

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

ОТЗЫВ

**на автореферат диссертации Шварца Ивана Валерьевича
«Структура и свойства материалов на основе нержавеющей стали и
никелевого сплава, получаемых лазерно-аддитивным методом
с ультразвуковым воздействием», представленной на соискание учёной
степени кандидата технических наук по специальности
2.6.17. Материаловедение**

Представленный автореферат диссертации Шварц И.В. даёт полное представление о завершённом научном труде, посвящённом актуальной прикладной проблеме материаловедения – улучшению механических и трибологических характеристик сплавов на основе нержавеющей стали и никелевого сплава за счёт целенаправленного изменения их микроструктуры при помощи ультразвукового воздействия в процессах лазерной точечной обработки (ЛТО) и прямого лазерного выращивания (ПЛВ). Работа выполнена на высоком методическом уровне, отличается сочетанием фундаментальных и прикладных аспектов, несомненной новизной и практической ценностью для аддитивного производства и ремонтных технологий.

Актуальность темы диссертационного исследования продиктована потребностью в устранении типичных дефектов (пор, трещин, структурной неоднородности), которые неизбежно возникают при лазерно-аддитивном получении ответственных деталей. Применение ультразвуковых колебаний в зоне лазерного плавления открывает широкие возможности для управления кристаллизацией и массопереносом. Однако до настоящего времени недостаточно изучено влияние различных частот и мощностей ультразвуковых вибраций, а также схем его подвода, на структурообразование и свойства конкретных марок сплавов. Решение этой задачи имеет ключевое значение для разработки принципиально новых, композиционных и функционально-градиентных материалов.

Цель диссертационной работы состояла в увеличении микротвердости, прочности и износостойкости исследуемых сплавов путём управления их микроструктурой с помощью ультразвукового воздействия в процессе лазерной точечной обработки и прямого лазерного выращивания.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Обнаружено, что ультразвуковое воздействие мощностью 100 Вт и частотой 40 кГц при лазерной точечной обработке стали AISI 316L способствует росту микротвердости ванны расплава на 12,1–14,9%, увеличению площади её поверхности на 15%, площади поперечного сечения – на 90%, а также повышению содержания X-фазы на 48–52% благодаря формированию мелкозернистой аустенитно-ферритной структуры.
2. Доказано, что ультразвуковое воздействие мощностью 100 Вт и частотой 22 кГц в процессе прямого лазерного выращивания аустенитного нержавеющей сплава марки EuTroLoy 16316D.04 приводит к уменьшению среднего размера столбчатых дендритов на 22–43%, снижению среднеквадратического отклонения их размеров на 38,8–65,1%, а также к росту микротвердости на 12,7%, прочности на 10,2% и износостойкости на 26,3%.
3. Экспериментально подтверждено, что ультразвуковое воздействие мощностью 100 Вт и частотой 22 кГц в процессе прямого лазерного выращивания жаропрочного никелевого сплава марки Inconel 625 повышает микротвердость наплавленного слоя на 11,1% за счёт перехода к равноосной мелкозернистой дендритной структуре.
4. Для функционально-градиентного материала, полученного из смесей порошков нержавеющей и никелевого сплавов, установлено увеличение микротвердости на всех промежуточных составах на 10,5–14,8% и сглаживание градиента концентраций Fe и Ni под действием ультразвукового воздействия в пределах 10-12%.

Практическая значимость работы подтверждена конкретными результатами:

– созданы оригинальные программные коды в среде MATLAB для автоматизированного измерения геометрии ванны расплава, фазового состава и размеров дендритов по оптическим микрофотографиям;

– продемонстрирована принципиальная возможность эффективного управления процессами структуро- и формообразования в ванне расплава с

помощью ультразвукового воздействия, что позволяет получать изделия и покрытия с мелкозернистой структурой и повышенными физико-механическими характеристиками;

– результаты работы внедрены в ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» (при выполнении хоздоговорных работ для АО «ТВЭЛ») и в учебный процесс КНИТУ-КАИ (в курсах «Лазерные акустические технологии» и «Материаловедение и технологии материалов»).

Автором использован широкий арсенал современных методов: оптическая и электронная микроскопия, EDS-анализ, механические и трибологические испытания, методы статистической обработки. Достоверность полученных данных не вызывает сомнений благодаря применению сертифицированного оборудования, поверенных приборов и хорошей воспроизводимости результатов, согласующихся с опубликованными данными других исследователей.

Автореферат изложен логично, научным стилем, хорошо иллюстрирован. Его содержание полностью соответствует основным положениям диссертации. Ключевые результаты опубликованы в 16 печатных работах, из них 5 статей в журналах по перечню ВАК, 1 – в изданиях Scopus/WoS; получены 1 патент и 3 свидетельства о регистрации программ для ЭВМ.

Замечания по автореферату:

1) Не обоснован выбор частот ультразвука (22 и 40 кГц). Из автореферата неясно, почему выбраны именно эти частоты, проводилось ли предварительное исследование влияния частоты на структуру исследуемых сплавов?

2) Не проведена оценка экономической эффективности. Неясно, насколько возрастают энергозатраты, стоимость оснастки и время цикла по сравнению с приростом свойств.

Указанные замечания носят уточняющий характер и не снижают общей высокой оценки работы.

Заключение

Диссертационная работа Шварца Ивана Валерьевича представляет собой законченное научное исследование, в котором решена научно-практическая задача.

Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 2.6.17. Материаловедение (п. 1, 3, 4) и критериям, установленным п. 9 «Положения

о порядке присуждения ученых степеней» ВАК Минобрнауки РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Автор работы Шварц Иван Валерьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. Материаловедение.

Я, Бикулов Ринат Абдуллаевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Заведующий кафедрой
производственного
менеджмента,
Набережночелнинский институт
(филиал) КФУ,
д.т.н., доцент



/Бикулов Ринат Абдуллаевич/

«06» мая 2026 г.

Бикулов Ринат Абдуллаевич, доктор технических наук, специальность 05.16.09 Материаловедение (в машиностроении), доцент, заведующий кафедрой производственного менеджмента, Набережночелнинский институт (филиал), федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет».

Адрес: 420008, Россия, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Кремлевская, д.18, корп.1, тел.: +79270490003, e-mail: bikulov_uvr@mail.ru.

СОБСТВЕННОРУЧНУЮ ПОДПИСЬ
Бикулова Р.А. ЗАВЕРЯЮ
Набережночелнинский институт КФУ
Отдел кадров *Миниф С.Ф. Минсаитова*



05-8935
21 05 2026 г.
Подпись: *С.Ф. Минсаитова*