроструктуре, механическим свойствам и характеристикам работоспособности листового проката толщиной 5...15 мм из стали уровня прочности не менее

460, предназначенной для эксплуатации в арктических условиях, удовлетворяющие требованиям ГОСТ Р 52927-2023 на поставку судостали и «Правил классификации и постройки морских судов» Российского морского регистра судоходства. Для контроля качества листового проката обосновано применение ударных образцов, вырезанных как поперек, так и вдоль направления прокатки, а для оценки технологичности – необходимость проведения испытаний на излом и холодный изгиб полнотолщинных проб. Определены технологические параметры изготовления листового проката толщиной 5...15 мм с учетом роста зерна аустенита, процессов динамической рекристаллизации, структурообразования в аустенитной области, а также фазовых превращений при охлаждении, что позволило выполнить имитационное моделирование сквозного технологического процесса. Имитационное моделирование различных стадий технологического процесса выполнено на дилатометре с возможностью сжатия и пластометре «Gleeble-3800», проведены структурные исследования с помощью оптической металлографии и анализа методом обратно рассеянных электронов.

**В четвертой главе** приводятся результаты выполненного имитационного моделирования полного цикла производства листового проката толщиной от 5 до 15 мм на пластометре «Gleeble-3800», соответствующее термомодеформационной обработке с ускоренным и последующим замедленным охлаждением на непрерывном стане горячей прокатки. Показано, что изменения термомодеформационных схем на черновой и чистовой стадиях прокатки приводят к существенным изменениям структуры стали марки 09ХН2МДБ, которая изучена с помощью растровой и просвечивающей электронной микроскопии, позволяя получать листовой прокат различного уровня прочности от 460 до 690 МПа.

**В пятой главе** приведены разработанные режимы термомодеформационной обработки листового проката толщиной 5...15 мм, соответствующие горячей прокатке на непрерывном стане, а также результаты по их опробованию на лабораторных станах («Дуо-600» и «Кварто-800»), оценке его качества, в

том числе для листового проката толщиной 8...15 мм, изготовленного на стане «5000» в промышленных условиях ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат». На основании полученных результатов разработаны рекомендации для промышленного изготовления листового проката с гарантируемым пределом текучести более 460 МПа из стали марок 07Г2НФБ и 09ХН2МДБ на непрерывных широкополосных станах горячей прокатки.

**В заключении** содержится краткое обобщение и основные выводы по работе из 10 пунктов. Выводы отражают основные результаты проведенных исследований и соответствуют поставленным цели и задачам работы.

### **Замечания по рассмотренной диссертационной работе**

На основании рассмотрения диссертационной работы и автореферата можно сделать следующие замечания:

1. На стр. 5 автореферата и стр. 10 диссертации в первом пункте научной новизны указано, что «для листового проката толщиной 7 мм с целью получения проката уровня прочности 500-690 МПа следует использовать сталь хромоникельмолибденовой композиции легирования на базе марки 09ХН2МД (Сэкв: 0,44-0,54 %)». При этом в табл. 1 автореферата и табл. 2.1.1 диссертации максимальное значение Сэкв 0,51 %.

2. Известно, что наличие в стали хрома, молибдена, ниобия, ванадия приводит к образованию карбидных и карбонитридных фаз. Однако в работе этих фаз обнаружено не было. Объясните, по какой причине они не образуются. Наличие таких мелкодисперсных включений было бы полезно для сохранения мелкозернистой структуры, внося вклад в повышение прочности и работы удара.

3. В работе сравнивается микролегирование стали 09ХН2МД ниобием и ванадием. Вместе с тем, большая часть исследований посвящена стали с ниобием.

4. На стр. 18 автореферата указано, что повышение работы удара при минус 40 °С (по сравнению с минус 60 °С) повышает хладостойкость. Считается, что повышение температуры удара снижает хладостойкость.

5. Согласно требованиям табл. 4 автореферата и 5.2.1 диссертации KV<sup>-40</sup> для проката толщиной 15 мм должно составлять не менее 80 Дж, однако приведенные значения работы удара для стали 09ХН2МДБ при толщине проката 15 мм значительно меньше допустимых. На стр. 18 автореферата указано: «использование стали марки 09ХН2МДБ для изготовления листового проката толщиной 15 мм (уровня прочности 460 и 550 МПа) по технологии ТМО+УО не позволяет достичь требуемых значений работы удара», на стр. 172-173 диссертации «удовлетворительные значения работы удара сохраняются лишь при температуре испытания 0 °С». На основании чего в таком случае автор утверждает о возможности применения разработанной технологии для получения листового проката толщиной 15 мм.

6. Желательно уточнить снижение работы удара для листового проката толщиной 5 мм при величине  $S_{экв}$  в диапазоне 0,42...0,44% (рис. 11 автореферата и 5.2.8 диссертации), при том, что значения характеристик прочности все время повышаются.

Сделанные замечания не снижают положительной оценки работы, так как не затрагивают ее основные положения, научную новизну и выводы по работе.

### **Заключение**

Диссертационная работа Кондратьева Никиты Андреевича является законченной научно-квалификационной работой в области металловедения, в которой решена задача по разработке научно-технологических основ изготовления листового проката толщиной 5...15 мм из высокопрочной хладостойкой стали уровня прочности не менее 460 МПа для морской техники. Результаты научных изысканий являются новыми и обоснованными, они имеют существенное научное и практическое значение.

Представленная диссертационная работа по актуальности, научной новизне, теоретической и практической значимости, а также объему соответ-

ствуют требованиям п.9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842. Автор данной работы Кондратьев Никита Андреевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1.Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» (Санкт-Петербургский университет императрицы Екатерины II)

199106, г. Санкт-Петербург, В.О., 21 линия д. 2, тел.: +7(812) 382-01-28  
e-mail: rectorat@spmi.ru

Доктор технических наук, доцент,  
профессор кафедры  
материаловедения и технологии  
художественных изделий

  
Светлана Антониновна Вологжанина



С.А. Вологжанова  
Заведующий  
кабинетом управления делопроизводства  
и контроля документооборота

  
Е.Р. Яковлева

13. 04. 2026

Ознакомлен 15.04.2026  
