

В диссертационный совет 24.2.312.12
на базе федерального государственного
бюджетного образовательного учре-
ждения высшего образования «Казан-
ский национальный исследовательский
технологический университет»,
420015, г. Казань, ул. К. Маркса, д. 68

О Т З Ы В

официального оппонента на диссертационную работу

Шварца Ивана Валерьевича

на тему: «Структура и свойства материалов на основе нержавеющей сталей и
никелевого сплава, получаемых лазерно-аддитивным методом
с ультразвуковым воздействием»,
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по
специальности 2.6.17. Материаловедение.

1. Актуальность работы

Аддитивные технологии получают все более широкое применение в машиностроении. Применение таких технологий позволяет не только экономно расходовать материал, но и изготавливать конструкции сложной формы. Кроме того, применение аддитивных технологий открывает новые перспективы по созданию материалов, обладающих уникальными свойствами, в процессе изготовления изделий.

Одним из путей совершенствования структуры металла и его эксплуатационных характеристик является применение ультразвукового воздействия. Причем,

ультразвуковому воздействию подвергают расплав материала в процессе его кристаллизации. В последнее время увеличился интерес к применению ультразвукового воздействия при сварке и родственных процессах. Применение ультразвуковых колебаний позволяет измельчить структуру наплавленного металла и, как следствие, улучшить его эксплуатационные характеристики. Кроме того, ультразвуковые колебания позволяют управлять процессами массопереноса и кристаллизации, подавляя рост нежелательных фаз и минимизируя дефекты.

Несмотря на очевидный потенциал применение ультразвуковых колебаний в аддитивных технологиях, развитие этого направления сдерживается отсутствием систематических знаний о том, как параметры ультразвукового воздействия (частота, амплитуда, схема подвода) влияют на итоговую микроструктуру и свойства конкретных сплавов. Разнообразие способов ввода ультразвуковых колебаний требует детального изучения механизмов структурообразования в условиях комплексного лазерно-ультразвукового воздействия.

Актуальность темы обоснована не только мировой научной повесткой, но и финансированием в рамках государственного задания и хоздоговора, что свидетельствует о высокой востребованности результатов для промышленности.

2. Цель, новизна, обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций

Целью диссертационной работы Шварца Ивана Валерьевича является 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 были решены *следующие задачи:*

1) разработано экспериментальное оборудование для апробации 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) разработана методика исследования геометрических параметров ванны расплава и микроструктуры, а также определена микротвердость стали марки AISI316L для оценки степени влияния ультразвукового воздействия частотой 40 кГц и мощностью 100 Вт в процессе ЛТО;

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

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

5) установлено влияние ультразвукового воздействия частотой 22 кГц и мощностью 100 Вт на особенности формирования микроструктуры, микротвердости и химического состава функционально-градиентного образца, полученного ПЛВ

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

1. Установлено, что ультразвуковое воздействие частотой 40 кГц и мощностью 100 Вт в процессе ЛТО стали марки AISI 316L приводит к увеличению микротвёрдости ванны расплава на 12,1-14,9% за счет формирования мелкозернистой аустенитно-ферритной структуры.

2. Установлено, что ультразвуковое воздействие частотой 22 кГц и мощностью 100 Вт в процессе ПЛВ сплава марки EuTroLoy 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.

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.

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, содержащихся в диссертационной работе, подтверждается использованием апробированных методик исследований с применением современного оборудования.

По материалам диссертации опубликовано 12 печатных работ, в том числе 5 статей в реферируемых журналах (из перечня ВАК при Минобрнауки РФ) и 1 статьи входящих в международные реферативные базы данных (Scopus/WOS). Получен один патент РФ на изобретение.

3. Структура, содержание и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и трех приложений. Диссертация изложена на 121 страницах машинописного текста, содержит 49 рисунков и 9 таблиц. Список литературы из 131 наименований соответствует рассматриваемой проблеме.

4. Практическая ценность работы

Разработаны методики (программные коды) для исследования геометрических параметров ванны расплава (площадь поперечного сечения, площадь поверхности), фазового состава (процентное содержание аустенита, δ -феррита) в процессе ЛТО, а также размеров оси 1-го порядка дендритных кристаллов (средний размер, среднеквадратическое отклонение) в процессе ПЛВ нержавеющей сталей на языке MATLAB. Эффективное управление механизмами структуро- и формообразования ванны расплава в лазерных и аддитивных технологиях за счет дополнительного ультразвукового воздействия различной частоты и мощности

позволяет сформировать изделия и покрытия не только с мелкозернистой структурой, но и с улучшенными физико-механическими свойствами.

5. Достоверность результатов работы

Достоверность полученных результатов обеспечивается применением апробированных методик экспериментальных исследований, использованием современного оборудования, а также большим объемом выполненных экспериментов.

6. Замечания по работе

1. При передаче ультразвуковых колебаний в обрабатываемый образец снижается мощность, частота и амплитуда колебаний, в связи с этим следовало бы оценить передаваемые колебания с помощью виброметра.
2. В работе не обоснован выбор частоты ультразвуковых колебаний для лазерной точечной обработки – 40 кГц и для прямого лазерного выращивания – 20 кГц.
3. Для анализа структуры выбрана X-фаза, объединяющая δ – феррит и карбидную фазу, что является неудачным. Необходимо разделить влияние УЗК на каждую структурную составляющую.
4. В тексте автореферата и диссертации не указано количество выполненных точек лазерной точечной обработкой для каждого режима, что затрудняет оценку достоверности данных, полученных в ходе исследований.
5. Не понятно, с чем автор связывает различие во влиянии воздействия ультразвуковых колебаний на размер проплавления при лазерной точечной обработке? В некоторых случаях наблюдается увеличение площади поверхности точки и площади поперечного сечения при наложении ультразвуковых колебаний, а в некоторых случаях наблюдается уменьшение указанных параметров.
6. Отсутствует схема испытаний на трение, а также не обоснован ее выбор.

7. На странице 84 диссертации указано «Однако стоит отметить, что среднее значение коэффициента трения для образца с ультразвуковым воздействием – 0,19, а для образца, полученного без ультразвукового воздействия, – 0,14. Таким образом, в результате ультразвуковой вибрации удалось повысить износостойкость образца на 26,3%.» Как изменение коэффициента трения при воздействии ультразвуковых колебаний связано с износостойкостью?

8. В диссертации отмечается «что в металле образца без ультразвукового воздействия относительная интенсивность элементов Fe и Ni резко и скачкообразно падает при переходе от одного композиционного состава к другому. Однако в металле образца, полученного при ультразвуковом воздействии, происходит сглаживание относительной интенсивности элементов Fe и Ni или, другими словами, происходит выравнивание химического состава в пределах 10-12%.» , однако не указано с чем автор связывает проявление такого эффекта.

9. В автореферате и диссертации присутствуют опечатки и неточности.

Указанные замечания не снижают общей положительной характеристики работы, её научной и практической ценности.

10. Заключение

Диссертационная работа **Шварца Ивана Валерьевича** на тему: «Структура и свойства материалов на основе нержавеющей стали и никелевого сплава, получаемых лазерно-аддитивным методом с ультразвуковым воздействием» является завершенной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технологические решения по улучшению эксплуатационных характеристик функционально-градиентных материалов, полученных ПЛВ, за счет применения ультразвукового воздействия, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие машиностроения.

Публикации автора в полной мере отражают его основные научные и практические достижения, а число публикаций и объем достаточно полно характеризуют защищаемую работу. Печатные труды автора, приводимые в диссертации и

автореферате, опубликованы в научных изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки РФ, а также входящих в наукометрические базы Scopus и WOS, результаты работы апробированы на конференциях и семинарах в период с 2023 по 2025 годы.

Автореферат диссертации достаточно полно и правильно отражает основные положения диссертации.

В целом, диссертационная работа **Шварца Ивана Валерьевича** соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Шварц Иван Валерьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. Материаловедение.

Директор ФГАУ «НУЦСК при
МГТУ им. Н.Э. Баумана»,
д.т.н., доцент



[Handwritten signature]
Коберник Николай Владимирович

13 мая 2026 г.

Коберник Николай Владимирович, директор, доктор технических наук, доцент, научная специальность 05.02.10 – «Сварка, родственные процессы и технологии», Федеральное государственное автономное учреждение «Научно-учебный центр „Сварка и контроль“ при МГТУ им. Н.Э. Баумана» (ФГАУ «НУЦСК при МГТУ им. Н.Э. Баумана»), 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, тел. (499) 261-42-57, koberniknv@bmstu.ru

Вход. № 05-8933
« 21 » 05 / 2026 г.
подпись *[Handwritten signature]*