



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ

«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИСиС»
(НИТУ «МИСиС»)

Ленинский проспект, 4, Москва, 119049
Тел. (495)955-00-32; Факс: (499)236-21-05

<http://www.misis.ru>

E-mail: kancela@misis.ru

ОКПО 02066500 ОГРН 1027739439749

ИНН/КПП 7706019535/ 770601001

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по науке и инновациям,
доктор технических наук, профессор

М. Р. Филонов

2021 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Кузиной Антонины Александровны
«Применение керамических нанопорошков азидной технологии СВС для
армирования алюмоматричных композиционных материалов», представленную
на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.6.17. Материаловедение

Актуальность темы исследования

Дисперсно армированные алюмоматричные композиционные материалы (АМКМ), в матрице которых находятся упрочняющие керамические частицы тугоплавких соединений (оксидов, нитридов, карбидов, боридов и др.), отличаются малым весом, высокой удельной прочностью, износостойкостью, коррозионной стойкостью, достаточно широким температурным интервалом эксплуатации, хорошими технологическими свойствами, в связи с чем находят широкое применение в различных отраслях транспортного машиностроения. Наибольший объем их применения приходится на автомобильный транспорт, где они используются для деталей двигателей и тормозов. В настоящее время особый

интерес для повышения свойств АМКМ вызывает применение наночастиц керамических соединений, которые могут привести к значительному увеличению твердости и прочности АМКМ при меньшем содержании армирующей фазы, чем в случае частиц микронных размеров, что позволяет сохранить заметный запас пластичности алюминиевой матрицы и получить прочные, но не хрупкие АМКМ. Среди АМКМ, упрочненных наночастицами, промышленное производство и применение пока нашли только изготовленные твердофазными методами порошковой металлургии нанокompозиты марки САП ($\text{Al-Al}_2\text{O}_3$) и $\text{Al-Al}_4\text{C}_3$ с содержанием армирующих наночастиц Al_2O_3 и Al_4C_3 до 22% и с уникальными механическими свойствами вплоть до 500°C . Однако применение этих нанокompозитов ограничено как их высокой стоимостью из-за многостадийности и энергозатратности твердофазного процесса получения заготовок из дисперсно-упрочненных АМКМ, так и простыми формами этих заготовок, которые необходимо дополнительно обрабатывать, чтобы получить деталь нужной формы и размеров. Жидкофазные методы экономически более эффективны для промышленного производства из-за возможности использования имеющегося недорогого оборудования литейного производства и получения литых заготовок и деталей сложной формы. Но проблема разработки пригодных для промышленного применения технологий получения литых АМКМ, упрочненных керамическими наночастицами, остается на сегодня нерешенной. Очень дороги керамические нанопорошки оксидов, нитридов, карбидов и другие, доступные на рынке, что во многом связано со сложностью и энергозатратностью существующих технологий их получения, в первую очередь, плазмохимического синтеза. А существующие методы ввода нанопорошков в расплав алюминия сложны и малопродуктивны и не всегда обеспечивают равномерное распределение наночастиц по объему матрицы, особенно при повышенном содержании наночастиц, что не позволяет реализовать большие потенциальные возможности упрочнения АМКМ наночастицами.

В связи с этим не вызывает сомнения актуальность и практическая значимость диссертационной работы А.А. Кузиной, цель которой заключается в

исследовании и разработке наиболее простых методов изготовления литых и спеченных алюмоматричных композиционных материалов, армированных наночастицами керамических порошков нитридов и карбидов Si_3N_4 , $\text{SiC-Si}_3\text{N}_4$ и AlN , полученными по азидной технологии СВС. Использование нанопорошков нитридов и карбидов наиболее перспективно для создания дисперсно-упрочненных АМКМ, пригодных для работы при повышенных температурах и в узлах трения. Нанопорошки азидной технологии СВС значительно дешевле доступных на рынке керамических нанопорошков, так как метод СВС-Аз характеризуется простотой осуществления в малогабаритном оборудовании, энергосбережением за счет собственного тепловыделения горения, дешевизной и доступностью многих исходных порошковых реагентов. Однако отсутствует опыт разработки АМКМ, армированных нанопорошками марки СВС-Аз, методов ввода этих нанопорошков в состав литых и спеченных алюмокомпозитов. Основное внимание в диссертационной работе уделяется исследованию применения наиболее простого метода ввода нанопорошков в расплав алюминия и его сплавов для получения литых АМКМ, основанному на использовании нанопорошковых псевдолигатур – прессованных брикетов смесей керамических нанопорошков с металлическими порошками-носителями. Наряду с получением литых дисперсно-упрочненных АМКМ, исследуется применение указанных керамических нанопорошков марки СВС-Аз для изготовления спеченных АМКМ по технологии порошковой металлургии.

Для достижения поставленной цели в работе определены оптимальные технологические режимы изготовления нанопорошковых псевдолигатур, содержащих наночастицы порошков Si_3N_4 , $\text{SiC-Si}_3\text{N}_4$ и AlN , при использовании меди, никеля или алюминия в качестве порошков-носителей; определено максимально возможное количество усваиваемых нанопорошков марки СВС-Аз при вводе их в составе псевдолигатур в расплавы матричных материалов АК12 и А7, влияние воздействия электромагнитных акустических полей на растворимость применяемых псевдолигатур; исследовано влияние содержания армирующих наночастиц марки СВС-Аз на структуру и свойства литых АМКМ

на основе АК12 и А7; изучен процесс получения спеченного АМКМ состава Al-AlN твердофазным методом порошковой металлургии при использовании порошка алюминия ПА-4 и нанопорошка AlN марки СВС-Аз.

Новизна полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Научная новизна диссертационной работы состоит в том, что впервые для армирования алюминия применены керамические нанопорошки нитридов и карбидов Si_3N_4 , $\text{SiC-Si}_3\text{N}_4$ и AlN марки СВС-Аз. В работе установлено, что при жидкофазном способе получения АМКМ соль криолита Na_3AlF_6 , присутствующая в нанопорошках $\text{SiC-Si}_3\text{N}_4$ и AlN, играет роль флюса, удаляется из расплава и не входит в конечный состав литого АМКМ. При твердофазном способе порошковой металлургии получения алюмокомпозита Al-AlN примесь соли Na_3AlF_6 не удаляется, загрязняет состав спеченного АМКМ и приводит к его повышенной пористости.

Установлены закономерности процессов смешивания и прессования порошков при получении нанопорошковых псевдолигатур на основе различных металлических порошков-носителей: меди, никеля или алюминия, содержащих армирующие наночастицы керамических порошков Si_3N_4 , $\text{SiC-Si}_3\text{N}_4$ и AlN марки СВС-Аз, для применения при жидкофазном изготовлении АМКМ.

Исследован процесс ввода псевдолигатур с нанопорошками марки СВС-Аз в расплав алюминия А7 и алюминиевого сплава АК12. Установлено, что псевдолигатуры растворяются в расплаве при содержании в составе псевдолигатуры не более 5% нанопорошков марки СВС-Аз, что позволяет усвоить расплавом и ввести в конечный состав АМКМ не более 0,1% армирующих частиц нанопорошков марки СВС-Аз.

Установлено, что использование обработки электромагнитными акустическими полями расплава алюминия А7 и алюминиевого сплава АК12 практически не влияет на растворимость псевдолигатур, содержащих нанопорошки Si_3N_4 , $\text{SiC-Si}_3\text{N}_4$ и AlN марки СВС-Аз.

Впервые установлено влияние наночастиц керамических порошков Si_3N_4 , $\text{SiC-Si}_3\text{N}_4$ и AlN марки СВС-Аз на механические свойства АМКМ, полученных жидкофазным методом. Определено, что лучшие результаты в повышении прочностных характеристик отмечаются при армировании алюминиевой матрицы наночастицами порошка Si_3N_4 , который не содержит побочной соли криолита.

Показано, что применение твердофазного метода порошковой металлургии с прессованием и спеканием смесей порошка алюминия марки ПА-4 и нанопорошка армирующей фазы ($\text{AlN}+5\%\text{Na}_3\text{AlF}_6$) марки СВС-Аз для изготовления композита Al-AlN с большим содержанием (5-75)% армирующей фазы нанопорошка не приводит к успеху, так как при спекании побочная соль криолита Na_3AlF_6 не удаляется, спеченные образцы АМКМ получаются сильно окисленными и высокопористыми.

Практическая значимость полученных автором результатов диссертационной работы

Экспериментально определены:

1. Технологические режимы получения псевдолигатур, содержащих наночастицы керамических порошков Si_3N_4 , $\text{SiC-Si}_3\text{N}_4$ и AlN марки СВС-Аз, на различных металлических порошках – носителях: меди, никеля или алюминия, для жидкофазного армирования алюминиевых сплавов.

2. Технологические режимы ввода псевдолигатур, содержащих наночастицы порошков марки СВС-Аз, в расплавы алюминия А7 и алюминиевого сплава АК12 для получения литых АМКМ.

Установлено, что максимальное повышение твердости АМКМ на основе А7 наблюдается при вводе частиц Si_3N_4 , ($\text{SiC-Si}_3\text{N}_4$) и AlN в составе псевдолигатур на порошке – носителе медь.

3. Технологические режимы изготовления композита Al-AlN твердофазным способом порошковой металлургии при использовании порошка алюминия марки ПА-4 и нанопорошка марки СВС-Аз состава ($\text{AlN}+5\%\text{Na}_3\text{AlF}_6$).

Результаты исследования внедрены в учебный процесс ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» и используются для подготовки бакалавров по направлениям 28.03.02 «Наноинженерия», 22.03.02 «Металлургия», 15.03.01 «Машиностроение» и магистров направления 22.04.02 «Металлургия».

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы

Результаты, представленные в диссертационной работе Кузиной А.А., могут быть использованы в различных отраслях транспортного машиностроения для создания новых, обладающих повышенными показателями прочности, износостойкости и других свойств, АМКМ, армированных керамическими нанопорошками марки СВС-Аз; а также в ВУЗах (ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», г. Самара; ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва и др.) при подготовке бакалавров и магистров.

По теме диссертации Кузиной А.А. опубликовано 30 печатных работ, из них 3 в изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России, 5 в изданиях, индексируемых базой данных Scopus и получены 2 свидетельства о регистрации базы данных. Количество и уровень публикаций Кузиной А.А. соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук. Результаты, представленные в диссертационной работе, прошли апробацию на конференциях различного уровня.

Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы из 178 наименований. Диссертация изложена на 218 страницах машинописного текста и содержит 93 рисунка, 25 таблиц и 3 приложения.

Во введении к диссертации обоснована актуальность выбранной темы диссертации, сформулированы объекты, методы, цель и задачи исследования, определены научная новизна и практическая значимость результатов, изложены основные положения, выносимые на защиту. Приводятся сведения об апробации работы и публикациях, структуре и объеме диссертационной работы.

В первой главе представлен аналитический обзор литературы. Показана перспективность и востребованность АМКМ в различных отраслях промышленности. Приводится обзор различных механизмов упрочнения пластичных матриц сплавов дисперсными частицами, данные о свойствах АМКМ, упрочненных керамическими наночастицами. Рассмотрены технологии изготовления АМКМ, обоснован выбор нанопорошков марки СВС-Аз и их ввод в составе псевдолигатур для армирования алюминиевых сплавов. В результате анализа литературы показана перспективность применения нанопорошков марки СВС-Аз для армирования алюмоматричных композиционных материалов. Сформулированы цель и задачи диссертационной работы.

Во второй главе представлено описание исходных материалов; методов изготовления композиционных материалов; экспериментальных методик исследования и используемых приборов и оборудования. Выбраны и охарактеризованы керамические нанопорошки нитридов и карбидов Si_3N_4 , $\text{SiC-Si}_3\text{N}_4$ и AlN марки СВС-Аз; металлические порошки - носители для изготовления нанопорошковых псевдолигатур: меди марки ПМС-1, никеля марки ПНЭ-1, алюминия марки АКП; материалы алюминиевой матрицы: чистый алюминий А7 и типовой литейный алюминиевый сплав АК12 – для жидкофазного метода изготовления КМ, порошок марки ПА-4 - для твердофазного метода изготовления КМ. Изложены методы изготовления нанопорошковых псевдолигатур, включающие смешивание керамических нанопорошков с металлическими порошками – носителями с последующим прессованием порошковых смесей в брикеты; жидкофазный метод изготовления КМ с алюминиевой матрицей путем ввода нанопорошковой псевдолигатуры в алюминиевый расплав с растворением металлического порошка-носителя и распределением керамического нанопорошка по объему расплава; твердофазный метод порошковой металлургии изготовления КМ с алюминиевой матрицей, включающий: смешивание порошка матричного металла с армирующим керамическим нанопорошком, прессование смеси и спекание прессовки.

В третьей главе представлены результаты исследований получения прессованных брикетов псевдолигатур из смесей металлических порошков-носителей (меди, никеля или алюминия) с нанопорошками Si_3N_4 , $\text{SiC-Si}_3\text{N}_4$ и AlN марки СВС-Аз. Установлены закономерности процессов смешивания и прессования порошков. Показано, что длительное по времени и относительно медленное по скорости смешивание металлических и керамических нанопорошков в шаровой мельнице приводит к насыщению кислородом, загрязнению порошковых смесей и не позволяет достичь равномерного распределения компонентов в смесях, в то время как применение планетарной мельницы с более интенсивным смешиванием и механоактивацией порошков позволяет сократить время смешивания, уменьшить окисление, загрязнение композиций и улучшить однородность их смеси. Найдены оптимальные режимы изготовления смесей порошков в планетарной мельнице. Определены давления прессования полученных смесей для изготовления брикетов нанопорошковых псевдолигатур с различной пористостью и массой.

В четвертой главе представлены результаты исследований ввода прессованных брикетов псевдолигатур при использовании меди, никеля или алюминия в качестве порошков-носителей с нанопорошками Si_3N_4 , $\text{SiC-Si}_3\text{N}_4$ и AlN марки СВС-Аз в расплав алюминия А7 и алюминиевого сплава АК12 (силумина) и влияния электромагнитных акустических полей на усвоение их расплавом. Установлено оптимальное содержание 2,5% и 5% армирующих наночастиц марки СВС-Аз: Si_3N_4 , $(\text{SiC}+32,8\%\text{Si}_3\text{N}_4+18,6\%\text{Na}_3\text{AlF}_6)$ и $(\text{AlN}+35\%\text{Na}_3\text{AlF}_6)$ в брикетах псевдолигатур на металлических порошках-носителях медь, никель или алюминий для их полного растворения в алюминиевом расплаве А7 и АК12 при температуре расплава 900°C и времени выдержки 30 минут, что позволяет ввести не более 0,1% армирующего керамического нанопорошка в состав АМКМ. При этом пористость брикетов псевдолигатур должна быть в пределах от 10 до 15%, а масса от 2 до 3 граммов. Для растворения более плотных и крупных брикетов необходимо увеличивать длительность выдержки и температуру расплава, что усложняет и удорожает

процесс ввода брикетов нанопорошковых псевдолигатур. Примесь криолита Na_3AlF_6 в составе псевдолигатуры играет роль рафинирующего флюса в расплаве алюминиевых сплавов, выходит в шлак и в конечный состав АМКМ не входит, не загрязняет АМКМ. Введение псевдолигатур с нанопорошками марки СВС-Аз приводит к измельчению структуры АМКМ. Показано что применение обработки расплава алюминия (А7 или АК12) ЭМАП с частотой 500 кГц или 1000 кГц длительностью от 2 до 45 минут практически не влияет на растворимость псевдолигатур, содержащих нанопорошки Si_3N_4 , $\text{SiC-Si}_3\text{N}_4$ и AlN марки СВС-Аз, но при большой длительности 30-45 минут приводит к повышенной пористости и насыщению кислородом воздуха, поэтому применять воздействие ЭМАП на расплав алюминия для ввода нанопорошковых псевдолигатур марки СВС-Аз не целесообразно.

В пятой главе представлены результаты исследований свойств полученных литых АМКМ, армированных наночастицами Si_3N_4 , $\text{SiC-Si}_3\text{N}_4$ и AlN марки СВС-Аз. Выявлено, что пористость полученных литых АМКМ с матрицами из А7 и АК12 составляет от 0,5 до 2,0 %; при этом минимальная пористость отмечается при армировании псевдолигатурами на порошке – носителе медь, максимальная – при армировании псевдолигатурами на порошке – носителе алюминий. Армирование наночастицами марки СВС-Аз приводит к увеличению твердости на 20-34%, предела прочности на 10-17%, предела текучести на 8-15%, наибольшее повышение прочностных свойств наблюдается при армировании нанопорошком Si_3N_4 , который не содержит примеси побочной соли криолита. Армирование этим нанопорошком приводит к наименьшему падению относительного удлинения с 2 до 1,7%, в то время как при других нанопорошках этот показатель пластичности уменьшается до 1,3%. Ударная вязкость снижается примерно одинаково с 0,04 до 0,03-0,035 МДж/м². Для всех составов полученных АМКМ характерен вязкий излом матрицы – алюминия, что свидетельствует о сохранении достаточной пластичности АМКМ.

В шестой главе приведены результаты исследования возможности изготовления композита Al-AlN с большим содержанием (5-75)% армирующей

фазы нанопорошка ($\text{AlN}+5\%\text{Na}_3\text{AlF}_6$) марки СВС-Аз твердофазным методом порошковой металлургии с прессованием и спеканием смесей порошка алюминия марки ПА-4 и нанопорошка армирующей фазы. При содержании нанопорошка ($\text{AlN}+5\%\text{Na}_3\text{AlF}_6$) более 30% прессованные порошковые образцы получались слишком пористыми и непрочными, что затрудняло их изготовление и спекание. Спеченные образцы АМКМ с минимальной пористостью (4,5-8,5)% были получены при содержании армирующей фазы от 5 до 30% путем смешивания в планетарной мельнице в течение 1 минуты со скоростью 250 об/мин, холодного прессования смесей с давлением 300 МПа, спекания при температуре 580°C в вакууме 2×10^{-1} мм рт. ст. с изотермической выдержкой в течение 40 минут. Однако эти спеченные образцы оказались не только пористыми, но и сильно окисленными, с содержанием элемента кислорода (10-20)%, и загрязненными примесью соли криолита Na_3AlF_6 , которую не удалось удалить при спекании.

В заключении обобщены результаты работы и представлены выводы. Эти результаты свидетельствуют о том, что керамические нанопорошки нитридов и карбидов Si_3N_4 , $\text{SiC-Si}_3\text{N}_4$ и AlN марки СВС-Аз могут быть использованы для дискретного армирования АМКМ жидкофазным методом с вводом в алюминиевый расплав нанопорошковых псевдолигатур в виде прессованной смеси керамического нанопорошка с металлическим порошком-носителем при содержании нанопорошка не более 5%, что позволяет ввести в состав литого АМКМ не более 0,1% армирующей фазы. При этом примесь побочной соли криолита Na_3AlF_6 играет роль флюса, удаляется из расплава и не входит в конечный состав литого АМКМ. Попытку изготовления композита Al-AlN с большим содержанием (5-75)% армирующей фазы нанопорошка ($\text{AlN}+5\%\text{Na}_3\text{AlF}_6$) марки СВС-Аз твердофазным методом порошковой металлургии с прессованием и спеканием смесей порошка алюминия марки ПА-4 и нанопорошка армирующей фазы следует признать неудачной, так как при спекании побочная соль криолита Na_3AlF_6 не удаляется, спеченные образцы АМКМ получают загрязненными примесью криолита, сильно окисленными и высокопористыми.

В приложениях представлены:

1. Акт о внедрении диссертационного исследования в учебный процесс.
2. Два свидетельства о регистрации баз данных.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и заключений, приводимых в диссертационной работе Кузиной А.А., подтверждается большим объемом полученных экспериментальных данных, применением современного аналитического оборудования, использованием аттестованных методов и методик. Экспериментальные результаты имеют удовлетворительную сходимость с теоретическими данными, не противоречат исследованиям других авторов.

Соответствие работы требованиям, предъявляемым к диссертационным работам

Выполнены все требования, предъявляемые к диссертационным работам. Проведен подробный анализ литературных данных, относящихся к теме диссертации, правильно установлены цели и задачи исследования. Экспериментальные результаты представлены четко, как в виде графиков (гистограмм) и фотографий структур, так и текста, их описывающего. Работа написана ясным языком, хорошо иллюстрирована. Диссертация и автореферат содержат необходимые разделы и соответствуют друг другу.

Замечания по диссертационной работе

По диссертационной работе имеются следующие замечания:

1. В литературном обзоре приводится значительное количество примеров армирования алюминия и его сплавов карбидными, боридными или оксидными фазами, но в работе используются нитриды, поэтому предпочтительней было бы рассмотрение примеров с армированием именно нитридами. В частности, следовало бы больше уделить внимание смачиваемости нитридов алюминиевым расплавом и методам ее повышения.

2. Для прямого подтверждения введения наночастиц нитридов и их присутствия в составе полученных литых АМКМ при их малом размере и количестве следовало бы провести соответствующие исследования с

применением просвечивающего электронного микроскопа.

3. В работе представлены результаты исследований прочности, текучести, ударной вязкости, относительного удлинения и микрофотографии изломов литых образцов только на основе сплава АК12.

4. Для изготовления спеченных порошковых дискретно армированных АМКМ применялся только нанопорошок AlN марки СВС-Аз с примесью 5% соли криолита Na_3AlF_6 , и неудовлетворительные результаты применения были объяснены наличием этой примеси. Для подтверждения такого объяснения следовало бы применить для армирования спеченных АМКМ и нанопорошок Si_3N_4 марки СВС-Аз, который не содержит примеси соли криолита, и посмотреть на результаты этого применения.

5. Используемые в работе методы спекания смесей порошка алюминия марки ПА-4 и нанопорошка армирующей фазы AlN марки СВС-Аз не позволяли предотвращать сильное окисление порошков в процессе спекания и, естественно, получать качественные спеченные дискретно армированные АМКМ.

6. Встречаются опечатки в тексте диссертационной работы, например, композиция SiC-Si₃N₄ также обозначается SiC+Si₃N₄ и др.

Заключение

Однако отмеченные недостатки не снижают существенно теоретической и практической значимости выполненных исследований, а полученные в диссертации результаты соответствуют поставленным целям.

В целом диссертационная работа Кузиной А.А. является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи по применению керамических нанопорошков азидной технологии СВС для изготовления дисперсно армированных алюмоматричных композиционных материалов, имеющей важное значение для развития материаловедения в машиностроении.

По объему полученных результатов и научной значимости диссертационная работа Кузиной А.А. удовлетворяет всем требованиям, в том

числе п.9 «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК Российской Федерации, утвержденного Постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Кузина Антонина Александровна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. Материаловедение.

Отзыв составлен на основании анализа диссертации, автореферата и публикаций Кузиной А.А. на объединённом заседании Кафедры порошковой металлургии и функциональных покрытий (ПМиФП) и Научно-учебного центра СВС МИСиС-ИСМАН (НУЦ СВС) Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» (протокол № 12 от «06» июня 2021 г.).

Заведующий кафедрой ПМиФП,
директор НУЦ СВС,
доктор технических наук, профессор

Е.А. Левашов

Ученый секретарь кафедры ПМиФП,
доцент кафедры ПМиФП,
кандидат технических наук

В.Ю. Лопатин

Ученый секретарь НУЦ СВС,
в.н.с., доцент кафедры ПМиФП,
кандидат технических наук

В.В. Курбаткина

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», 119049, г. Москва, Ленинский проспект, 4
Тел.: 7 (495) 638-45-00, Факс: 7 (499) 236-52-98, E-mail: vykurb@mail.ru



Подпись: Левашов Е.А., Лопатин В.Ю., Курбаткина В.В.

Исполняющий
начальника
отдела кадров МИСиС

Кузнецова А.Е.

«06» 07 2021 г.