

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ**



ФЕДЕРАЦИИ

**Институт проблем машиностроения РАН –
филиал Федерального государственного
бюджетного научного учреждения
«Федеральный исследовательский центр
Институт прикладной физики
Российской академии наук»
(ИПМ РАН)**

Белинского ул., д. 85, Нижний Новгород, 603024.
Тел./факс (831) 432-03-00. E-mail: imsh@sinn.ru
ОКПО 04836215, ОГРН 1025203020193,
ИНН 5260003387, КПП 5262431001

23.11.2021 № 30-4021-179

На № _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИПМ РАН


В.И. Ерофеев

«22» 11 2021 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Токмачевой-Колобовой Анастасии Юрьевны
«Закономерности структурных и фазовых превращений в титане и никелиде титана при
импульсных внешних воздействиях», представленную на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – «Материаловедение
(металлургия)»

Актуальность темы диссертационной работы

Сплавы на основе титана и никелид титана являются одними из наиболее востребованных материалов в медицине и технике. Для придания им заданного комплекса физико-механических и эксплуатационных свойств весьма важным является установление закономерностей и механизмов изменений структуры и фазового состава этих материалов в процессе их получения и финишной обработки.

Целью работы Токмачевой-Колобовой А.Ю. являлось проведение сравнительного анализа изменений структурно-фазового состояния технически чистого титана и никелида титана при различных видах импульсных внешних воздействий. Ранее в рамках одной работы подобных комплексных исследований не проводилось.

Одним из рассматриваемых в диссертационной работе видов внешних воздействий является лазерная обработка импульсами нано- и фемтосекундной длительности, являющаяся на сегодняшний день активно развиваемым научным направлением, результаты которого являются перспективными для широкого освоения на практике. В связи с вышеизложенным диссертационную работу Токмачевой-Колобовой А.Ю., посвященную исследованию изменений структуры и фазового состава титана и никелида титана в различных исходных структурных состояниях в результате ударно-волнового воздействия, осуществляемого взрывным нагружением, динамическим нагружением методом Кольского с использованием разрезного стержня Гопкинсона и лазерной обработкой импульсами фемто- и наносекундной длительности, следует считать **актуальной как с фундаментальной, так и с прикладной точек зрения.**

Научная новизна диссертационной работы заключается в том, что автором диссертации установлены закономерности изменения структурно-фазового состояния сплава никелида титана (сплав Ti-50,7 % Ni) в исходных крупнозернистом и нанокристаллическом состояниях в результате взрывного ударно-волнового нагружения и динамического сжатия с использованием разрезного стержня Гопкинсона. На основании проведения сравнительного анализа выявлены особенности изменения и отличия структуры и фазового состава приповерхностных слоев никелида титана и технически чистого титана в результате обработки лазерными импульсами наносекундной длительности под тонким слоем воды. Обоснованы возможные физические механизмы процесса наноструктурирования приповерхностных слоев исходного субмикроструктурного титана в результате лазерной обработки импульсами наносекундной длительности: фазовая перекристаллизация $\alpha \rightarrow \omega \rightarrow \alpha$ и динамическая рекристаллизация. Обнаружено существенное влияние сформированных обработкой фемтосекундным лазерным облучением наноструктурированных тонких приповерхностных слоев на механические свойства тонких образцов технически чистого титана, заключающееся в существенном увеличении пластичности при сохранении уровня прочности.

Практическая значимость работы определяется тем, что выявленные в работе закономерности и проведенный анализ имеющихся в литературе данных по изучению изменений структурно-фазового состояния технически чистого титана марки ВТ1-0,

титанового сплава ВТ6 и никелида титана Ti-50,7 % Ni в результате различных видов импульсных внешних воздействий частично апробированы в производственных условиях. Согласно представленному ООО «Лазерный центр» (г.Санкт-Петербург) акту, полученные в диссертационной работе результаты изучения особенностей микроструктурирования поверхности титанового сплава ВТ6 были использованы для оптимизации режимов лазерной обработки дентальных имплантатов с целью улучшения их биосовместимости.

С участием автора был разработан способ очистки поверхностей черепных имплантатов, использующихся в ГНЦ НИИ нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко, полученных с использованием 3D-аддитивных технологий, путем обработки лазерными импульсами наносекундной длительности, зарегистрированный как «ноу-хау».

Структура и содержание диссертационной работы

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, выводов и приложения. Работа изложена на 107 листах формата А4, содержит 49 рисунков, 5 таблиц. Список использованных источников включает 145 наименований.

Во введении к диссертации обоснована актуальность проведения работы, поставлены цель и задачи исследования, изложены ее научная новизна и практическая значимость, сформулированы основные положения, выносимые на защиту, приведены сведения об апробации работы.

В первой главе проведен аналитический обзор литературы в котором описаны особенности формирования наноструктурированного, субмикроструктурированного и ультрамелкозернистого состояний в титановых сплавах и в никелиде титана в результате воздействия различными методами механико-термической обработки. Наряду с этим, рассмотрены результаты исследований изменений структуры и фазового состава указанных выше материалов в условиях ударно-волнового воздействия. Особое внимание уделено описанию данных опубликованных исследований о влиянии лазерной обработки импульсами короткой и ультракороткой длительности на структуру приповерхностных слоев и свойства различных титановых сплавов и никелида титана. Отдельный раздел посвящен обоснованию постановки задач диссертационной работы.

Во второй главе дано обоснование выбора материалов и методов исследований и описаны использованные в работе материалы, методики ударно-волнового нагружения, подготовки экспериментальных образцов и исследований их структуры, фазового состава и механических свойств, в частности, изготовление тонких фольг из приповерхностных слоев образцов, оптическая металлография, растровая и просвечивающая электронная микроскопия, рентгеноструктурный анализ, методы изучения механических свойств.

В третьей главе представлены результаты исследований структур, формирующихся на поверхности никелида титана, титана и титанового сплава ВТ6 в результате облучения лазерными импульсами наносекундной длительности на воздухе и в воде. Показано, что в зависимости от среды, в которой проводится облучение, характер поверхностного рельефа значительно отличается. Проведён детальный анализ внутренней структуры капель, образующихся на поверхности сплава ВТ6, в процессе абляции.

В четвертой главе изложены результаты сравнительных исследований структуры и фазового состава никелида титана и технически чистого титана после взрывного ударно-волнового нагружения, динамического нагружения с использованием разрезного стержня Гопкинсона и наносекундной лазерной обработки. Выявлена закономерность в формировании полос деформации (в случае никелида титана – полос мартенсита) наноразмерной толщины внутри исходных зерен, как для никелида титана, так и для титана в исходном крупнозернистом состоянии в результате механического ударно-волнового нагружения. Рассмотрены особенности структуры приповерхностных слоев исследуемых материалов в результате лазерной обработки. В субмикроструктурном титане отмечается формирование приповерхностного наноструктурированного слоя толщиной около 1 мкм, в то время как в крупнозернистом никелиде титана также происходит модификация слоя толщиной около 1 мкм, однако кроме этого наблюдается аморфизация поверхностного слоя толщиной 250 нм и формирование столбчатой ориентированной структуры в приповерхностном слое толщиной около 500 нм. Наряду с этим, в диссертации проанализированы возможные физические механизмы наблюдаемого эффекта наноструктурирования приповерхностного слоя субмикроструктурного титана в результате лазерного ударно-волнового нагружения.

Пятая глава посвящена исследованию влияния лазерной обработки импульсами фемтосекундной длительности на механические свойства тонких титановых образцов при испытаниях на растяжение и усталость. Показано, что изменение структуры поверхности и приповерхностных слоев исследуемых образцов в результате лазерной обработки приводит к увеличению их пластичности и предела выносливости.

Апробация и публикация основных положений работы

Основные результаты диссертационной работы доложены на многих российских и международных конференциях и опубликованы в 6 статьях, индексируемых в международных базах данных Web of Science и Scopus. Результаты работы защищены зарегистрированным «ноу-хау».

Достоверность результатов работы обеспечивается использованием современного оборудования и методик для проведения исследований, проведением статистической

обработки результатов, согласованием полученных данных с существующими литературными данными.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Полученные в работе результаты могут быть использованы для разработки и будущей коммерциализации способов поверхностной модификации данных материалов и готовых изделий с широкими перспективами их освоения в промышленности.

Несмотря на общую положительную оценку диссертационной работы, к ней имеются **замечания**:

1. В методике проведения испытаний на растяжение и усталость не везде указано, какое количество образцов было испытано для получения точек на экспериментальных кривых.
2. При описании структуры никелида титана после лазерного облучения отмечается повышение плотности дислокаций в объеме материала, однако не приводится данных о том, каким методом была проведена соответствующая оценка.
3. На стр. 48 диссертации указывается, что наблюдаемые изменения структуры в результате лазерного облучения связаны с образованием и распространением ударных волн, при этом не упоминается вклад термического воздействия.

Сделанные замечания не влияют на общую высокую оценку диссертационной работы Токмачевой-Колобовой А.Ю.

Заключение

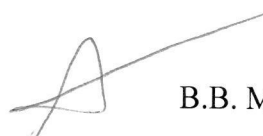
Диссертационная работа Токмачевой-Колобовой Анастасии Юрьевны «Закономерности структурных и фазовых превращений в титане и никелиде титана при импульсных внешних воздействиях», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – «Материаловедение (металлургия)», является актуальной, выполнена на высоком научном уровне, полученные результаты имеют научную и практическую значимость. Результаты работы опубликованы в 6 статьях в российских и зарубежных рецензируемых научных журналах и доложены на различных российских и международных научных конференциях и симпозиумах. Результаты работы защищены зарегистрированным «ноу-хау». Автореферат диссертации соответствует ее содержанию. Содержание работы соответствует поставленной цели, все поставленные задачи в работе выполнены. Публикации в полной мере отражают содержание работы.

Диссертационная работа Токмачевой-Колобовой А.Ю. соответствует требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском технологическом университете "МИСиС", а ее автор, Токмачева-Колобова Анастасия

Юрьевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – «Материаловедение (металлургия)».

Диссертационная работа рассмотрена и обсуждена на заседании лаборатории неразрушающего контроля и диагностики материалов и конструкций ИПМ РАН, протокол заседания №2 от «_4_» ноября 2021 года.

Заведующий лабораторией
неразрушающего контроля
и диагностики материалов и
конструкций ИПМ РАН,
д.т.н., с.н.с.


В.В. Мишакин
18.11.2021

Данные о ведущей организации:

Институт проблем машиностроения РАН – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук» (ИПМ РАН), 603024, Нижегородская область, г. Нижний Новгород, ул. Белинского, д. 85, тел.: +7 (831) 432-03-00, эл. почта: erof.vi@yandex.ru