

МИСИС
УНИВЕРСИТЕТФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИСИС»
(НИТУ МИСИС)

Ленинский проспект, 4, стр.1, 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

2024 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

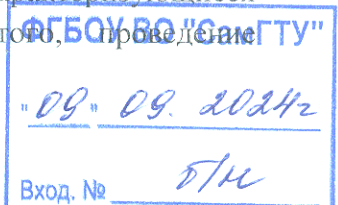
на диссертационную работу Шериной Юлии Владимировны
по теме «Влияние армирования высокодисперсной фазой карбида титана,
синтезированной в расплаве, и термообработки на структуру и свойства промышленных
алюминиевых сплавов», представленную на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности 2.6.17 Материаловедение

Актуальность темы исследования

Алюмоматричные композиционные материалы (АМКМ), дисперсно-армированные тугоплавкими высокодисперсными частицами карбида титана TiC, представляют большой интерес для использования в различных отраслях производства: автомобилестроении, авиастроении и др., что обусловлено высокими прочностью и твердостью этих частиц, а также их хорошей совместимостью с алюминиевой матрицей. Применение метода СВС учеными СамГТУ позволило достичь значительных успехов в получении композитов системы Al-TiC и определить оптимальное содержание армирующей фазы – 10 масс. % TiC. Также были проведены исследования по легированию матричной основы путем введения в расплав алюминия элементных порошков меди, марганца, никеля, а также шихты из порошков титана и углерода с добавлением 5% соли Na₂TiF₆, что позволило провести полноценный процесс СВС в расплаве алюминия с получением модельных композиционных материалов, включающих 10 масс.% фазы TiC высокой дисперсности и отличающихся повышенными механическими и эксплуатационными (трибологическими) свойствами. Однако в настоящее время промышленно производится только АМКМ, дискретно-армированные карбидом кремния SiC и оксидом алюминия Al₂O₃, при этом объемы их производства малы, а АМКМ, армированные карбидом титана, массово не производится вовсе.

В качестве матричной основы для промышленно изготавливаемых АМКМ целесообразно использовать не чистый алюминий, а производимые промышленностью алюминиевые сплавы, в которых в качестве основных легирующих элементов применяются Si, Cu, Mg, Mn, Zn, Fe, Ni, Ti и др. Например, алюминий и кремний образуют эвтектику Al-11,7%Si, которая служит основой для литейных алюминиевых сплавов (силуминов) и обладает температурой плавления 577°C. В других случаях легирующие элементы создают с алюминием твердые растворы с ограниченной переменной растворимостью и/или вторичные интерметаллические фазы (CuAl₂, CuMgAl₂, MgZn₂, TiAl₃, MnAl₆ и др.), характеризующиеся повышенной твердостью и температурой плавления. Помимо этого, проведенное

с отзывом ознакомлена 09.09.2024г
Мер



последующей термической обработки для полученных АМКМ создает возможности для дополнительного их улучшения. Эти результаты, наряду с использованием недорогих исходных реагентов, простотой исполнения, малой длительностью и энергосбережением процесса СВС открывают большие перспективы для качественного повышения свойств новых композитов. Однако закономерности протекания структурных и фазовых превращений, а также температурно-временные параметры термической обработки АМКМ на основе промышленных алюминиевых сплавов, дисперсно-армированных фазой карбида титана, не были ранее изучены, что и определило актуальность темы этого исследования структуры и свойств новых АМКМ на основе промышленных алюминиевых сплавов, армированных высокодисперсной (с размером частиц менее 1-2 мкм) фазой карбида титана TiC, полученной методом СВС в расплаве, с последующей термической обработкой.

Новизна полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Научная новизна диссертационной работы состоит в том, что впервые выполнен термодинамический анализ протекания реакции синтеза карбида титана в расплавах промышленных алюминиевых сплавов АМг2, АМг6, АМ4,5Кд, АК10М2Н, определены адиабатические температуры и состав продуктов реакции. Экспериментально установлены параметры проведения процесса СВС с формированием частиц TiC высокой дисперсности размером от 130 нм до 2 мкм и равноосной мелкозернистой структурой слитков из новых композиционных материалов АМг2-10%TiC, АМг6-10%TiC, АМ4,5Кд-10%TiC и АК10М2Н-10%TiC. Определено содержание карбида титана в объеме матрицы и доказана возможность его получения методом СВС в расплавах промышленных сплавов АМг2, АМг6, АМ4,5Кд, АК10М2Н с концентрацией 9-10 масс.%. Установлено влияние термической обработки на структуру и свойства синтезированных композиционных материалов, и показано, что наличие высокодисперсных частиц карбидной фазы способствует выделению дополнительных интерметаллических фаз. При нагреве композиционных материалов на основах АМг2 и АМг6 происходит выделение β -фазы (Al_3Mg_2). При термической обработке по режимам Т6 (закалка + старение) на основе АМ4,5Кд выделяется θ -фаза (Al_2Cu), а на основе АК10М2Н – две фазы: Al_2Cu и Al_3Ni , что приводит к увеличению твердости и износостойкости. Установлены оптимальные режимы термической обработки композиционных материалов. Полученные результаты позволили автору рекомендовать разработанные сплавы и композиты в качестве легких износостойких материалов триботехнического назначения.

Практическая значимость полученных автором результатов диссертационной работы

Даны практические рекомендации для синтеза в режиме горения высокодисперсной фазы карбида титана (от 130 нм до 2 мкм) в количестве 9-10 масс.% в составе промышленных алюминиевых сплавов АМг2, АМг6, АМ4,5Кд и АК10М2Н с формированием равноосной мелкозернистой структуры сплавов АМг2-10%TiC, АМг6-10%TiC, АМ4,5Кд-10%TiC и АК10М2Н-10%TiC. Определены оптимальные режимы термической обработки полученных методом СВС новых АМКМ с обеспечением их заданного фазового состава и повышенных свойств. Согласно полученным актам практического использования результатов диссертации, синтезированные композиционные материалы АМг2-10%TiC, АМг6-10%TiC, АМ4,5Кд-10%TiC и АК10М2Н-10%TiC после термической обработки обладают повышенными трибологическими свойствами и рекомендованы для изготовления износостойких деталей узлов трения и автомобильных

двигателей, а также в качестве легких конструкционных материалов для изготовления деталей нефтепромышленного оборудования с облегченным весом.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы

Результаты и выводы диссертации могут быть использованы для получения простым энергосберегающим методом СВС новых алюмоматричных композиционных материалов на основе промышленных алюминиевых сплавов, армированных высокодисперсной фазой карбида титана, которые перспективны для применения в качестве легких износостойких материалов. Кроме того, эти результаты могут быть использованы в вузах при подготовке бакалавров и магистров по направлениям «Металлургия» и «Материаловедение и технологии материалов».

Публикации и апробация основных положений работы

Основные результаты диссертации достаточно полно изложены в 13 научных публикациях, в том числе 11 статей в изданиях, входящих в перечень рецензируемых журналов ВАК для защиты диссертаций по специальности 2.6.17. Материаловедение, 1 статья входящая в международную базу данных Scopus. Основные положения работы, выносимые на защиту, прошли апробацию на 3 международных и 7 всероссийских конференциях.

Содержание диссертационной работы

Диссертация состоит из введения, шести глав, основных выводов, списка литературы из 127 наименований и четырех приложений. Материалы изложены на 207 страницах машинописного текста, содержат 115 иллюстраций, 62 таблицы и 29 формул.

Во введении содержится обоснование актуальности диссертационной работы, цель и задачи исследований, обоснование новизны и практической значимости работы.

В первой главе приведен аналитический обзор научно-технической литературы, связанный с информацией о видах алюмоматричных композиционных материалов (АМКМ). Обсуждаются наиболее распространенные и перспективные методы получения АМКМ. Подробно рассмотрены виды термической обработки, применяемые для алюминиевых сплавов и композиционных материалов, полученных на их основах. Приведены общие сведения о наиболее перспективных областях применения дисперсно-армированных композитов на основе промышленных алюминиевых сплавов. Раздел заканчивается выбором наиболее перспективных алюминиевых сплавов для синтеза армирующей фазы карбида титана методом СВС в расплаве, формулировкой цели и задач для проведения настоящего диссертационного исследования.

Вторая глава посвящена описанию исходных компонентов, методик, приборов и оборудования, применяемых в данном исследовании. Описаны химические составы выбранных для проведения диссертационного исследования алюминиевых промышленных сплавов марок АМг2, АМг6, АМ4,5Кд и АК10М2Н, а также характеристики шихтовых компонентов (порошок титана ТПП-7, углерод технический П-701, галоидная соль Na_2TiF_6). Приведена методика и оборудование для получения композиционных материалов АМг2-10%TiC, АМг6-10%TiC, АМ4,5Кд-10%TiC и АК10М2Н-10%TiC методом СВС в расплаве. Представлены основы проведения термодинамического анализа, а также методы анализа структурно-фазового состава материалов. Описаны методики и оборудование для определения физических, химических, механических, технологических и эксплуатационных свойств.

Третья глава посвящена синтезу, термической обработке и свойствам композиционного материала АМг2-10%ТiС. Представлены результаты термодинамического анализа возможности синтеза карбида титана методом СВС в расплаве промышленного алюминиевого сплава АМг2. Показано, что температура расплава 900 °С обеспечивает полноту образования фазы карбида титана, а также необходимую для гарантированного обеспечения смачивания и усвоения армирующих частиц расплавом адиабатическую температуру не менее 1160 °С при отсутствии охрупчивающих фаз карбида алюминия и алюминида титана. Аналогичный термодинамический анализ проведен для всех синтезированных АМКМ на основе промышленных сплавов.

Структурно-фазовый анализ показал наличие в составе сплава АМг2 фазы ТiС размером от 180 нм в количестве 9 масс.%. Экспериментальные данные по влиянию термической обработки на структуру и свойства показали, что оптимальным режимом для КМ АМг2-10%ТiС является нагрев при $T = 150$ °С с выдержкой в течение 3 часов и последующим охлаждением. После проведения термообработки размер частиц ТiС и ее распределение остаются на прежнем уровне. При этом отмечается повышение твердости с 59,4 до 67,6 НВ, что связано с выделением интерметаллической β -фазы состава Al_3Mg_2 в количестве 3 масс.%.

По результатам исследований физических свойств выявлено, что плотность композиционного материала после термической обработки несколько выше плотности матричного сплава, что связано с наличием армирующей фазы ТiС с плотностью $4,92$ г/см³, и составляет $2,83$ г/см³. Из сравнения теоретической и экспериментальной плотностей АМКМ следует, что в литых образцах после СВС пористость не превышает 1%, а после термической обработки снижается до 0%, что связано с улучшением адгезионной связи матрицы и наполнителя в результате нагрева. При оценке уровня коррозионной стойкости показатель коррозии на всех образцах не превышает 0,003 мм/год, что позволяет отнести материалы к группе коррозионностойких. По результатам измерения твердости и микротвердости выявлено, что проведение термической обработки способствует повышению данных характеристик на 12 и 18%, соответственно, что связано с наличием карбида титана и интерметаллической β -фазы состава Al_3Mg_2 . Также показано, что термообработка не только способствует повышению уровня твердости и микротвердости, но и сохранению уровня прочности в условиях сжимающих нагрузок (298 МПа) с небольшим падением уровня пластичности. В качестве технологической характеристики КМ АМг2-10%ТiС в рамках данного диссертационного исследования производилась оценка свариваемости методом аргонодуговой сварки (АРДС). Результаты исследований показали наличие армирующей фазы во всех зонах сварного соединения, отсутствие скрытых дефектов, а также сохранение механических свойств (твердость, прочность при сжатии) на уровне литого композиционного материала. Показано, что армирование матричного сплава АМг2 высокодисперсными частицами ТiС в комплексе с термической обработкой приводит к значительному снижению скорости износа – до 9 раз, а также снижению коэффициента трения – до 4 раз.

В четвертой главе приведены результаты исследований по синтезу, термической обработке и свойствам композита АМг6-10%ТiС. Структурно-фазовый анализ определил наличие в составе сплава АМг6 фазы ТiС размером от 130 нм в количестве 10 масс.%. Результаты эксперимента по влиянию термообработки на структуру и свойства показали, что оптимальным режимом для КМ АМг6-10%ТiС является нагрев при $T = 230$ °С с выдержкой в течение 3 часов и охлаждением на спокойном воздухе. После проведения термообработки

размер частиц TiC и их распределение остаются на прежнем уровне, однако, отмечается повышение твердости с 90,9 до 99,9 НВ, что связано с выделением интерметаллической β -фазы состава Al_3Mg_2 в количестве 6 масс.%. По результатам экспериментальных исследований физических свойств выявлено, что плотность композиционного материала после термической обработки несколько выше плотности матричного сплава и составляет $2,77 \text{ г/см}^3$, а пористость близка к 0. При оценке уровня коррозионной стойкости показатель коррозии на всех образцах не превышает 0,003 мм/год, что позволяет отнести материалы к группе весьма стойких к коррозии.

Термообработка способствовала повышению данных характеристик на 20 и 8%, соответственно, что связано с наличием карбида титана и интерметаллической β -фазы состава Al_3Mg_2 . Отмечен большой прирост твердости по сравнению с системой AMg2-10%TiC, что обусловлено большим количеством интерметаллической β -фазы (6% вместо 3%). Показало, что термообработка для данного сплава оказывает негативное влияние на прочностные характеристики (395 МПа) и пластичность. Результаты по оценке свариваемости методом АРДС показали наличие армирующей фазы во всех зонах сварного соединения. На образцах композиционного материала отмечается присутствие скрытых дефектов в виде пор и непроваров, что оказало негативное влияние на механические свойства (твердость, прочность при сжатии). Армирование матричного сплава AMg6 высокодисперсными частицами TiC в комплексе с термической обработкой позволили значительно снизить скорость износа в 4 раз и коэффициент трения – до 2 раз.

Пятая глава посвящена синтезу, термической обработке и свойствам композита AM4,5Кд-10%TiC. Структурно-фазовый анализ после синтеза показал наличие фазы TiC в составе сплава AM4,5Кд размером от 100 нм в количестве 9 масс.%. Результаты эксперимента по влиянию термической обработки на структуру и свойства показали, что оптимальным режимом для АМКМ AM4,5Кд-10%TiC является нагрев под закалку при $T = 545 \text{ }^\circ\text{C}$ с выдержкой в течение 1 часа и последующим охлаждением в холодную воду в комплексе с искусственным старением при $T = 170 \text{ }^\circ\text{C}$ с выдержкой в течение 4 часов, что несколько меньше, чем для достижения максимальной твердости матричного сплава (6 часов). После проведения термообработки размер частиц карбидной фазы и ее распределение остаются на прежнем уровне, но отмечается повышение твердости со 136 до 142 НВ. Это связано с выделением интерметаллической θ -фазы состава Al_2Cu и подтверждается РФА. Плотность композиционного материала после термической обработки несколько выше плотности матричного сплава и составляет $2,93 \text{ г/см}^3$, уровень пористости составляет 0%, а температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР) остается на уровне матричного сплава и составляет $30,8 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$. При испытаниях на коррозионную стойкость показатель коррозии на всех образцах не превысил 0,003 мм/год, что позволило отнести материалы к группе весьма стойких к коррозии. По результатам испытаний на определение твердости и микротвердости выявлено, что проведение термической обработки способствует повышению данных характеристик на 4 и 5%, соответственно, что связано с наличием карбида титана и интерметаллической θ -фазы состава Al_2Cu в количестве 2 масс.%. Также показано, что термообработка способствовала повышению прочности при сжатии на 7% с некоторым падением пластичности композиционного материала. Результаты исследования технологических свойств в пробах по высоте залитого столба показали сохранение жидкотекучести (390 мм) композиционного материала AM4,5Кд-10%TiC на уровне матричного сплава (400 мм), с некоторым падением линейной усадки с 1,31 до 0,99% и повышением стойкости к образованию трещин при кристаллизации, что связано с наличием

TiC. Армирование матричного сплава АМ4,5Кд высокодисперсными частицами TiC в комплексе с термической обработкой приводит к значительному снижению скорости износа – до 3 раз, падению коэффициента трения – до 3 раз, увеличению задиристости – до 2 раз с сохранением уровня кратковременной жаропрочности при температурах 150 и 250 °С.

В шестой главе приведены результаты синтеза, термической обработки и свойств композита АМК10М2Н-10%TiC. Структурно-фазовый анализ после синтеза показывает наличие фазы TiC в составе сплава АК10М2Н размером от 180 нм в количестве 9 масс.%. Результаты эксперимента по влиянию термической обработки на структуру и свойства показали, что оптимальным режимом для композиционного материала АК10М2Н-10%TiC является нагрев под закалку при $T = 515$ °С с выдержкой в течение 1 часа и последующим охлаждением в холодную воду в комплексе с искусственным старением при $T = 190$ °С с выдержкой в течение 2 часов. Для достижения максимальной твердости матричного сплава требуется более длительная выдержка при температуре под закалку – 2 часа. После проведения термообработки размер частиц карбидной фазы и ее распределение остаются на прежнем уровне, но отмечается повышение твердости с 152 до 172 НВ, что связано с выделением интерметаллических фаз состава Al_3Ni и Al_2Cu в количестве 1 и 2 масс.%, соответственно. Плотность композиционного материала после термической обработки несколько выше плотности матричного сплава и составляет $2,84$ г/см³, уровень пористости составляет 0%, а ТКЛР остается на уровне матричного сплава и составляет $26,1 \cdot 10^{-6}$ К⁻¹. По результатам испытаний на определение твердости и микротвердости выявлено, что проведение термической обработки способствует повышению данных характеристик на 13 и 31%, соответственно. Это связано с наличием карбида титана и интерметаллических фаз состава Al_3Ni и Al_2Cu . Термообработка позволила увеличить прочность при сжатии на 5% с некоторым падением уровня пластичности. Оценка технологических свойств показала сохранение жидкотекучести (400 мм) композиционного материала АК10М2Н-10%TiC на уровне матричного сплава, с некоторым падением линейной усадки с 0,6 до 0,59 % и повышением стойкости к образованию трещин при кристаллизации. Показано, что армирование матричного сплава АК10М2Н высокодисперсными частицами TiC в комплексе с термической обработкой приводит к значительному снижению скорости износа – до 17 раз, падению коэффициента трения – до 4 раз, более стабильной работе в условиях повышенных истирающих нагрузок с сохранением уровня кратковременной жаропрочности.

В заключении представлены выводы по полученным результатам работы. Результаты проведенных экспериментальных исследований показывают, что применение метода СВС для получения АМКМ на основе промышленных алюминиевых сплавов (АМг2, АМг6, АМ4,5Кд и АК10М2Н), армированных высокодисперсной фазой TiC в сочетании с термической обработкой позволяет получить новые АМКМ с повышенными механическими и эксплуатационными свойствами, сохраняя при этом малый удельный вес, низкий уровень пористости, уровень коррозионной стойкости, а также технологические характеристики матричных промышленных сплавов.

В приложении 1 представлены акты использования результатов диссертационной работы.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и заключений Шериной Ю.В. подтверждается большим объемом экспериментальных данных, применением современного аналитического оборудования, использованием аттестованных методов и методик. Экспериментальные данные согласуются с теоретическими данными и не противоречат исследованиям других авторов.

Соответствие работы требованиям, предъявляемым к диссертационным работам

Выполнены все требования, предъявляемые к диссертационным работам. Проведен подробный литературный анализ, правильно определены цели и задачи исследования. Экспериментальные результаты представлены четко, как в виде графиков 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. Изложено не совсем понятно, как измеряли равномерность распределения армирующей фазы (рис. 3.4, б; рис. 4.4, б; рис. 5.4, б; рис. 6.4, б) по объему композита. Что подразумевает под собой данный показатель?
2. Не указано, по какому сечению литого образца композита (поперечному или продольному) измеряли равномерность распределения армирующей фазы и определяли ее количество. Вполне возможно, что содержание фазы TiC в верхней части литого образца композита отличается от содержания этой фазы в нижней части образца из-за оседания частиц TiC. Следовало бы показать распределение частиц TiC по высоте литого образца.
3. Не дано объяснения тому факту, что содержание фазы TiC в композите АМг2-10%TiC после термообработки (10% на рис. 3.11) отличается от содержания фазы TiC в этом композите до термообработки (9% на рис. 3.6).
4. Не уделено внимание кинетике и механизму окисления компонентов композита в результате проведения высокотемпературного процесса СВС и нахождения расплава алюминиевых сплавов при температуре порядка 1000 °С в воздушной атмосфере.
5. Не обсуждено, чем обусловлена ничтожно малая остаточная пористость получаемых композитов, обычно не характерная для СВС-продуктов.
6. При исследовании кратковременной жаропрочности композитов АМ4,5Кд-10%TiC и АК10М2Н-10%TiC в главах 5 и 6 пределы прочности образцов этих композитов при сжатии для 150 °С были приняты равными пределам прочности образцов при сжатии для 20 °С, что было отражено на рисунках 5.34 и 6.23, так как нагрузки 100 кН в высокотемпературной установке не хватало для разрушения образцов с появлением первых трещин. Автору следовало бы изготовить образцы меньшего диаметра, чтобы нагрузки 100 кН хватило для разрушения образцов с появлением первых трещин и определения действительного предела прочности при сжатии для 150 °С.
7. Не опробовано возможное интересное и важное применение полученных композитов в качестве модифицирующих лигатур промышленных алюминиевых сплавов.
8. В диссертации ограничились получением небольших литых цилиндрических образцов композитов массой 200 г. Не исследовано влияние масштабного фактора с получением значительно больших образцов композитов, что важно для оценки возможности промышленного применения предложенного способа получения новых композитов на основе промышленных алюминиевых сплавов.
9. Отсутствует оценка экономической эффективности метода применительно к получению композитов на основе промышленных алюминиевых сплавов.

Заключение

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

В целом диссертационная работа Шериной Ю.В. является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи по разработке новых алюмоматричных композиционных материалов на основе промышленных алюминиевых сплавов, армированных высокодисперсной фазой карбида титана, синтезированной методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза в расплаве и подборе режимов термообработки для синтезированных АМКМ, имеющей важное значение для развития материаловедения машиностроения.

По объему полученных результатов, научной и практической значимости диссертационная работа Шериной Ю.В. удовлетворяет всем требованиям, в том числе п. 9 Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 г № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Содержание диссертационной работы соответствует паспорту научной специальности 2.6.17 Материаловедение по пунктам 1, 4 и 6, а ее автор, Шерина Юлия Владимировна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 Материаловедение.

Отзыв составлен на основании анализа диссертации, автореферата и публикаций Шериной Ю.В. на объединенном заседании кафедры порошковой металлургии и функциональных покрытий (ПМиФП) и Научно-учебного центра СВС МИСиС-ИСМАН (НУЦ СВС МИСиС-ИСМАН) Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (протокол № 1 от «29» августа 2024 г.).

Заведующий кафедрой ПМиФП,
директор НУЦ СВС МИСиС-ИСМАН,
доктор технических наук
(01.04.17 – Химическая физика, в том
физика горения и взрыва),
профессор

Евгений Александрович Левашов

Доцент, ученый секретарь кафедры ПМиФП
научный сотрудник НУЦ СВС МИСиС-ИСМАН
кандидат технических наук
(05.16.06 – Порошковая металлургия
и композиционные материалы)

Марина Яковлевна Бычкова

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»
119049, Москва, Ленинский проспект, 4, стр.1
Тел: 7 (495) 955-00-32, Факс: 7 (499) 236-21-05, e-mail: kancela@misis.ru

Тел: 7 (495) 955-00-32, Факс: 7 (499) 236-21-05, e-mail: kancela@misis.ru

Исполнитель: *Левашова Е.А. и Томасова М.А.*

Исполнитель: *Левашова Е.А. и Томасова М.А.*

Исполнитель: *Левашова Е.А. и Томасова М.А.*

2024 г.