

УТВЕРЖДАЮ

Ректор, д.т.н, доцент  
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский  
государственный морской технический университет»



Г.А. Туричин/  
«18» мая 2026 г.

### ОТЗЫВ

ведущей организации федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет» на диссертационную работу Шварца Ивана Валерьевича на тему «Структура и свойства материалов на основе нержавеющей стали и никелевого сплава, получаемых лазерно-аддитивным методом с ультразвуковым воздействием», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. Материаловедение.

#### Актуальность темы диссертации

Ключевой задачей любого технологического процесса является получение изделий с заданными свойствами и минимальной дефектностью. Лазерные и аддитивные технологии, обладая высокой производительностью и гибкостью, активно вытесняют традиционные методы изготовления ответственных деталей. Однако их широкое внедрение сдерживается наличием характерных дефектов: пористость, трещинообразование, формирование нерегулярной микроструктуры, что негативно сказывается на механических и эксплуатационных характеристиках продукции.

Введение ультразвукового воздействия в процессы лазерной обработки и 3D-печати рассматривается как один из наиболее эффективных способов управления структурой и свойствами материалов. Сложность реализации комбинированных лазерно-ультразвуковых технологий заключается в необходимости обоснованного выбора параметров (частота, мощность, схема подвода) и установления закономерностей влияния ультразвука на процессы кристаллизации, фазообразования и дефектообразования для различных классов сплавов, включая функционально-градиентные материалы.

Таким образом, диссертационная работа, направленная на установление связи между параметрами ультразвукового воздействия, микроструктурными изменениями и комплексом свойств сплавов, получаемых лазерно-аддитивными методами, представляет собой актуальное научное

исследование. Тема диссертационной работы Шварца Ивана Валерьевича является своевременной и не вызывает сомнений в своей актуальности.

### **Цель и задачи исследования**

Цель диссертационной работы – повышение микротвердости, прочности и износостойкости сплавов за счет управления микроструктурой с помощью ультразвукового воздействия в процессе лазерной точечной обработки (ЛТО) и прямого лазерного выращивания (ПЛВ).

Для достижения поставленной цели сформулированы и решены следующие задачи:

1) разработать экспериментальное оборудование для апробации и исследования методов ЛТО и ПЛВ с ультразвуковым воздействием с учетом конструктивных особенностей ультразвуковых излучателей Ланжевена с выходной мощностью генератора 100 Вт, рабочей частотой 22 кГц и 40 кГц соответственно;

2) разработать методику исследования геометрических параметров ванны расплава и микроструктуры, а также определить микротвердость нержавеющей сплава марки AISI316L для оценки степени влияния ультразвукового воздействия частотой 40 кГц и мощностью 100 Вт в процессе ЛТО;

3) разработать методику исследования микроструктуры, а также определить механические и трибологические свойства нержавеющей сплава марки EuTroLoy 16316D.04 для оценки степени влияния ультразвукового воздействия частотой 22 кГц и мощностью 100 Вт в процессе ПЛВ;

4) установить влияние ультразвукового воздействия частотой 22 кГц и мощностью 100 Вт на особенности формирования микроструктуры и микротвердости сплава Inconel 625 в процессе ПЛВ;

5) установить влияние ультразвукового воздействия частотой 22 кГц и мощностью 100 Вт на особенности формирования микроструктуры, микротвердости и химического состава функционально-градиентного образца на основе нержавеющей и никелевого сплава в процессе ПЛВ.

### **Соответствие паспорту научной специальности**

В рамках диссертационной работы разработаны экспериментальные установки, позволяющие реализовать ультразвуковое воздействие на процесс кристаллизации расплава в ходе лазерно-аддитивного производства для получения новых материалов с повышенными физико-механическими свойствами. Предложены методики количественного анализа геометрических параметров ванны расплава, микроструктуры сплавов, включая оценку

фазового состава и определение размеров столбчатых дендритов в аустенитных нержавеющей сталях. Установлены корреляционные зависимости между наблюдаемыми микроструктурными изменениями и комплексом механических и трибологических свойств исследованных материалов

Диссертация выполнена в соответствии с паспортом научной специальности 2.6.17 «Материаловедение» ВАК Минобрнауки РФ (технические науки) и подпунктами 1, 3, 4.

Результаты диссертационного исследования соответствуют следующим пунктам паспорта научной специальности 2.6.17. *Материаловедение:*

*П15. Теоретические и экспериментальные исследования фундаментальных связей состава и структуры материалов с комплексом физико-механических и эксплуатационных свойств с целью обеспечения надежности и долговечности деталей, изделий, машин и конструкций;*

*П16. Разработка физико-химических и физико-механических процессов формирования новых материалов, обладающих уникальными функциональными, физико-механическими, эксплуатационными и технологическими свойствами;*

#### **Научная новизна работы**

1) Установлено, что ультразвуковое воздействие частотой 40 кГц и мощностью 100 Вт в процессе ЛТО нержавеющей сплава марки AISI 316L приводит к увеличению микротвердости ванны расплава на 12,1-14,9% за счет формирования мелкозернистой аустенитно-ферритной структуры. При этом показано количественное изменение фазового состава микроструктуры с помощью разработанной методики исследования, которая позволила выявить увеличение X-фазы в пределах 48-52%. Разработанная методика исследования геометрических параметров ванны расплава позволила установить максимальное относительное увеличение площади поверхности на 15%, а площади поперечного сечения на 90%.

2) Установлено, что ультразвуковое воздействие частотой 22 кГц и мощностью 100 Вт в процессе ПЛВ нержавеющей сплава марки EuTroLoу 16316D.04 приводит к увеличению микротвердости зоны наплавленного металла на 12,7%, прочности при статическом растяжении на 10,2% и коэффициента трения на 26,3% за счет формирования мелкозернистой дендритной структуры. При этом показано количественное изменение размеров столбчатых дендритов с помощью разработанной методики исследования, которая позволила установить уменьшение среднего размера столбчатого дендрита на 22 – 43%, а также уменьшение

среднеквадратического отклонения размеров в пределах от 38,8 до 65,1%, что свидетельствует о более равномерной микроструктуре полученного сплава по сравнению с традиционным способом выращивания.

3) Экспериментально показано, что ультразвуковое воздействие частотой 22 кГц и мощностью 100 Вт в процессе ПЛВ жаропрочного никелевого сплава Inconel 625 приводит к увеличению микротвердости зоны наплавленного металла на 11,1% за счет формирования мелкозернистой дендритной структуры.

4) Установлено, что ультразвуковое воздействие частотой 22 кГц и мощностью 100 Вт при синтезе функционально-градиентного материала на основе металлопорошковых композиций из сплавов EuTroLoy 16316D.04 и Inconel 625 в процессе ПЛВ приводит к увеличению микротвердости в пределах 10,5-14,8% за счет формирования мелкозернистой равноосной дендритной структуры на всех структурных слоях. Методом энергодисперсионного анализа выявлено сглаживание относительной интенсивности химических элементов Fe и Ni в пределах 10-12% при переходе от одного структурного слоя к другому.

### **Общая характеристика работы**

Диссертация состоит из оглавления, списка сокращений и условных обозначений, введения, 4 глав, заключения, списка литературы. Общий объем диссертации составляет 118 страниц, 49 рисунков, 9 таблиц. Список литературы содержит 131 наименование.

**Во введении** раскрыта актуальность темы диссертации, показана степень ее разработанности. На основе критического анализа предметной области сформулированы цель и задачи диссертационного исследования. Определена теоретическая значимость как вклад в понимание механизмов структурообразования, а практическая значимость подтверждена возможностью применения разработанных технических решений. Описана методология исследования, включающая комплекс экспериментальных и аналитических методов. Ключевые результаты диссертации, обладающие научной новизной, выносятся на защиту в виде конкретных положений.

**В первой главе** приведен анализ традиционных и аддитивных лазерных технологий. Обоснована перспективность аддитивного производства как подхода, изменяющего парадигму проектирования и изготовления деталей. Выявлены и систематизированы основные дефекты, присущие лазерно-аддитивным процессам (объемные и поверхностные дефекты, структурная неоднородность, остаточные напряжения), и рассмотрены причины их возникновения. На основе обзора современных исследований выделены пять

основных направлений борьбы с дефектами, среди которых особое внимание уделено комбинированным методам с использованием ультразвукового воздействия при лазерной сварке и прямом лазерном выращивании. Показано, что использование комбинированных технологий позволяют комплексно управлять структурообразованием, повышая качество и эксплуатационные свойства изделий.

В диссертационной работе предлагается рассмотреть два взаимосвязанных технологических процесса с целью изучения структуры и механических свойств поверхностного слоя, а также формируемых покрытий и материалов. Это процесс ЛТО без добавления какого-либо присадочного материала, и процесс ПЛВ с добавлением присадочного материала в виде мелкодисперсного металлического порошка.

Во второй главе представлены характеристики исходных материалов, параметры процессов ЛТО и ПЛВ, а также описание разработанных методик исследования микроструктуры и поверхности образцов. Для реализации комбинированных лазерных процессов обработки и получения новых материалов с ультразвуковым воздействием созданы экспериментальные установки с использованием ультразвуковых излучателей Ланжевена (22 и 40 кГц, 100 Вт), с элементами крепления и охлаждения, изготовленными методом FDM-печати. Для количественной оценки степени ультразвукового воздействия на микроструктуру и геометрию ванны расплава в процессе ЛТО, разработаны методики исследования площади поверхности и площади поперечного сечения ванн расплава, а также фазового состава нержавеющей стали. Для количественной оценки степени ультразвукового воздействия на микроструктуру и геометрию ванны расплава в процессе ПЛВ разработана методика исследования размеров столбчатых дендритов. Экспериментальные исследования выполнены с использованием комплекса современного оборудования: лазерный дифракционный анализ (Mastersizer 3000), просеивающая машина (HAVER EML 315 digital plus), встряхивающий смеситель (TURBULA T2F), отрезной станок (AbrasiMatic 300), электроэрозионный станок (АРТА 450 ПРО), электрогидравлическая автоматическая система горячей запрессовки (SIMPLIMET XPS1), шлифовально-полировальный станок (BUEHLER ECOMET 300 PRO), оптические микроскопы (Carl Zeiss Axio Observer.A1m и Stemi 2000-C), электронный микроскопом с энергодисперсионным спектрометром (Auriga CrossBeam), микротвердомер (Tukon 2500), трибометр (Универсал-1А), универсальная электромеханическая испытательная машина Instron 5854.

В третьей главе представлены результаты экспериментального исследования образцов из стали AISI 316L, подвергнутых традиционной

лазерной точечной обработке (ЛТО) и комбинированному процессу ЛТО с ультразвуковым воздействием (частота 40 кГц, мощность 100 Вт). Основное внимание уделено анализу геометрических параметров ванны расплава и эволюции фазового состава микроструктуры. С использованием разработанной методики выполнена количественная оценка влияния ультразвуковых колебаний на площадь поверхности и площадь поперечного сечения ванны расплава. Установлено, что при фиксированном диаметре лазерного пятна и варьируемых параметрах обработки, ввод ультразвука приводит к изменению геометрии поверхности ванны и увеличению глубины проплавления. Наблюдаемый эффект предположительно обусловлен возникновением в расплаве областей знакопеременного давления, интенсифицирующих конвективные течения. Направленность потоков определяется градиентом температур и коэффициентом поверхностного натяжения. Микроструктурный анализ показал, что в обоих случаях материал нержавеющей стали представлен зернами аустенита с включениями  $\delta$ -феррита. Однако морфология структуры существенно различается: традиционная обработка методом ЛТО формирует ярко выраженные столбчатые дендриты, ориентированные по градиенту температур, тогда как ультразвуковое воздействие способствует трансформации структуры к глобулярной форме. Количественный анализ фазового состава нержавеющей стали с помощью разработанной методики, выполненный для различных зон ванны расплава, выявил следующие закономерности: в зоне сплавления содержание X-фазы (включающей  $\delta$ -феррит, карбиды и др.) практически идентично для обоих режимов (относительная разность менее 1 %, в центральной и смешанной зонах образцов, обработанных с ультразвуковым воздействием, содержание X-фазы значительно выше — относительная разность составляет 48–52 % соответственно. Таким образом, ультразвуковое воздействие изменяет условия кристаллизации, способствуя увеличению доли X-фазы в центральных областях ванны расплава и, как следствие, формированию мелкозернистой глобулярной структуры. Исследование микротвердости подтвердило корреляцию структурных изменений с механическими свойствами. Для экспериментов №2 и №6 зафиксировано повышение значений микротвердости в образцах, обработанных с ультразвуком. Относительная разность максимальных значений составила 14,9 % и 12,1 % соответственно.

**В четвертой главе** представлены результаты экспериментального исследования влияния ультразвукового воздействия (22 кГц, 100 Вт) на процесс ПЛВ образцов из сплавов EuTroLoy 16316D.04 и Inconel 625, а также функционально-градиентного материала на их основе. С использованием

разработанной методики выполнен количественный анализ размеров столбчатых дендритов аустенитного нержавеющей сплава. Установлено, что ультразвуковое воздействие существенно снижает разброс размеров дендритов: среднеквадратическое отклонение уменьшается на 38,8–65,1 % по сравнению с традиционным процессом выращивания. Для образцов, полученных без ультразвукового воздействия, среднеквадратическое значение близко к 1, что свидетельствует о значительной неоднородности структуры, однако при ультразвуковом воздействии дендриты более равномерно распределены вокруг среднего размера. В работе выявлено, уменьшение среднего размера дендритов на 22–43 % в различных зонах образцов при ультразвуковом воздействии в процессе ПЛВ. В диссертационной работе проведены механические и трибологические испытания образцов из сплава  $\text{CuTiCoLoy 16316D.04}$ , полученным методом ПЛВ с ультразвуковым воздействием и без. Результаты показали, что коэффициент трения образцов, полученных с ультразвуковым воздействием, стабилизируется на уровне 0,19, тогда как без УЗ — 0,14. Повышение износостойкости под действием ультразвука составило 26,3 %. Испытания на прочность при статическом растяжении показали увеличение среднего значения прочности на 10,2 % при незначительном (3 %) снижении относительной деформации. Исследования микротвердости показали, что в зоне основного металла изменения незначительны (относительная разность результатов - 0,8 %), однако, в зоне наплавленного металла зафиксирован прирост микротвердости на 22,1 HV<sub>0,2</sub> (12,7 %). Аналогичные закономерности выявлены для образцов из Inconel 625. Ультразвуковое воздействие инициирует переход от столбчатой дендритной структуры к ячеистой равноосной. Микротвердость зоны ОМ практически не меняется (относительная разность результатов - 0,5 %), тогда как в зоне наплавленного металла прирост составляет 35,4 HV<sub>0,2</sub> (11,1 %). Для функционально-градиентного материала, полученного послойным изменением химического состава, установлено, что микроструктура в зонах различного состава трансформируется от столбчатых дендритов к ячеистой равноосной форме при ультразвуковом воздействии. Микротвердость во всех зонах функционально-градиентного материала, выращенного с ультразвуком, выше на 10,5–14,8 %. Результаты энергодисперсионного анализа показали, что в образцах, полученных методом ПЛВ без ультразвукового воздействия, наблюдаются резкие скачки содержания Fe и Ni на границах слоев. Однако в процессе ПЛВ с ультразвуковым воздействием обеспечивает сглаживание относительной концентрации химических элементов Fe и Ni. Относительное изменение интенсивности Fe и Ni происходит плавно в пределах 10–12 %, без

резких переходов. Содержание Si, Cr, Mn, Mo и Al остается стабильным в обоих режимах.

**В заключении** диссертационной работы основные результаты. Разработано экспериментальное оборудование для реализации процессов ЛТО и ПЛВ с дополнительным ультразвуковым воздействием (мощность 100 Вт, частоты 22 и 40 кГц). Вспомогательные элементы конструкции (основания и система охлаждения) спроектированы с учетом геометрии ультразвуковых излучателей Ланжевена и изготовлены методом FDM-печати. Эффективность передачи ультразвуковых колебаний в зону обработки обеспечена точным сопряжением контактных поверхностей и прижатием металлических пластин к излучателю. Предложена и апробирована методика количественного анализа геометрических параметров ванны расплава, микроструктуры и микротвердости образцов из стали AISI 316L, полученных методом ЛТО с ультразвуковым воздействием (40 кГц, 100 Вт). Установлено, что ультразвуковая обработка модифицирует форму ванны расплава и способствует формированию мелкозернистой аустенитно-ферритной структуры с повышенным содержанием X-фазы и увеличением значений микротвердости. Разработана методика автоматизированного анализа микроструктуры, позволяющая определять размеры столбчатых дендритов, строить гистограммы распределения и функции нормального распределения с расчетом математического ожидания и среднеквадратического отклонения. С использованием данной методики выполнены исследования механических (микротвердость, прочность при растяжении) и трибологических (коэффициент трения) характеристик образцов, полученных традиционным ПЛВ и ПЛВ с ультразвуковым воздействием. Выявлено, что ультразвуковое воздействием способствует формированию равномерной мелкозернистой дендритной структуры, повышению микротвердости, прочности и износостойкости материала. Показано, что ультразвуковое воздействие (22 кГц, 100 Вт) при ПЛВ жаропрочного никелевого сплава Inconel 625 инициирует образование мелкозернистой дендритной структуры. Анализ распределения микротвердости подтвердил рост значений в зоне наплавленного металла при сохранении микротвердости основного металла на исходном уровне. Установлено влияние ультразвука (22 кГц, 100 Вт) на формирование функционально-градиентного материала на основе сплавов EuTroLoy 16316D.04 и Inconel 625. Выявлено изменение относительного содержания Fe и Ni, сглаживание концентрационных профилей на границах слоев, а также трансформация микроструктуры от столбчатых дендритов к мелкозернистой равноосной форме. Зафиксировано повышение

микротвердости во всех структурных слоях функционально-градиентного образца.

### **Теоретическая и практическая значимость**

Теоретическая значимость работы определяется установлением закономерностей влияния ультразвуковых колебаний (частотой 22 и 40 кГц, мощностью 100 Вт) на процессы структурообразования при лазерной точечной обработке (ЛТО) и прямом лазерном выращивании (ПЛВ). Выявлены зависимости фазового состава, морфологии и размеров дендритов, а также механических и трибологических свойств нержавеющей и никелевых сплавов от параметров ультразвукового воздействия. На примере функционально-градиентного материала показана возможность управления распределением химических элементов и микротвердостью в объеме изделия. Полученные результаты развивают научные представления о комбинированных лазерно-ультразвуковых технологиях как эффективном инструменте управления свойствами материалов.

Практическая значимость диссертационного исследования заключается в разработке методик (программные коды) для исследования геометрических параметров ванны расплава (площадь поперечного сечения, площадь поверхности), фазового состава (процентное содержание аустенита,  $\delta$ -феррита) в процессе ЛТО, а также размеров оси 1-го порядка дендритных кристаллов (средний размер, среднеквадратическое отклонение) в процессе ПЛВ нержавеющей сплавов на языке MATLAB, отличающиеся автоматизацией процесса измерений на основе оптических снимков.

### **Рекомендации по использованию результатов диссертационного исследования**

Результаты диссертационного исследования Шварца И.В. могут быть использованы в образовательной и научной деятельности при подготовке специалистов в области лазерных, аддитивных и акустических технологий, а также в лабораторных практикумах по материаловедению и металлографии, где разработанные методики количественного анализа микроструктуры, включая определение размеров дендритов, фазового состава и геометрии ванны расплава, найдут применение в курсовом и дипломном проектировании. В научно-исследовательской сфере полученные закономерности влияния ультразвукового воздействия (частотой 22 и 40 кГц, мощностью 100 Вт) на структурообразование нержавеющей сталей (AISI 316L, EuroLOY 16316D.04) и никелевого сплава Inconel 625 могут служить основой для дальнейшего развития теорий управления свойствами материалов в процессах лазерной

обработки и прямого лазерного выращивания, а также для создания новых функционально-градиентных материалов с плавным изменением химического состава и физико-механическими свойствами. В промышленности результаты работы могут быть внедрены на предприятиях, занимающихся лазерной наплавкой, ремонтом и изготовлением ответственных деталей из коррозионностойких и жаропрочных сплавов, с целью повышения их прочности, микротвердости, износостойкости и общего ресурса работы за счет оптимизации параметров ультразвукового воздействия. Кроме того, одним из перспективных направлений работы является разработка комбинированного способа лазерной сварки (наплавки) однородных и разнородных материалов, а также синтеза композиционных и функционально-градиентных материалов с ультразвуковым воздействием на процесс кристаллизации. В предлагаемом подходе источник ультразвуковых колебаний перемещается синхронно с лазерным лучом, что позволяет обеспечить повышенный и стабильный уровень физико-механических свойств за счет направленной модификации микроструктуры в сварных швах и наплавленных покрытиях.

### **Достоверность полученных результатов**

Достоверность результатов, полученных в диссертационной работе, обеспечивается за счет использования современных методов и методик исследований, сертифицированного и поверенного научно-исследовательского оборудования

Результаты работы отражены в 16 печатных работах, в том числе 5 статей в российских рецензируемых научных журналах из перечня ВАК, 1 статья в журнале, индексируемом в Web of Science и Scopus, 6 статей – в других журналах и материалах научных конференций. Получены 1 патент на изобретение и 3 свидетельства о регистрации программ для ЭВМ. Получены 1 патент на изобретение и 3 свидетельства о регистрации программ для ЭВМ.

Основные результаты диссертации докладывались и обсуждались на следующих конференциях:

- международная молодежная научная конференция «XXVI Туполевские чтения (школа молодых ученых)» (Казань, 2023);
- XXI Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием «Высокие технологии в машиностроении» (Самара, 2024);
- 23-я Международная конференция «Авиация и космонавтика» (Москва, 2024);
- XI Международная конференция «Лазерные, плазменные исследования и технологии – ЛаПлаз-2025» (Москва, 2025);

– международная научно-техническая конференция «СМИС-2025. Технологии управления качеством» (Москва, 2025);

### **Замечания по диссертационной работе**

Отмечая безусловные достоинства диссертационной работы Шварца Ивана Валерьевича, в качестве замечаний следует указать:

- 1) Для апробации методов лазерного точечного нагрева и прямого лазерного выращивания с ультразвуковым воздействием в работе была спроектирована и изготовлена оснастка послойного наплавления с использованием оборудования FlashForge Adventure 5M. Однако в тексте отсутствует информация о параметрах 3D-печати (температура, скорость печати, высота слоя), что затрудняет оценку качества изготовленных элементов и воспроизводимость результатов.
- 2) Диссертационная работа выполнена с использованием оборудования, позволяющего работать на двух ультразвуковых частотах. Использование этого потенциала для изучения влияния частоты на процессы ЛТО, ПЛВ и механические свойства одного из материалов, исследованных в работе, могло бы внести дополнительный вклад в новизну и практическую значимость диссертационной работы. Почему данная возможность не была реализована?
- 3) Диссертационная работа предлагает оригинальный подход к объяснению влияния ультразвука на структуру металла при лазерном выращивании, связывая наблюдаемый эффект с интенсификацией конвективных потоков и изменением геометрии расплава. Это отличается от распространенной в литературе точки зрения, где основной механизм объясняется кавитацией. Хотелось бы получить от автора комментарии о причинах такого выбора трактовки в контексте данного исследования.
- 4) В описании экспериментальной установки для прямого лазерного выращивания с ультразвуковым воздействием не уточнены некоторые важные параметры. В частности, не описано как осуществлялся прижим образца к ультразвуковому излучателю и какая была температура охлаждающей воды во время экспериментов?

Отмеченные недостатки не снижают общего высокого уровня диссертационной работы и ее научно-практической значимости. Автореферат и опубликованные работы полностью отражают основное содержание диссертации.

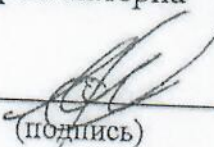
### Заключение

Диссертационная работа Шварца Ивана Валерьевича «Структура и свойства материалов на основе нержавеющей стали и никелевого сплава, получаемых лазерно-аддитивным методом с ультразвуковым воздействием» представляет собой завершенное научное исследование, в котором решена актуальная научная задача, имеющая важное практическое значение для машиностроения, полностью соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям (Постановление Правительства РФ №842 от 24.09.2013), а ее автор Шварц Иван Валерьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. Материаловедение.

Отзыв обсужден и одобрен на заседании кафедры материаловедения и технологии материалов федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет» (протокол № 5 от «14» мая 2026 г.)

Заведующий кафедрой материаловедения и технологии материалов,

д.т.н., доцент

  
(подпись)

Шередцов С. В.  
(расшифровка подписи)

14 мая 2026 г.

Жеребцов Сергей Валерьевич, доктор технических наук по специальности 05.16.01 Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов, Заведующий кафедрой материаловедения и технологии материалов, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет», Тел.: +7 (812) 757-09-44, e-mail: kmv@smtu.ru.

Вход № 05-8934

« 21 » 05 2026 г.

подпись

