

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
**«Пермский национальный  
исследовательский  
политехнический университет»  
(ПНИПУ)**

614990, Пермский край, г. Пермь,  
Комсомольский проспект, д. 29,  
тел. 8(342) 219-80-67,  
факс 8(342) 219-89-27, e-mail: [rector@pstu.ru](mailto:rector@pstu.ru)  
<http://www.pstu.ru>

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

**«УТВЕРЖДАЮ»**  
Проректор по науке и инновациям  
Пермского национального  
исследовательского  
политехнического университета,  
доктор технических наук, профессор

В.Н. Коротаев

2019 г.



**ОТЗЫВ**

ведущей организации ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет» на диссертационную работу  
Голубевой Марины Васильевны  
на тему: «Хладостойкая свариваемая сталь класса прочности 690 МПа для  
тяжелонагруженной техники»,  
представленную на соискание ученой степени  
кандидата технических наук по специальности  
05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Актуальность диссертационной работы определена потребностью в экономнолегированных высокопрочных свариваемых сталях для развития тяжелонагруженной техники, эксплуатирующейся, в том числе, в северных и арктических регионах. Так, на ОАО «БЕЛАЗ» потребовалась высокопрочная свариваемая сталь отечественного производства с определенным комплексом механических свойств (основные – это предел текучести не менее 690 МПа, ударная вязкость при температуре испытаний -70 °С (KCV) не менее 35 Дж/см<sup>2</sup>) и углеродным эквивалентом (С<sub>экв</sub> не более 0,53 %) для нового самосвала большой грузоподъемности, что и стало основной проблемой при разработке новой стали. В настоящее время существует довольно широкий спектр высокопрочных сталей, но с более высоким углеродным эквивалентом, то есть с более высоким уровнем легирования. Снижение содержания легирующих элементов благоприятно сказывается на свариваемости стали, но приводит к снижению прочностных характеристик стали. Автор обозначил целью своей работы создание высокопрочной стали с экономным легированием, улучшенной свариваемостью и



Сертифицировано  
«РУССКИМ РЕГИСТРОМ»

|                                                    |             |
|----------------------------------------------------|-------------|
| НИЦ «Курчатовский институт»-<br>ЦНИИ КМ «Прометей» |             |
| Вх. № 3443                                         | в ДЕЛО      |
| В 11.20.19 г.                                      | № _____     |
| Осн. 5 л.                                          | подп. _____ |
| Прил. _____ л.                                     |             |

хладостойкостью до температуры  $-70^{\circ}\text{C}$ , что является непростой задачей, особенно, если учесть требуемую толщину листового проката – до 50 мм.

Диссертационная работа логично выстроена и состоит из введения, семи глав, заключения, списка литературы и четырех приложений, в которых также представлен акт внедрения результатов диссертационной работы. Результаты исследований подтверждены значительным объемом иллюстративного материала.

Во введении показана актуальность работы, представлены цели и задачи работы, объект и предмет исследований, а также подход к выполнению поставленной цели. Приводятся основные положения на защиту.

В первой главе приведен литературный обзор опубликованных материалов, в котором представлен анализ существующих высокопрочных марок сталей, отличающихся композицией легирования и технологией изготовления. Приведены основные способы повышения прочностных характеристик в сочетании с высокими вязкопластическими свойствами при снижении уровня легирования. Сформулирована постановка задачи диссертационной работы.

Во второй главе приведены химические составы низкоуглеродистой высокопрочной марки стали с  $C_{\text{экв}} = 0,46 - 0,61 \%$  с различным содержанием основных легирующих элементов (хрома, молибдена, никеля и меди) и представлены методы исследований. Для структурных исследований автор использует методы просвечивающей электронной микроскопии, дифракции обратно-отраженных электронов и атомно-зондовой томографии.

В третьей главе представлены результаты подробных исследований фазовых превращений в стали вышеуказанных химических составов, на основании которых автором был разработан химический состав стали с бейнитно-мартенситной структурой для изготовления высокопрочного листового проката в условиях ПАО «Магнитогорского металлургического комбината» (ПАО «ММК»).

В четвертой главе подробно описан процесс разработки режимов термоулучшения на основании проведенных исследований по влиянию температуры закалки на размер аустенитного зерна, структуру и свойства стали, а также температуры отпуска на процессы карбидообразования и изменения, происходящие в структуре стали при повышении температуры отпуска. Выбор режимов отпуска осуществлен с использованием параметра Холломона-Яффе и данных атомно-зондовой томографии. На основании полученных результатов была разработана технологическая документация для изготовления листового проката толщиной до 50 мм.

В пятой главе автор описал процесс изготовления листового проката из разработанной стали марки 09ХГН2МД в условиях ПАО «ММК» от выплавки до получения свойств материала. Результаты анализа структуры и свойств показали, что в листовом прокате формируется однородная бейнитно-мартенситной структура, а волокнистый вид излома и высокие значения ударной вязкости, в том числе после механического старения и при пониженных температурах подтверждают высокое качество стали и возможность ее применения для сварных конструкций, работающих при низких температурах.

В шестой главе представлены результаты исследования качества сварных соединений, полученных электродуговой сваркой в условиях завода-строителя и лазерной сваркой в опытно-экспериментальном производстве. Большое внимание уделено автором рассмотрению возможности применения лазерной сварки для



Сертифицировано  
«РУССКИМ РЕГИСТРОМ»

листового проката небольших толщин (10-12 мм). Рассмотрено влияние высокой скорости нагрева (500 °С/с) на фазовые превращения, размер зерна и структуру при имитации участков зоны термического влияния (ЗТВ), что, несомненно, является новизной работы, а также влияние погонной энергии на ширину ЗТВ, микротвердость и структуру в разработанной стали. Автором установлено, что разработанная сталь обладает удовлетворительной свариваемостью, определена возможность применения лазерной сварки для листового проката толщиной до 12 мм.

В седьмой главе представлены сведения о внедрении результатов работы.

В заключении диссертационной работы по результатам проведенных исследований сформулированы основные выводы.

Анализ материалов диссертационной работы и автореферата Голубевой М.В. позволяет сделать вывод о **научной новизне результатов** исследования, важнейшие из которых состоят в следующем:

1. Установлено минимальное содержание основных легирующих элементов, позволяющее сформировать в низкоуглеродистой экономнолегированной стали бейнитно-мартенситную структуру по всему сечению листового проката в толщинах до 50 мм.

2. Определено влияние температуры высокого отпуска на процессы карбидообразования и формирование структуры в низкоуглеродистой экономнолегированной стали.

3. Показано, что формирование при закалке дисперсной бейнитно-мартенситной структуры с высокой плотностью дислокаций и определенным соотношением долей бейнита и мартенсита при отсутствии структурно свободного феррита гарантирует в листовом прокате из разработанной стали после высокого отпуска в интервале температур 570-600 °С получение предела текучести не менее 690 МПа и ударной вязкости не менее 35 Дж/см<sup>2</sup> при температуре испытаний - 70°С.

4. Установлено, что высокоскоростной нагрев (~500 °С/с) при лазерной сварке способствует формированию мелкого зерна аустенита вблизи линии сплавления и более дисперсной бейнитно-мартенситной структуры на крупнозернистом участке зоны термического влияния, что позволяет обеспечить значения ударной вязкости не менее 100 Дж/см<sup>2</sup> при температуре испытаний до - 100°С в стыковом сварном соединении из разработанной стали толщиной 12 мм.

**Практическая значимость** работы заключается в разработке технологии изготовления в условиях ПАО «ММК» листового проката из новой высокопрочной свариваемой стали марки 09ХГН2МД, что позволило осуществить поставку партии листового проката на ОАО «БЕЛАЗ» для строительства карьерных самосвалов большой грузоподъемности. Получены результаты, способные к правовой охране, и подана заявка на патент № 209120117 от 26.06.2019 г.

**Личное участие автора в получении научных результатов диссертации** заключается в грамотной постановке задачи, определении методов проведения экспериментальных исследований (фазовых и структурных превращений, в том числе методов изучения особенностей структур при закалке и отпуске). С участием автора разработаны рекомендации для опытно-промышленного производства, техническая и технологическая документация и осуществлено техническое



Сертифицировано  
«РУССКИМ РЕГИСТРОМ»

сопровождение при изготовлении опытно-промышленной партии. Проведены анализ и обработка полученных результатов, сделаны необходимые выводы.

Основные положения работы представлены и обсуждены на 8 научных конференциях. Основное содержание работы опубликовано в 15 печатных работах, из них 4 статьи в журналах, рекомендованных перечнем ВАК, а две публикации изданы на английском языке и индексируются в БД SCOPUS.

Представленные положения диссертации отражают **степень достоверности результатов** проведенных исследований. Выводы и рекомендации, содержащиеся в диссертационной работе, подтверждены опытом положительного внедрения результатов работы в производстве. В условиях ПАО «ММК» изготовлена опытная партия листового проката из стали марки 09ХГН2МД класса прочности 690 МПа и переработана на ОАО «БЕЛАЗ», по результатам проведенных работ оформлены акты внедрения.

#### **Рекомендации по дальнейшему использованию.**

Полученные научно-практические результаты имеют значение в части их дальнейшего использования в области металловедения экономнолегированных высокопрочных сталей для различных отраслей промышленности, а именно: при разработке новых и оптимизации существующих химических составов высокопрочных марок стали и технологий их изготовления с целью получения требуемого комплекса механических свойств листового проката за счет управления процессами упрочнения и разупрочнения посредством термической обработки на металлургических предприятиях.

Диссертационная работа Голубевой М.В. представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, основные положения, выводы и рекомендации являются логичными и достаточно хорошо аргументированными.

По содержанию диссертации и автореферата можно отметить следующие замечания:

- в третьем абзаце на странице 106 диссертационной работы имеется неоконченное предложение;
- недостаточно проработан вопрос о влиянии морфологии бейнита на механические характеристики в стали (п. 4.4 дисс. работы);
- на странице 129 в подрисуночной подписи рисунка 5.13 под буквами в, е, и, м указано, что представлены светлопольные изображения карбидных частиц, хотя на самом деле показаны темнопольные изображения; кроме того, непонятно, в каком конкретно рефлексе сделаны изображения.

Отмеченные замечания не снижают общей положительной оценки и значимости результатов рассмотренной работы. Диссертационная работа изложена хорошим литературным языком. В автореферате и публикациях отражены основные положения, новизна и выводы диссертационной работы.

Диссертационная работа Голубевой М.В. на тему: «Хладостойкая свариваемая сталь класса прочности 690 МПа для тяжело нагруженной техники», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по актуальности, научной новизне, практической и теоретической значимости отвечает требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением РФ № 842 от 24.09.2013 г., а ее автор - Голубева М.В. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по



Сертифицировано  
«РУССКИМ РЕГИСТРОМ»

специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Работа заслушана и обсуждена на заседании кафедры «Металловедение, термическая и лазерная обработка металлов» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» 05 ноября 2019 г., протокол заседания № 8.

Отзыв подготовил проф., д.т.н., проф. кафедры «Металловедение, термическая и лазерная обработка металлов» Шацов Александр Аронович.

Заместитель заведующего кафедрой  
«Металловедение, термическая и лазерная  
обработка металлов», к.т.н., доцент



Т.В. Некрасова

Ученый секретарь кафедры  
«Металловедение, термическая и лазерная  
обработка металлов», доцент, к.т.н.



С.А. Белова



Сертифицировано  
«РУССКИМ РЕГИСТРОМ»