

## УТВЕРЖДАЮ

Проректор по образовательной  
деятельности Федерального  
государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего  
образования «Тюменский  
индустриальный университет», к.т.н.,



доцент

А.М. Тверяков

15 » 05 2026 г.

## О Т З Ы В

ведущей организации на диссертацию *Хузнахметова Руслана Маратовича* на тему: «Влияние режима лазерной обработки на фазовые превращения в поверхностном слое материалов нефтегазового оборудования», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. Материаловедение (отрасль науки – технические).

### 1. Актуальность темы диссертации

В современных условиях развития нефтегазовой отрасли, инфраструктуры хранения и транспортирования СПГ, а также криогенных технологий особое значение приобретает обеспечение надёжности оборудования, эксплуатируемого при воздействии низких температур, агрессивных сред и промышленных конденсатов, а также в условиях повышенных требований к идентификации оборудования. Элементы трубопроводов, сосудов, резервуаров, трубопроводной арматуры, авто- и железнодорожных цистерн должны сохранять работоспособность и идентификационные признаки на протяжении всего жизненного цикла. Одним из перспективных направлений решения указанной задачи является применение лазерной обработки поверхностного слоя материалов. При этом для сталей, применяемых в нефтегазовом и криогенном оборудовании, особенно важно не только сформировать устойчивый поверхностный рельеф, но и исключить нежелательные фазовые превращения, способные снизить коррозионную стойкость, питтинговую стойкость и надёжность изделий. В диссертационной работе Хузнахметова Руслана Маратовича исследуется влияние режимов

ОТЗЫВ

ВХ. № 9-123 от 02.06.26  
АУ УС

наносекундной лазерной обработки на процессы плавления, перемещения жидкой фазы и последующей кристаллизации поверхностного слоя аустенитной стали 12X18H10T. Выбор данного материала является обоснованным, поскольку аустенитные стали широко применяются в оборудовании нефтегазового комплекса, включая элементы систем хранения, транспортирования и переработки газообразных и криогенных продуктов. Актуальность работы определяется необходимостью установления таких режимов лазерной обработки, при которых обеспечивается формирование рельефа непосредственно из материала основы без применения защитных газовых сред и присадочных материалов, при сохранении аустенитной структуры без образования нежелательных фаз. Полученные результаты имеют значение для разработки долговечной лазерной маркировки, функциональных поверхностей и технологических решений для оборудования нефтегазового назначения.

## **2. Научная новизна диссертации**

В результате решения поставленных в работе задач разработаны новые научно-технологические решения по формированию выпуклой рельефной маркировки на поверхности стали 12X18H10T при сохранении аустенитной структуры и предотвращении нежелательных фазовых превращений. В диссертации Хузнахметова Р.М.:

2.1. Установлены закономерности влияния параметров импульсной лазерной обработки наносекундной длительности и стратегии сканирования на формирование выпуклого рельефа на поверхности стали 12X18H10T в режиме управляемого перераспределения расплава, при незначительной абляции, включая влияние траектории сканирования, энергии и степени перекрытия импульсов и числа циклов обработки на геометрические характеристики рельефа.

2.2. Доказана возможность сохранения аустенитной структуры, а также предотвращения процессов выделения карбидов  $Cr_{23}C_6$  по границам зёрен, образования  $\sigma$ -фазы и  $\delta$ -феррита на поверхности изделий из стали 12X18H10T при выбранных режимах лазерной обработки.

2.3. Экспериментально установлена зависимость высоты рельефа, формируемого на поверхности стали 12X18H10T в результате лазерной обработки методом перераспределения расплава, от параметров траектории сканирования и количества циклов обработки.

## **3. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций**

Достоверность результатов исследования и обоснованность научных положений диссертации подтверждаются применением методов планирования эксперимента и статистической обработки результатов, использованием стандартизированных методик исследования структурно-фазового состояния, микротвёрдости, коррозионной стойкости и износостойкости, проведением комплекса экспериментальных испытаний на

сертифицированном и поверенном оборудовании, а также апробацией основных результатов на всероссийских и международных научно-практических конференциях и публикациями в рецензируемых научных изданиях. Полученные выводы согласуются с современными представлениями о процессах тепло- и массопереноса, перераспределения расплава и структурно-фазовых превращениях в стали 12X18H10T при локальном импульсном лазерном воздействии.

#### **4. Научные результаты, их ценность**

В диссертации выявлено, что применение импульсной наносекундной лазерной обработки стали 12X18H10T в режиме управляемого перераспределения расплава позволяет формировать выпуклый рельеф непосредственно из материала основы без существенной абляции. Установлено, что при энергии импульса 0,225 мДж и степени перекрытия импульсов 99,58 % обеспечивается устойчивое формирование рельефа с заданными геометрическими характеристиками. Показано, что разработанные режимы лазерной обработки позволяют сохранить аустенитную структуру, предотвратить выделение карбидов  $Cr_{23}C_6$  по границам зёрен, образование  $\sigma$ -фазы и  $\delta$ -феррита в зоне лазерного воздействия.

Также экспериментально обосновано применение выпуклой рельефной маркировки на изделиях из стали 12X18H10T, полученной по разработанной технологии, позволяющей обеспечить сохранность и читаемость идентификационных признаков после коррозионных испытаний в камере соляного тумана, электрохимических исследований и испытаний на абразивное изнашивание.

Основные положения работы прошли апробацию на 6 научно-практических мероприятиях, в том числе на 5 международных.

Результаты диссертационного исследования в достаточной степени освещены в 8 печатных работах, в том числе в 2 статьях – в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий ВАК, в 3 статьях – в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получено 1 свидетельство о государственной регистрации базы данных.

#### **5. Теоретическая и практическая значимость результатов диссертации**

Теоретическая значимость работы заключается в научном обосновании и экспериментальном подтверждении режимов импульсной наносекундной лазерной обработки стали 12X18H10T, обеспечивающих формирование выпуклого рельефа за счёт управляемого перераспределения расплава при сохранении аустенитной структуры и предотвращении образования нежелательных фаз.

Комплексная оценка структурно-фазового состояния, коррозионной стойкости и устойчивости к абразивному изнашиванию подтвердила целесообразность применения разработанной технологии для формирования долговечной выпуклой рельефной маркировки на изделиях нефтегазового и криогенного назначения.

Практическая значимость работы подтверждается актом о внедрении результатов в ООО «Лазерный Центр» в виде рекомендаций по параметрам лазерной обработки коррозионностойкой стали 12X18H10T при маркировке деталей оборудования нефтегазового комплекса и изделий машиностроения, а также свидетельством о государственной регистрации базы данных № 2024624959 «База данных теплофизических и оптических параметров металлов для подбора режимов лазерной обработки» от 06.11.2024.

#### **6. Рекомендации по использованию результатов работы**

Результаты диссертации рекомендуются к применению на предприятиях, занимающихся изготовлением, маркированием и эксплуатацией изделий из аустенитных сталей, в частности элементов нефтегазового и криогенного оборудования: трубопроводов, сосудов, резервуаров, трубопроводной арматуры, авто- и железнодорожных цистерн.

Также рекомендуется использовать материалы диссертационного исследования в высших учебных заведениях и научно-исследовательских организациях, занимающихся проблемами лазерной обработки металлических материалов, управления структурно-фазовым состоянием поверхностных слоёв, повышения коррозионной стойкости и разработки долговечных способов маркирования изделий нефтегазового назначения.

#### **7. Замечания и вопросы по работе**

7.1 В работе убедительно обоснован выбор стали 12X18H10T в качестве основного материала исследования. Вместе с тем представляет интерес распространение полученных результатов на другие аустенитные коррозионностойкие стали, применяемые в нефтегазовом и криогенном оборудовании.

7.2. После испытаний в камере соляного тумана не выявлены продукты коррозии и питтинги, в связи с чем представляет интерес проведение дополнительных длительных или циклических испытаний, имитирующих чередование увлажнения, высыхания и температурных перепадов.

7.3. В диссертации установлено сохранение аустенитной структуры и отсутствие нежелательных фазовых превращений при выбранных режимах. Вместе с тем было бы полезно уточнить пределы чувствительности применённых методов фазового анализа к малым количествам карбидных или интерметаллидных фаз.

7.4. С учётом локального термического воздействия представляет интерес дальнейшая оценка остаточных напряжений в зоне выпуклого рельефа, особенно при нанесении маркировки на тонкостенные изделия.

7.5. В работе показана возможность применения разработанных подходов при сварке тонкостенных изделий. Вместе с тем было бы целесообразно более чётко разграничить результаты, непосредственно относящиеся к маркировке, и результаты, рассматриваемые как перспективные для технологии лазерной сварки.

Отмеченные вопросы и замечания имеют частный характер, не снижают научной значимости и положительной оценки диссертационной работы.

## 8. Заключение по диссертации

Диссертация «Влияние режима лазерной обработки на фазовые превращения в поверхностном слое материалов нефтегазового оборудования», представленная на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. Материаловедение (отрасль наук – технические), полностью отвечает требованиям раздела 2 «Положения о присуждении учёных степеней» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», утверждённого приказом ректора Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II от 20.05.2021 № 953 адм., а её автор – Хузнахметов Руслан Маратович – заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. Материаловедение (отрасль наук – технические).

Отзыв на диссертацию и автореферат диссертации Хузнахметова Руслана Маратовича обсуждён и утверждён на заседании кафедры «Материаловедение и технология конструкционных материалов» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тюменский индустриальный университет», протокол № 14 от 15.05.2026 года.

Председатель заседания

Заведующий кафедрой материаловедения и технологии конструкционных материалов Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тюменский индустриальный университет», кандидат технических наук, доцент



**Плекханов Владимир Иванович**

Секретарь заседания

Специалист I категории кафедры материаловедения и технологии конструкционных материалов Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тюменский индустриальный университет»,



**Вилкова Татьяна Ефимовна**

### Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский индустриальный университет»

Почтовый адрес: 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, д. 38

Официальный сайт в сети Интернет: <http://www.tyuiu.ru>

Электронная почта: [general@tyuiu.ru](mailto:general@tyuiu.ru)

Телефон: +7 (3452) 28-36-60



Труханова В.И.  
Вилкова Т.Е.  
15.05.2026

Организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский индустриальный университет»

Почтовый адрес: 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38.

Тел. / Факс: 8 (3452) 28-36-60.

E-mail: [general@tyuiu.ru](mailto:general@tyuiu.ru)

**Плеханов Владимир Иванович**

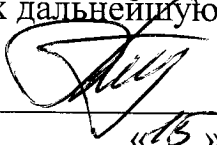
Заведующий кафедрой «Материаловедение и технология конструкционных материалов», кандидат технических наук (по специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов)

Адрес: 625000, Российская Федерация, г. Тюмень, ул. Володарского, 38.

Тел.: 8 (3452) 28-36-11.

E-mail: [plehanovvi@tyuiu.ru](mailto:plehanovvi@tyuiu.ru)

Согласен на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

  
В.И. Плеханов  
«15» 05 2026

**Вилкова Татьяна Ефимовна**


Специалист I категории кафедры «Материаловедение и технология конструкционных материалов», кандидат технических наук

Адрес: 625000, Российская Федерация, г. Тюмень, ул. Володарского, 38.

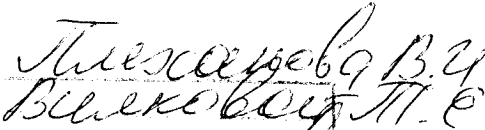
Тел.: 8 (3452) 28-36-11.

E-mail: [vilkovate@tyuiu.ru](mailto:vilkovate@tyuiu.ru)

Согласен на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

  
Т.Е. Вилкова  
«15» 05 2026



  
15 05 2026