

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке и инновациям
Федерального государственного
автономного образовательного
учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский
технологический университет «МИСИС»
Доктор технических наук, профессор




М.Р. Филонов

5 » сентября 2023 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу

Пермяковой Инги Евгеньевны

«ЭВОЛЮЦИЯ СТРУКТУРЫ, СВОЙСТВА АМОРФНЫХ СПЛАВОВ И
АМОРФНО-НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ
ПРИ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ», представленную на соискание учёной
степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.8 – «Физика
конденсированного состояния»

Актуальность темы диссертационной работы:

В настоящее время приобретает особую важность разработка современных материалов с улучшенными функциональными свойствами на базе передовых технологии, таких как лазерный дизайн, применение гигантских (интенсивных) пластических деформаций, сверхскоростной закалки из расплава с дальнейшим контролируемым отжигом. В частности, это касается создания новых аморфно-нанокристаллических композитов (АНК). Интерес исследователей к ним существенно возрос за последние годы. Присутствие в структуре двух фазовых составляющих (аморфной и нанокристаллической) способно привести к необычным эффектам в материале. Аморфные сплавы (АС), в которых присутствует лишь ближний порядок в расположении атомов, демонстрируют впечатляющий уровень прочности, магнитомягких характеристик, коррозионной стойкости, что позволяет их использовать в сердечниках трансформаторов, магнитных экранах, в фильтрах для работы в растворах кислот, сигнальных устройствах, в качестве компонент для армирования. Тем не менее, остро стоят вопросы, касающиеся их охрупчивания, ограниченной термической стабильности, отсутствия деформационного упрочнения, лимитов по геометрическим параметрам (например, для лент, полученных методом спиннингования). За счёт частичного перевода АС в нанокристаллическое состояние могут быть реализованы компромиссные комбинации свойств, например, высокая твёрдость и подходящая пластичность.

С учётом вышеизложенного, представленная диссертационная работа Пермяковой И.Е. весьма актуальна, поскольку в ней детально исследована трансформация структуры аморфных сплавов и установлена взаимосвязь с откликом их свойств (механических, магнитных, коррозионных) при различных видах внешних воздействий – термической обработки, лазерном облучении, кручении под высоким давлением. Кроме того, разработаны физические принципы получения аморфно-нанокристаллических композитных материалов с необычным сочетанием эксплуатационных характеристик. В работе реализован интересный методический подход – сформировать разные варианты АНК альтернативными путями: проводя нанокристаллизацию аморфных сплавов и частично аморфизуя нанокристаллические ламинаты «медь-ниобий».

Относительно выбора для исследований системы Cu/Nb необходимо отметить её востребованность на практике. Нанокompозитные проволоки Cu/Nb используются в соленоидах, создающих импульсные сверхсильные магнитные поля, в устройствах резонансной передачи электроэнергии и для создания основных узлов (электромотор, динамо-машина) высокопольных криогенных синхронизаторов промышленной частоты, а Cu/Nb фольгах – в электронике для гибких печатных плат. Технические сверхпроводники, упрочненные нанокompозитом Cu-Nb, способны выдерживать без деградации критического тока вдвое более высокие деформации.

Структура и содержание диссертационной работы: диссертация состоит из введения, 4-х глав, заключения, списка литературы из 393 наименований, списка условных сокращений и аббревиатур. Работа изложена на 267 страницах формата А4, включая 114 рисунков, 20 таблиц.

Во введении обоснована актуальность, степень разработанности темы исследований; указаны цель и задачи работы; перечислены исследуемые объекты, методология и методы их изучения; отражена научная новизна, значимость работы; выделены положения, выносимые на защиты, а также степень их обоснованности и достоверности полученных результатов; перечислены научные мероприятия, где работа прошла апробацию; указано соответствие диссертации паспорту специальности; изложена связь работы с научными программами и темами; упомянуты публикации, личный вклад автора, благодарности; дана информация об объёме и структуре диссертации.

В первой главе диссертации изложены результаты исследований, касающиеся структурных превращений и поведение свойств аморфных сплавов (АС) при термической обработке. Детально рассмотрены особенности трёх явлений, т.е. отпускной хрупкости, упрочнения и пластификации при нагреве АС. Особое внимание уделяется механическому поведению аморфно-нанокристаллических сплавов, полученных в процессе отжига АС. Показано, что отжигом АС в заданных температурно-временных интервалах можно добиться оптимального соотношения и распределения аморфной и кристаллической фаз. Это обеспечит композитному материалу уникальное сочетание механических свойств, т.е. повышенную прочность и, одновременно, сохранение удовлетворительной пластичности.

Установлено, что явление охрупчивания в АС типа металл-металлоид обусловлено рядом структурных факторов. Обнаружено, что присутствие в составе АС нескольких металлоидов при приблизительно равном соотношении железа и кобальта способствует смещению охрупчивания в сторону бóльших температур. Снижение концентрации никеля в АС системы Fe-Ni-B также приводит к сдерживанию вязко-хрупкого перехода.

Выявлены две основные причины эффектов упрочнения аморфно-нанокристаллических композитов, полученных при отжиге АС: 1) разница между модулями упругости аморфной и нанокристаллической фаз; 2) взаимодействие полос сдвига с нанокристаллами, выделяющимися в аморфной матрице. Предложена классификация актов данного взаимодействия на основании анализа структурных ПЭМ-изображений.

Обнаружен пластифицирующий эффект (возрастание параметра трещиностойкости) в области температур перехода в аморфно-нанокристаллическое состояние АС на основе Fe и Co.

Изучена морфология микротопечатков после индентирования на эластичной подложке ленточных АС, подвергнутых термической обработке. Обнаружены характерные видоизменения картин их деформации и разрушения при переходе из аморфного в кристаллическое состояние.

Установлена корреляция между изменением магнитных, коррозионных свойств и структурно-фазовыми состояниями АС при нагреве. Выявлены оптимальные режимы отжига, приводящие к наилучшему сочетанию структурных состояний и физико-механических свойств.

Вторая глава посвящена исследованиям влияния импульсной обработки эксимерным лазером на эволюцию структуры и механические свойства аморфных сплавов, а также лазерному дизайну различных вариантов аморфно-нанокристаллических композитов.

Предварительно проведено компьютерное моделирование тепловых полей в среде Mathcad при лазерном нагреве АС для целенаправленного микро- и наноструктурирования с учётом химического состава, исходных теплофизических свойств АС. Даны рекомендации по режимам обработки АС как в пределах аморфного состояния, так и возможности кристаллизации за счёт селективного действия эксимерного лазера.

Детально изучены морфологические особенности изменения поверхности АС после лазерного воздействия. Получены слоистые конфигурации из аморфных и кристаллических составляющих при облучении УФ-лазер АС.

Установлена связь между структурно-фазовыми превращениями при лазерной обработке АС на основе переходных металлов и откликом их механических свойств. Показано, что лазерная модификация (на примере АС $\text{Fe}_{53,3}\text{Ni}_{26,5}\text{B}_{20,2}$) при малых дозах способствует улучшению качества поверхности, а обработка эксимерным УФ лазером при $f = 2$ Гц, $E = 150$ мДж, $W = 0.6$ Дж/см² в диапазоне $0 < n \leq 500$ имп перспективна для повышения прочностных качеств, упругости и сохранения ненулевой пластичности.

Получены три вида композитов (плотно покрытые, полосовые, шахматные) представляющих собой аморфную матрицу, армированную кристаллическими

областями, которые были сформированы в заданных технологических позициях по поверхности и в объёме АС $\text{Co}_{28,2}\text{Fe}_{38,9}\text{Cr}_{15,4}\text{Si}_{0,3}\text{B}_{17,2}$ за счёт селективного воздействия эксимерного УФ лазера. Чередувание в шахматном порядке кристаллических и аморфных зон является оптимальным для сочетания высокой прочности и удовлетворительной пластичности композита.

Третья глава посвящена детальному изучению закономерностей структурно-фазовых превращений, отклика свойств (механических, магнитных, химических), а также особенностей деформации и разрушения АС $\text{Co}_{70,5}\text{Fe}_{0,5}\text{Cr}_4\text{Si}_7\text{B}_{18}$ при кручении под высоким давлением (КВД) в камере Бриджмена в условиях комнатной температуры.

Установлены два упрочняющих эффекта в консолидированных образцах при $N = 1/2$ и $N = 2$. Рост микротвёрдости на начальной стадии ИПД обусловлен выделением тепла при КВД и соответствующим эффектом низкотемпературного упрочнения АС. Второй пик HV связан с началом нанокристаллизации и оптимальным распределением кристаллов в аморфной матрице. Показано, что обработка КВД при $P = 4$ ГПа и $N = 2-3$ сохраняет высокий уровень магнитных и коррозионных свойств сплава $\text{Co}_{70,5}\text{Fe}_{0,5}\text{Cr}_4\text{Si}_7\text{B}_{18}$ при его переводе в нанокристаллическое состояние. В процессе электрохимического воздействия на поверхности сплава, деформированного при $0 < N < 3$, возможно образование оксидных слоёв, обеспечивающих стойкость к процессам коррозии.

Изучен эффект неоднородного травления АС $\text{Co}_{70,5}\text{Fe}_{0,5}\text{Cr}_4\text{Si}_7\text{B}_{18}$. Рассмотрена их связь с неоднородной пластической деформацией. Установлено, что интенсивное химическое травление полос сдвига, обусловлено сегрегацией атомов металлоидов на неконтактной поверхности ленты АС $\text{Co}_{70,5}\text{Fe}_{0,5}\text{Cr}_4\text{Si}_7\text{B}_{18}$. Выявлены закономерности распространения полос сдвига в АС при КВД. На ранних стадиях деформации ($N < 1$) обнаружено формирование двух морфологических типов полос сдвига – радиальных и дуговых.

В четвертой главе изложены результаты создания слоистых аморфно-нанокристаллических композитов, используя возможности больших пластических деформаций, осуществляемых в камере Бриджмена. Реализованы два методических приёма получения композитов: 1) консолидация в условиях КВД лент АС различных по составу и механическим свойствам; 2) КВД исходно нанокристаллических ламинатов «медь-ниобий», полученных предварительной многократной пакетной (аккумулирующей) прокаткой.

Показано, что КВД деформационно-индуцированных композитов из АС обеспечивает формирование нанокристаллов в аморфной матрице размером до 5-20 нм. Для наноламинатов Cu-Nb постепенное измельчение нанокристаллической структуры сопровождается локальной аморфизацией и сохранением общей ориентированности структурных составляющих.

Изучена эволюция структурно-фазового состояния композитов, сформированных из АС $\text{Fe}_{53,3}\text{Ni}_{26,5}\text{B}_{20,2}$ и $\text{Co}_{28,2}\text{Fe}_{38,9}\text{Cr}_{15,4}\text{Si}_{0,3}\text{B}_{17,2}$. Обнаружен интересный и важный эффект: значение микротвёрдости композита после КВД при $N > 4$ превосходит значения HV для его отдельных аморфных составляющих, из которых он образован. Наблюдаемый синергический эффект неаддитивности значения HV связан с взаимным массопереносом компонентов аморфных

прекурсоров в процессе КВД. Режим КВД $P = 6$ ГПа, $N = 4-6$, $v = 1$ об/мин обеспечивает компромиссный баланс свойств для АНК на базе АС: удовлетворительную трещиностойкость, высокую твёрдость и оптимальные значения магнитомягких характеристик.

Методами ПЭМ высокого разрешения и РСА в композите на основе наноламинатов Cu-Nb после значительных степеней деформации при КВД ($N = 4$) впервые обнаружено образование областей с аморфной структурой, непосредственно связанных с межфазными границами. Установлено трехкратное увеличение микротвёрдости нанокompозитов Cu/Nb в процессе КВД. Обнаружен двухстадийный переход от анизотропии микротвёрдости в исходном состоянии к изотропии HV при достижении $N = 4$.

Новизна полученных результатов и выводов. Высокая степень новизны исследования и полученных результатов диссертации определяется, в частности, тем, что:

- Впервые установлено, что явление охрупчивания в АС имеет две структурные причины, связанные между собой: резкий спад сопротивления развитию магистральных квазихрупких трещин и снижение склонности к пластическому течению в аморфной матрице. Двухстадийное снижение микропластичности (т.е. уменьшение поверхностной плотности полос сдвига и их длины) предшествует макроскопическому вязко-хрупкому переходу отожжённых лент АС.
- Впервые обнаружен пластифицирующий эффект (возрастание параметра трещиностойкости) в области температур перехода в аморфно-нанокристаллическое состояние для ряда АС на основе Fe и Co. Проведён анализ структурных параметров, соответствующих данному явлению, и предложен оригинальный механизм торможения развивающихся квазихрупких трещин в окрестности наночастиц, обогащённой атомами металлоидов.
- Впервые на основании детального анализа электронно-микроскопических изображений проведена систематизация актов взаимодействия между наночастицами кристаллических фаз и полосами сдвига в АНК, полученных при отжиге АС, и предложена их классификация: поглощение, огибание, перерезание, торможение, первичная и вторичная аккомодация. Выявлено, что приоритетной причиной смены механизмов является размер наночастиц.
- Впервые, применительно к АС был реализован двухэтапный методический подход к лазерной обработке по принципу «численное моделирование для определения необходимых параметров лазерного воздействия → опытная реализация лазерного облучения по рассчитанным параметрам». Использование расчётных моделей тепловых полей в процессе облучения УФ эксимерным лазером позволило эффективно модифицировать поверхность и объём АС в зависимости от энергетических параметров лазерной установки и теплофизических свойств исходных материалов: достигать односторонней их кристаллизации, формировать двухслойные и "сэндвичевые" структуры типа "кристаллическое-аморфное-кристаллическое", плавно регулировать толщину кристаллического слоя и частично его фазовый состав, создавать АНК,

представляющие собой аморфную матрицу, армированную кристаллическими областями в заданных технологических позициях.

- Впервые для АС $\text{Co}_{70.5}\text{Fe}_{0.5}\text{Cr}_4\text{Si}_7\text{B}_{18}$ изучен эффект неоднородного травления: рассмотрена связь дефектов атомного уровня локализации с неоднородной пластической деформацией. Установлено, что интенсивное химическое травление сильнолокализованных полос сдвига, сформировавшихся при пластической деформации АС, обусловлено сегрегацией атомов металлоидов (бора и кремния) на неконтактной поверхности ленты.
- Впервые установлен синергичный эффект упрочнения гибридного АНК, сформированного с помощью технологии КВД из чередующихся слоёв АС $\text{Fe}_{53.9}\text{Ni}_{26.5}\text{B}_{20.2}$ и $\text{Co}_{28.2}\text{Fe}_{38.9}\text{Cr}_{15.4}\text{Si}_{0.3}\text{B}_{17.2}$, при $4 < N < 9$ (т.е. усреднённое значение микротвёрдости композита превосходит значение микротвёрдости его отдельных составляющих – аморфных сплавов, из которых он образован на определённом этапе деформации).
- Впервые для АНК, образованного из АС Fe-Ni-B и Co-Fe-Cr-Si-B, с помощью ПЭМ, РСА и времяпролётной масс-спектрометрии установлены три стадии эволюции его структурно-фазового состояния. На первой стадии сплавы, деформируются достаточно независимо друг от друга, обеспечивая лишь механическое “сцепление” соседних слоёв. На второй стадии реализуется межфазное взаимодействие в тонких приграничных областях с образованием боридных фаз, которое ответственно за эффект неаддитивного (синергичного) упрочнения. Наблюдается частичное вихревое перемешивание, фрагменты слоистой структуры всё ещё сохраняются. На третьей стадии по мере увеличения числа оборотов переносимые вихревые потоки вещества коагулируют вплоть до полного перемешивания и образования нового гибридного гомогенного многокомпонентного сплава. По существу, это приводит к “исчезновению” исходного композита.
- Впервые для наноламинатов Cu-Nb, полученных многократной пакетной прокаткой, установлено, что постепенное измельчение их нанокристаллической структуры в ходе КВД сопровождается локальной аморфизацией с сохранением общей ориентации составляющих структуры и увеличением прочности в 3 раза. Структурными методами в наноламинатах Cu-Nb экспериментально обнаружено образование областей с аморфной структурой, непосредственно связанных с межфазными границами раздела после высокой степени деформации при КВД.

Все указанные результаты получены впервые, и авторский приоритет по представленным разработкам подтверждён целым рядом научных публикаций.

Степень обоснованности научных положений и достоверность результатов диссертации обеспечена аналитическим анализом выполненных ранее работ других исследователей по соответствующей тематике, применением современных методов исследования на сертифицированном оборудовании, проведением статистической обработки экспериментальных данных, воспроизводимостью и апробацией результатов исследований. Предложенные решения научной проблемы, выводы не противоречат известным положениям и принципам физики

конденсированного состояния и материаловедения. Достоверность и новизна результатов, актуальность темы подтверждены поддержкой в виде грантов РФФИ и РНФ. Научные результаты докладывались на региональных, российских и международных конференциях. По теме диссертации опубликовано 46 статей в журналах из перечня ВАК РФ и баз данных Scopus и WoS, а также в главах 5 монографий. Материал диссертации в полной мере отражён в опубликованных работах.

Значимость результатов для науки и производства

Значимость диссертационной работы Пермяковой И.Е. не вызывает сомнений, поскольку в ней решен ряд серьезных экспериментальных и теоретических задач, необходимых для научного обоснования и развития технологий получения и обработки перспективных с практической точки зрения композитных материалов, содержащих аморфную и нанокристаллическую составляющие.

Полученные результаты и выводы вносят значительный вклад в понимание основных принципов образования структур при кристаллизации АС; углубляют научные представления о механизмах пластической деформации и разрушения в АС, дополняют и расширяют существующие научные знания в физике неупорядоченных и неравновесных систем. Результаты позволяют разрабатывать новые подходы к получению материалов с заданным уровнем свойств, открывают новые возможности применения аморфных и аморфно-нанокристаллических сплавов.

Предложенные в диссертации режимы обработок при внешних воздействиях (температурно-временные диапазоны отжига, давление и степень деформации и при КВД, импульсные режимы УФ лазера) оптимизируют комплекс свойств исследуемых материалов, обеспечивая их приемлемое сочетание при эксплуатации.

Разработанные методы управляемой кристаллизации посредством лазерного дизайна и КВД дополняют арсенал традиционных способов обработки. Показано, что лазерная модификация поверхности АС эксимерным лазером при малых дозах облучения может улучшать качество поверхности АС, снимать внутренние напряжения, воздействовать на домены, снижая магнитные потери. Результаты, касающиеся модификаций в камере Бриджмена АС и наноламинатов Cu-Nb и формирования на их основе аморфно-нанокристаллических композитов, демонстрируют убедительные доказательства уникальных возможностей технологий ИПД для получения наилучших свойств материалов и создания в них необычных структурных состояний, недостижимых для иных видов обработок. Кроме того, эти результаты вносят определённый вклад в создание научных основ физики интенсивных пластических деформаций.

Результаты диссертации имеют практическую ценность при разработке составов, производстве магнитомягких и резистивной лент с аморфной и нанокристаллической структурой, при изготовлении магнитопроводов, трансформаторов, магнитных экранов и электротехнических изделий из этих сплавов.

Тематика диссертации соискателя в соответствии с указом Президента РФ от 07.07.2011 № 899 (редакция 16.12.2015 № 623) может быть отнесена к приоритетному направлению науки, технологий и техники РФ (п. 2 Индустрия наносистем). Работа вносит вклад в развитие критических технологий РФ (п. 17 Технологии получения и обработки функциональных наноматериалов).

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Результаты диссертационной работы перспективны для разработки новых аморфных и аморфно-нанокристаллических сплавов, так как позволяют управлять их свойствами за счёт изменения параметров структуры, а также контролируемых фазовых превращений. Это расширяет спектр применения этих материалов, в том числе, способствует развитию и внедрению нанотехнологий в промышленности.

В диссертации наглядно продемонстрирована реализация эффективных структурно-фазовых превращений за счёт экстремальных воздействий (например, КВД, импульсного облучения лазером), приводящих к высокопрочным, коррозионностойким состояниям в аморфно-нанокристаллических сплавах, а также контролируемому изменению их магнитных свойств. Полученные в работе результаты по лазерному воздействию могут быть использованы для разработки и совершенствования технологии лазерного отжига с целью создания быстродействующих устройств, планарных механизмов, например, для создания исполнительных механизмов в микроэлектромеханических системах на основе кристаллизации сканирующим лазером аморфных тонких плёнок с памятью формы TiNi. Преимущество этого метода заключается в том, что свойства памяти формы могут быть пространственно распределены в соответствии с заданными требованиями.

Рекомендации по результатам и выводам диссертации могут также касаться внедрения в научно-образовательные программы курсов по разработке перспективных материалов для дисциплин, в которых изучаются технологии получения, взаимосвязь «структура – свойства» композитов, наноструктурных металлов и сплавов.

Результаты исследований могут представлять интерес для специалистов и организаций, в которых производят быстрозакалённые аморфные и аморфно-нанокристаллические сплавы, а также интенсивно исследуют их структуру и свойства: ОАО «Ашинский металлургический завод», ПАО «МСТАТОР», научно-производственное предприятие «ГАММАМЕТ», Институт физики твёрдого тела РАН, Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, Институт физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН, НИТУ МИСиС, Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина.

Замечания

1. В формуле (1.3) для расчёта структурных параметров, а именно объёмной плотности фигурирует толщина фольги для ПЭМ-исследований. Однако в работе не указано, как она оценивалась и в каких диапазонах изменялась от изображения к изображению.

2. Применим ли метод анализа микрокартин деформации и разрушения при локальном нагружении для экспресс-оценки структурного состояния объёмных (массивных) аморфных сплавов?

3. В § 2.2 проведён численный расчёт тепловых полей для трёх аморфных сплавах при лазерном облучении, а экспериментальное облучение последовало только для двух АС (на основе кобальта и железа). Не совсем ясна цель расчётов для сплава $Ti_{50}Ni_{25}Cu_{25}$.

4. В диссертации не обсуждается по каким признакам / критериям пластическую деформацию в камере Бриджмена следует отнести к большим (интенсивным) и какие характерные черты больших пластических деформаций?

5. Не понятно применение лазерной установки КВАНТ-15, в то время как основная масса экспериментов была проведена с использованием УФ эксимерного лазера.

Вышеуказанные замечания не снижают положительной оценки диссертации Пермяковой И.Е. Работа логично и грамотно выстроена, хорошо проиллюстрирована, содержит значительное количество экспериментальных данных, которые позволили в полной мере решить поставленные задачи. Выводы сформулированы понятно и отражают всё основные результаты исследований, полученные в работе.

Соответствие содержания диссертации автореферату и указанной специальности. Содержание представленного автореферата в достаточной степени отражает содержание диссертационной работы и защищаемые положения.

Диссертация соответствует паспорту специальности 1.3.8. – физика конденсированного состояния (пп. 1, 3, 4, 6).

Заключение

Диссертация Пермяковой И.Е. «Эволюция структуры, свойства аморфных сплавов и аморфно-нанокристаллических композитных материалов при внешних воздействиях» является законченной научно-квалификационной работой, в которой установлены важные для науки и производства физические основы формирования свойств, структурных превращений в аморфных сплавах при термической обработке, лазерном облучении, кручении под высоким давлением и разработаны фундаментальные принципы создания аморфно-нанокристаллических композитов с улучшенным комплексом физико-механических характеристик, что в совокупности можно классифицировать как научное достижение в физике конденсированного состояния. Диссертация полностью соответствует всем критериям пп. 9-14 Положения о присуждении учёных степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842, предъявляемым к докторским диссертациям, а её автор, Пермякова Инга Евгеньевна, заслуживает присуждения учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.8 – физика конденсированного состояния.

Диссертация, автореферат Пермяковой И.Е. и отзыв ведущей организации НИТУ МИСиС обсуждены и одобрены на заседании научного семинара кафедры металловедения и физики прочности (протокол № 01 от «05» сентября 2023 г.)

Отзыв составили:

Заведующий кафедрой
металловедения и физики
прочности НИТУ МИСИС
доктор технических наук,
профессор
119049 г. Москва, Ленинский проспект,
д. 4, стр. 1, тел. +7 495 955-00-91
E-mail: nikulin@misis.ru

Никulin Сергей Анатольевич

Заместитель заведующего
кафедрой металловедения и
физики прочности НИТУ МИСИС
доктор технических наук,
профессор
119049 г. Москва, Ленинский проспект,
д. 4, стр. 1, тел. +7 495 955-00-13
E-mail: AVKudrya@misis.ru

Кудря Александр Викторович



Подпись Никулina С.А.; Кудря А.В.
веряю
и. начальника Кузнецова А.Е.
кадров
« 05 » 09 2023 г.

Сведения о ведущей организации:

Полное название: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»

Сокращенное название: НИТУ МИСИС

Ведомственная принадлежность: Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Адрес: 119049 г. Москва, Ленинский проспект, д. 4, стр. 1.

Тел.: +7 (495) 955-00-32 Сайт: <https://misis.ru> E-mail: kancela@misis.ru