

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по науке  
Пермского национального  
исследовательского политехнического  
университета,  
доктор физико-математических наук,  
профессор



Швейкин А. И.  
12» сентябрь 2023 г.  
М.П.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

федерального государственного автономного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Пермский национальный исследовательский политехнический университет»  
Министерства науки и высшего образования Российской Федерации

Диссертация Юрченко Александра Николаевича «Фазовые превращения, структура и механические свойства конструкционных сталей системы легирования Х2Г2С2МФ с разным содержанием углерода» выполнена на кафедре «Металловедение, термическая и лазерная обработка металлов» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования Пермского национального исследовательского политехнического университета.

В период подготовки диссертации соискатель Юрченко Александр Николаевич работал в Пермском национальном исследовательском политехническом университете в должностях старшего преподавателя кафедры «Металловедение, термическая и лазерная обработка металлов», младшего научного сотрудника лаборатории методов создания и проектирования систем «Материал-технология-конструкция».

В 2015 году окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» по направлению подготовки 150400.68 Металлургия, в 2019 году окончил аспирантуру очной формы обучения федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» по направлению 22.06.01 Технологии материалов (период обучения с 01.10.2015 по 31.07.2019).

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Симонов Юрий Николаевич, заведующий кафедрой «Металловедение, термическая и лазерная обработка металлов» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования Пермского национального исследовательского политехнического университета.

03.09.2023  
ПРОСТАВИТЬ ПОДПИСЬ  
И ПЕЧАТ

и механические свойства конструкционных сталей системы легирования Х2Г2С2МФ с разным содержанием углерода» принято следующее **заключение:**

**1. Личное участие соискателя ученой степени в получении результатов, изложенных в диссертации, заключается в следующем:**

1. Соискатель провел анализ литературных источников, поставил цель и задачи исследования, провел дилатометрический анализ (построил термокинетические и изотермические диаграммы в области бейнитного превращения), термическую обработку опытных образцов в печах с окислительной атмосферой, испытания на одноосное растяжение и ударную вязкость для определения характеристик механических свойств, металлографический анализ структуры на световом микроскопе, количественный анализ структурных составляющих, а также обработку и анализ результатов экспериментов. Разработал методы выявления и определения доли бейнита в сталях системы легирования Х2Г2С2МФ (написал две заявки и получил два патента). Показал, что в конструкционных сталях типа Х2Г2С2МФ применение поляризованного света позволяет разделять бейнит и мартенсит после различных режимов термической обработки. Доказал, что для оценки полной доли бейнита с помощью поляризованного света требуется проводить наложение изображений структуры при разных углах поворота образца. Установил зависимость уровня яркости бейнита, образованного в изотермических условиях, от угла поворота образца в поляризованном свете. Показал, что изменение уровня яркости бейнита, образованного в изотермических условиях, происходит по синусоидальному закону с максимумом яркости через каждые  $45^\circ$ . Установил в сталях типа Х2Г2С2МФ закономерности влияния температуры нагрева, скорости охлаждения, температуры и длительности изотермической выдержки в печах с окислительной атмосферой на уровень прочности, пластичности, ударной вязкости и твердости. Внедрил результаты исследования при выполнении госбюджетных научно-исследовательских работ, которые позволили провести качественную и количественную оценку доли структурных составляющих в сталях типа Х2Г2С2МФ производства ПАО «Мотовилихинские заводы», построить термокинетические и изотермические (в бейнитной области) диаграммы распада переохлажденного аустенита, назначать режимы термической обработки для получения оптимального комплекса механических свойств. Подготовил публикации по результатам работы. При непосредственном участии автора было проведено обсуждение результатов, а также проведены электронно-микроскопические исследования.

2. **Степень достоверности результатов проведенных исследований** подтверждена применением комплекса современного исследовательского и экспериментального оборудования (световой инвертированный микроскоп Olympus GX 51, программно-аппаратный комплекс SIAMS 700, микротвердомеры ПИМТ-3 и Buehler Micromet 6040, испытательные разрывные машины P5 и INSTRON 5969, маятниковый копер мод. 2130КМ-0,3, световой стереомикроскоп Olympus SZX-16, сканирующие электронные микроскопы FEI PHENOMG2 ProX и Tescan Mira 3, дилатометр «Linseiss RITA L78», дифрактометр рентгеновский ДРОН-3) для

рентгеноструктурного и дилатометрического анализа, испытаний на одноосное растяжение и ударную вязкость).

Результаты, полученные в диссертации, воспроизводятся и подтверждаются при исследовании различными методами.

**3. Научная новизна диссертационного исследования** заключается в следующем:

1. Впервые выявлены и изучены закономерности  $\gamma \rightarrow \alpha$ -превращения в новых сталях системы легирования X2Г2С2МФ с содержанием углерода от 0,20-0,45 % при непрерывном охлаждении и изотермических условиях. Установлено, что бейнитное превращение не может существовать отдельно от мартенситного даже при самых низких скоростях охлаждения.

2. Установлены в сталях типа X2Г2С2МФ закономерности влияния температуры нагрева, скорости охлаждения, температуры и длительности изотермической выдержки в печах с окислительной атмосферой на уровень прочности, пластичности, ударной вязкости и твердости.

3. Показано, что в конструкционных сталях типа X2Г2С2МФ применение поляризованного света позволяет разделять игольчатый бейнит и мартенсит после различных режимов термической обработки. Установлено, что изменение уровня яркости игольчатого бейнита, образованного в изотермических условиях в стали 44X2Г2С2МФ, происходит по синусоидальному закону с максимумом яркости каждые  $45^\circ$ , а для оценки полной доли игольчатого бейнита требуется проводить наложение изображений структуры при разных углах поворота образца.

**4. Практическая значимость результатов исследования** состоит в следующем:

1. Построены термокинетические и изотермические диаграммы в области бейнитного превращения аустенита сталей системы легирования X2Г2С2МФ, позволяющие применить научно-обоснованный подход к разработке и совершенствованию технологических процессов термической обработки с использованием печей с окислительной атмосферой в производственных условиях (апробирование подтверждено актом внедрения технических разработок ЗАО «СКБ»).

2. Разработаны способы выявления и количественной оценки игольчатого бейнита в конструкционных сталях типа X2Г2С2МФ (получены патенты РФ №2734878 от 23.10.2020 и № 2769111 от 28.03.2022).

3. Достигнутый уровень характеристик механических свойств разработанных сталей позволяет отнести их и использовать в качестве высокопрочных автомобильных сталей третьего поколения.

**5. Полнота изложения материалов диссертации** в работах, опубликованных соискателем:

Содержание диссертационной работы достаточно полно отражено в 18 научных трудах, в том числе опубликованных в периодических журналах, включенных в

результаты диссертационных исследований, индексируемых в базе Scopus, получены 2 патента на изобретение.

**Статьи, опубликованные в ведущих рецензируемых научных изданиях:**

1. Юрченко А.Н. Микроструктурные особенности, механические свойства и термическая обработка бейнитных сталей / А.Н. Юрченко, Ю.Н. Симонов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета «Машиностроение, материаловедение». – 2016. – Т. 18, № 3. – С. 160-181. (перечень ВАК)

2. Юрченко А.Н. Изменение микроструктуры экономнолегированной стали в зависимости от скорости непрерывного охлаждения и температуры изотермической выдержки / А.Н. Юрченко, Д.О. Панов, Ю.Н. Симонов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета «Машиностроение, материаловедение». – 2017. – Т. 19, №1. – С. 98-110. (перечень ВАК)

3. Юрченко А.Н. Определение критических температур  $A_{C_1}$  и  $A_{C_3}$  в сталях системы легирования X2Г2С2МФ с помощью дилатометрического метода и метода пробных закалок / А.Н. Юрченко, М.А. Мариева, Р.Д. Гребенкин, Ю.Н. Симонов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета «Машиностроение, материаловедение». – 2019. – Т. 21, № 3. – С. 85-92. (перечень ВАК)

4. Юрченко А.Н., Симонов Ю.Н. Применение поляризованного света для количественной оценки доли бейнита в стали 44X2Г2С2МФ после изотермической закалки. Часть 1/ Юрченко А.Н., Симонов Ю.Н. // Сталь. – 2023. – №1. – С. 45-50. (перечень ВАК)

5. Юрченко А.Н. Превращения, структура и свойства стали 22X2Г2С2МФ при непрерывном охлаждении / А.Н. Юрченко, Ю.Н. Симонов, Д.О. Панов, А.И. Житенев // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2019. – № 10. – С. 33-37. (Scopus, перечень ВАК)

6. Юрченко А.Н. Превращения, структура и свойства стали 22X2Г2С2МФ при непрерывном охлаждении / А.Н. Юрченко, Ю.Н. Симонов, О.В. Ефимова // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2019. – № 10. – С. 38-42. (Scopus, перечень ВАК)

**Патенты:**

7. Пат. 2734878 РФ. С23F 1/28, G01N 33/20. Способ выявления бейнита в стали / А.Н. Юрченко, Ю.Н. Симонов; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет». заявл. 16.12.2019; опубл. 23.10.2020 // Бюл. № 30. 12 с.

8. Пат. 2769111 РФ. G01N 33/20. Способ выявления бейнита в конструкционной стали / А.Н. Юрченко, Ю.Н. Симонов; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет». заявл. 09.04.2021; опубл. 28.03.2022 // Бюл. № 10. 15 с.

**Научные труды, опубликованные в прочих изданиях:**

9. Юрченко А.Н. Исследование переохлажденного аустенита стали 44X2Г2С2МФ в условиях непрерывного охлаждения / Д.О. Панов, А.Н. Юрченко, О.Н. Сосновская // Сборник тезисов III Международной научно-практической

– ИТММ-2016», г. Пермь, 2016. – С. 108-110.

10. Юрченко А.Н. Исследование структуры и механических свойств экономнолегированных бейнитных сталей / А.Н. Юрченко, Ю.Н. Симонов // Сборник тезисов III Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии в материаловедении и машиностроении – ИТММ-2016», г. Пермь, 2016. – С. 174-177.

11. Юрченко А.Н. Влияние содержания кремния и углерода на получение бейнитной структуры после различных режимов термической обработки / А.Н. Yurchenko // Сборник тезисов русско-китайского симпозиума «2016-ASRTU IN EKATERINBURG» [Electronic resource]: UralFederalUniv., Ekaterinburg, Russia, June 23-26. – 2016: abstractbook. – P. 89-90.

12. Юрченко А.Н. Исследование фазовых превращений и микроструктуры после изотермической закалки экономнолегированной стали 22Х2Г2С2МФ / А.Н. Юрченко, Д.О. Панов // Сборник материалов и докладов XVII Международной научно-технической Уральской школы-семинара металлургов – молодых ученых Екатеринбург, 5-9 декабря 2016 г. <http://conf.tofm-urfu.ru/archive/2016>. – С. 97-101.

13. Юрченко А.Н. Механические свойства, микроструктура и фрактографический анализ сталей системы легирования Х2Г2С2МФ после различных режимов термической обработки / М.А. Мариева, А.Н. Юрченко, О.В. Ефимова // Сборник материалов и докладов XVIII Международной научно-технической Уральской школы-семинара металлургов – молодых ученых, г. Екатеринбург, 21-23 ноября 2017 г. <http://conf.tofm-urfu.ru/archive/2017>. – С. 610-613.

14. Юрченко А.Н. Выявление микроструктуры сталей системы легирования Х2Г2С2МФ методом цветного травления / О.В. Ефимова, А.Н. Юрченко, М.А. Мариева // Сборник материалов и докладов XVIII Международной научно-технической Уральской школы-семинара металлургов – молодых ученых, г. Екатеринбург, 21-23 ноября 2017 г. <http://conf.tofm-urfu.ru/archive/2017>. – С. 220-224.

15. Юрченко А.Н. Микроструктура и механические свойства сталей системы легирования Х2Г2С2МФ после различной термической обработки / А.Н. Юрченко // Сборник материалов XXIV Уральской школы металлургов-термистов, г. Магнитогорск, 19-23 марта 2018 г. – С. 76-77.

16. Юрченко А.Н. Определение критических температур  $A_{C1}$  и  $A_{C3}$  в сталях системы легирования Х2Г2С2МФ методом пробных закалок / Р.Д. Гребенкин, А.Н. Юрченко, М.А. Мариева // Материалы 4-й научно-практической конференции с международным участием «Инновационные технологии в материаловедении и машиностроении (ИТММ-2019)», г. Пермь, 23-27 сентября 2019 г. – С. 72-74.

17. Юрченко А.Н. Исследование микроструктуры стали 44Х2Г2С2МФ после изотермической закалки в поляризованном свете / О.В. Ефимова, А.Н. Юрченко // Материалы 4-й научно-практической конференции с международным участием «Инновационные технологии в материаловедении и машиностроении (ИТММ-2019)», г. Пермь, 23-27 сентября 2019 г. – С. 100-102.

18. Юрченко А.Н. Исследование количества остаточного аустенита в стали марки 44Х2Г2С2МФ при непрерывном охлаждении / М.А. Мариева, А.Н. Юрченко // Материалы 4-й научно-практической конференции с международным участием «Инновационные технологии в материаловедении и машиностроении (ИТММ-2019)», г. Пермь, 23-27 сентября 2019 г. – С. 165-166.

Диссертационная работа соответствует требованиям, установленным п. 14 Положения о присуждении ученых степеней. Текст диссертации представляет собой самостоятельную научно-квалификационную работу, не содержит заимствованного материала без указания ссылок на автора и (или) источник заимствования.

Диссертация «Фазовые превращения, структура и механические свойства конструкционных сталей системы легирования Х2Г2С2МФ с разным содержанием углерода» Юрченко Александра Николаевича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1 Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Заключение принято на расширенном заседании кафедры «Металловедение, термическая и лазерная обработка металлов» федерального автономного образовательного учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» «31» августа 2023 г. (протокол № 1).

Присутствовало на заседании 10 чел. из состава ППС кафедры «Металловедение, термическая и лазерная обработка металлов». Результаты голосования: «за» - 10 чел., «против» - 0 чел., «воздержался» - 0 чел.

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

/Некрасова Татьяна Витальевна

Секретарь кафедры  
«Металловедение,  
термическая и лазерная  
обработка металлов»

/Жаркова Мария Владимировна