

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе
ИТУМИСИС, профессор, доктор
технических наук

М.Р. Филонов

» ноября 2025 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу **Черникова Дмитрия Романовича** на тему
«Получение взрывным прессованием порошковых материалов
системы Ti-Fe с повышенной водородной емкостью»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических
наук по специальности

2.6.17. Материаловедение (технические науки)

Актуальность темы диссертационной работы

Развитие водородной энергетики требует создание недорогих, компактных, малогабаритных, безопасных и эффективных систем хранения водорода, работающих при комнатной температуре и при низком давлении. Наиболее безопасным и эффективным способом решения этой задачи является использование гидридообразующих интерметаллических соединений (ИМС), например, TiFe.

Исследованиям процесса получения подобных материалов и изучению их свойств посвящены работы многих научных групп, в которых показано, что сплавы системы Ti-Fe, содержащие в своем составе фазы Ti_2Fe и β -Ti(Fe), не требуют активации для начала работы и имеют повышенную водородную емкость по сравнению со сплавами, содержащими только ИМС TiFe.

Фаза Ti_2Fe является метастабильной, поэтому для получения её повышенного содержания необходимы высокоскоростные высокоинтенсивные методы

воздействия на материал, особое место среди которых занимает обработка взрывом.

Взрывное компактирование является видом импульсного прессования, которое расширяет возможности порошковой металлургии. Так, нагружение порошковых смесей взрывом дает возможность достичь давлений и температур, достаточных для получения состояния, близкого к монолитному, с возможностью консолидации структурных составляющих и развитием процессов химического взаимодействия между ними. При этом время воздействия на материал оказывается крайне малым, что может оказаться перспективным для сохранения неравновесных метастабильных фаз, образующихся во время прессования.

Обработке порошковых материалов взрывом посвящено большое количество исследовательских работ, поэтому к настоящему времени достигнут высокий уровень теоретического понимания процессов, протекающих при взрывной обработке порошковых материалов, в том числе подтверждена возможность формирования неравновесных при нормальных условиях фаз и химических соединений.

В то же время остаются практически не изученными возможности получения взрывом порошковых материалов на основе титана и железа с термодинамически неравновесным фазовым составом. Мало изучен вопрос о перспективах сочетания взрывного прессования с последующим реакционным спеканием.

Таким образом, **актуальность темы** диссертационной работы Черникова Дмитрия Романовича, которая направлена на получение взрывным прессованием порошковых материалов системы Ti-Fe с повышенной водородной емкостью, **несомненна**. Достижение положительных результатов в этом направлении исследований, заключающихся в получении метастабильных гидридообразующих сплавов на основе ИМС Ti_2Fe методами взрывного прессования и последующей термической обработкой для обратимого компактного и безопасного хранения водорода, позволит стать им хорошей альтернативой уже используемым традиционным сплавам, находящимся в равновесном состоянии.

Структура, объём и содержание диссертационной работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, общих выводов, а также списка цитируемой литературы. Работа изложена на 159 страницах машинописного текста, включая 76 рисунок, 17 таблиц и список литературы из 152 наименований.

В Введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи диссертационной работы, изложены научная новизна и практическая ценность полученных результатов. Приведены основные положения, выносимые на защиту, а также сведения об аprobации результатов и личном вкладе соискателя. Описаны структура и объём диссертационной работы.

В первой главе представлен обзор литературы, в котором рассмотрены преимущества водородных технологий в энергетике и водорода как вида топлива. Проведено сопоставление основных способов хранения водорода, описаны свойства применяемых ИМС, используемых в качестве гидридообразующих сплавов, проанализированы их преимущества и недостатки. Приведены основные характеристики сплавов-накопителей водорода на основе ИМС TiFe, способы получения и модификации данных сплавов.

Проведен анализ влияния отдельных фаз на первичную и обратимую ёмкость материалов системы Ti-Fe. Показано, что увеличить водородную ёмкость сплавов, улучшить кинетику поглощения водорода и избавиться от необходимости активации можно путем увеличения содержания в их составе титана и создания условий получения материала, которые обеспечивают формирование в его структуре сопутствующего интерметаллического соединения Ti_2Fe . На основе проведенного литературного обзора сформулированы цель и задачи исследования.

Во второй главе рассмотрены основные свойства материалов, применяемых в исследовании, приведены схема и режимы взрывного прессования и других использованных методов обработки материалов, описана методика измерения скорости детонации, методика металлографических исследований, методика

дифференциальной сканирующей калориметрии и методика оценки водород-аккумулирующих свойств полученных материалов.

В третьей главе представлены результаты изучения процесса получения, анализа фазового состава, структуры и водород-аккумулирующих свойств материалов системы Ti-Fe с повышенным содержанием титана. В результате проведения исследований показано, что:

1. Наиболее перспективным путем увеличения общей водородной емкости материалов системы Ti-Fe, проявляющейся при первичном гидрировании, является использование существенного избытка Ti по сравнению со стехиометрическим значением (50 ат.%), что приводит к появлению в структуре вторичных фаз – β -Ti и Ti_2Fe , водородная емкость которых является существенно более высокой, чем водородная емкость основной фазы $TiFe$.

2. Насыщение водородом β -Ti является необратимым. Увеличение содержания данной фазы в структуре материалов приводит к увеличению емкости первичного гидрирования материалов системы Ti-Fe, но уменьшает их обратимую водородную емкость. Показано, что эффективным способом одновременного увеличения как емкости первичного гидрирования, так и обратимой водородной емкости является увеличение содержания в структуре материала метастабильного ИМС Ti_2Fe .

3. Перспективным методом получения высоких содержаний Ti_2Fe в структуре материалов системы Ti-Fe является использование взрывного прессования смесей порошков титана и железа. На режимах с локализованной пластической деформацией и струйными течениями материала частиц, наблюдается образование Ti_2Fe в виде сплошных прослоек между частицами железа и титана за счет локального повышения температуры на границе между частицами, их контактного оплавления с последующей ускоренной кристаллизацией при выравнивании температуры по сечению частиц.

4. Для обеспечения полного протекания реакционного взаимодействия

исходных компонентов порошковой смеси и формирования структуры с максимальным содержанием Ti_2Fe при минимальном содержании β - Ti необходимо использовать режимы взрывного прессования, которые обеспечивают равномерную деформацию частиц порошка без струйных течений, при которых смеси порошков Fe и Ti уплотняются до практически беспористого состояния и сохраняют исходный фазовый состав, и последующее реакционное спекание в межкритическом интервале температур (реакционное спекание в присутствии жидкой фазы).

5. Оптимальной температурой спекания является температура 1100 °C, при которой жидкая фаза является одной из равновесных фаз на диаграмме состояния системы Ti – Fe. В результате контактного плавления по границам частиц титана и железа и роста в жидкой фазе ИМС $TiFe$ и Ti_2Fe , а также протекающего при охлаждении (при содержании титана более 59 ат. %) эвтектического превращения: $L \rightarrow TiFe + \beta-Ti(Fe)$ – исходные Ti и Fe полностью растворяются и формируются двух- ($TiFe + Ti_2Fe$) или трехфазные ($TiFe + Ti_2Fe + \beta-Ti(Fe)$) структуры.

6. Время выдержки, необходимое для образования жидкой фазы, полного растворения в ней исходных компонентов и формирования фаз ИМС при температуре спекания не превышает 0,5…1 часа. При этом увеличение содержания титана до 68 ат. % обеспечивает рост доли Ti_2Fe в структуре материалов. При большем содержании Ti наблюдается снижение доли Ti_2Fe за счет увеличения количества образующихся в ходе эвтектического превращения $TiFe$ и β - Ti . Ускоренное охлаждение в струе аргона дает возможность избежать эвтектического распада жидкой фазы и увеличить содержание Ti_2Fe в структуре материала.

7. Полученные многофазные материалы системы Ti -Fe не требуют активации и имеют более высокую емкость при первичном гидрировании, чем $TiFe$. При этом повышенная водородная емкость ИМС Ti_2Fe является обратимой только при общем содержании титана в составе материалов менее 67…67,5 ат. %. В этих условиях общий уровень Ферми фаз материала превышает уровень Ферми

изолированного Ti_2Fe , что обеспечивает повышение концентрации электронного газа в решетке последнего, снижение термодинамической стабильности соответствующего гидрида и делает возможным его распад при дегидрировании.

8. Максимальное значение обратимой водородной емкости может быть достигнуто при 64 ат. % Ti и соответствует 2,16 масс. % H, что заметно выше теоретической емкости классического материала, состоящего только из $TiFe$ (1,85 масс. %). При этом в структуре материалов оптимального состава содержится примерно одинаковое количество фаз ИМС $TiFe$ и Ti_2Fe , близкое к 42 об. %.

В четвертой главе приведён пример изготовления анодных элементов Ni-MH аккумуляторов и дан сравнительный анализ свойств разработанного материала при различных вариантах его использования. Результаты проведенных исследований показали, что наличие в составе водородаккумулирующего материала системы Ti-Fe метастабильного ИМС Ti_2Fe приводит к устраниению необходимости проведения активации материала как при его использовании в качестве отрицательно элемента Ni-MH аккумуляторов, так и в условиях гидрирования в газовой фазе, что обеспечивает ряд технологических преимуществ по сравнению с традиционно используемыми материалами на основе $TiFe$ и $LaNi_5$. Также установлено, что высокие показатели обратимой водородной емкости, а также упрощение технологии получения материала наряду с доступностью и невысокой стоимостью необходимых для этого исходных компонентов свидетельствуют о перспективности применения разработанного сплава в установках водородной энергетики в качестве аккумулятора водорода.

В Заключении приведены выводы по работе, определены перспективы и даны рекомендации для дальнейшей разработки темы.

Положения, выносимые на защиту

На защиту соискатель выносит четыре положения, обоснованные в диссертационной работе в главах со второй по четвертую.

В первом положении рассматривается оптимальный с точки зрения

обратимых водородсорбционных свойств состав сплава для аккумулирования водорода на основе интерметаллических соединений системы Ti-Fe и способ получения сплава заданного оптимального состава.

Во втором положении обсуждаются результаты экспериментальных исследований и численного моделирования влияния химического состава порошковых смесей Ti и Fe на формирование структуры сплавов при взрывном нагружении и последующей термической обработке.

В третьем положении представлена зависимость водородной емкости при первичном и повторном гидрировании от содержания фаз в структуре сплавов на основе интерметаллических соединений системы Ti-Fe.

В четвёртом положении обсуждается установленная связь между способностью метастабильной фазы Ti_2Fe к обратимому гидрированию и уровнем Ферми фаз материала.

Научная новизна

К ряду результатов диссертационной работы Черникова Дмитрия Романовича, обладающих **несомненной научной новизной**, можно отнести следующие.

1. Показано, что при использовании режимов взрывного прессования, предложенных в диссертационной работе, обеспечивается равномерная деформация частиц порошка без струйных течений, смеси порошков Fe и Ti уплотняются до практически беспористого состояния и сохраняют фазовый состав, соответствующий составу исходной порошковой смеси.

2. Установлено, что при прессовании порошков Fe и Ti на режимах с локализованной пластической деформацией и струйными течениями материала частиц наблюдается образование метастабильного ИМС Ti_2Fe в виде сплошных прослоек между частицами железа и титана за счет локального повышения температуры на границе между частицами, их контактного оплавления с последующей ускоренной кристаллизацией при выравнивании температуры по

сечению частиц.

3. Показано, что прослойки Ti_2Fe сохраняют свою стабильность до температуры 500 °C и растворяются при более высокой температуре за счет диффузии между сохранившимися в структуре участками Ti и Fe с образованием четырехфазных диффузионных слоев Fe_2Ti – $TiFe$ – Ti_2Fe – β - $Ti(Fe)$.

4. Установлено, что в результате термической обработки в межкритическом интервале температур (при 1100 °C) прессовок, полученных на режимах с деформацией частиц без струйных течений и состоящих из Ti и Fe, за счет контактного плавления, роста в жидкой фазе $TiFe$ и Ti_2Fe , а также эвтектического превращения при охлаждении: $L \rightarrow TiFe + \beta-Ti(Fe)$ – исходные Ti и Fe полностью растворяются и формируются двух- ($TiFe + Ti_2Fe$) или трехфазные ($TiFe + Ti_2Fe + \beta-Ti(Fe)$) структуры. Показано, что полученные многофазные материалы не требуют активации и имеют более высокую емкость при первичном гидрировании, чем $TiFe$.

5. Установлено, что повышенная водородная емкость фазы ИМС Ti_2Fe является обратимой только при общем содержании титана в составе материалов менее 67...67,5 ат. %. Показано, что в этих условиях общий уровень Ферми фаз материала превышает уровень Ферми изолированного Ti_2Fe , что обеспечивает повышение концентрации электронного газа в решетке последнего, снижение термодинамической стабильности соответствующего гидрида и делает возможным его распад при дегидрировании.

Практическая значимость

К числу наиболее значимых с практической точки зрения результатов диссертационного исследования Черникова Дмитрия Романовича необходимо отнести предложенную научно-обоснованную технологию получения водород-аккумулирующих материалов на основе ИМС системы Ti-Fe путем взрывного нагружения смеси порошков титана и железа и реакционного спекания полученных прессовок; определение содержания компонентов в составе материалов,

оптимальных с точки зрения улучшения их водород-сорбционных свойств; а также разработку расчетных методик определения емкостных характеристик материалов, основанных на решении обратной задачи математического моделирования процесса гидрирования. Разработанная технология обеспечивает получение сплавов с повышенной водородной емкостью и улучшенной кинетикой поглощения водорода, которая может быть рекомендована для использования в энергетическом машиностроении.

Рекомендации по использованию результатов и выводов, приведённых в диссертационной работе

В диссертационной работе Черникова Дмитрия Романовича получен ряд новых результатов, которые могут представлять значительный интерес для специалистов и организаций, деятельность которых связана с производством материалов для обратимого хранения и транспортировки водорода. Такими организациями могут быть, например: ООО «Газохим Инжиниринг» (предприятие, входящее в ГК «Ростех», г. Уфа), ООО «Н₂ Чистая Энергетика» (г. Москва), ООО «Инэнерджи» (г. Москва), ГК «Росатом» (г. Москва), ООО «STEP транспортные решения» (г. Москва) и др.

Соответствие диссертационной работы критериям, предъявляемым к диссертациям

Диссертационная работа Черникова Дмитрия Романовича является **законченной** научно-квалификационной работой, в которой содержится решение актуальной научной задачи, направленной на создание научно-обоснованных технических и технологических решений в области получения водород-аккумулирующих материалов на основе интерметаллических соединений системы Ti-Fe, базирующихся на выявленных общих закономерностях формирования их структуры при ударно-волновом нагружении и последующей термической обработке, и обеспечивающих возможность создания материалов с повышенной

обратимой водородной емкостью, не требующих активации.

Относительно положений, выносимых на защиту, диссертация Черникова Дмитрия Романовича соответствует следующим направлениям исследований, представленным в паспорте научной специальности 2.6.17. Материаловедение (технические науки): 1. Разработка новых металлических, неметаллических и композиционных материалов, в том числе капиллярно-пористых, с заданным комплексом свойств путем установления фундаментальных закономерностей влияния дисперсности, состава, структуры, технологии, а также эксплуатационных и иных факторов на функциональные свойства материалов; 2. Установление закономерностей физико-химических и физико-механических процессов, происходящих в гетерогенных и композиционных структурах.

Предложенные автором диссертации решения достаточно аргументированы и оценены по сравнению с другими известными решениями. По своему оформлению и содержанию диссертационная работа соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, обладает внутренним единством, изложена логично и корректно, содержит отмеченные ранее новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, и свидетельствует о значительном вкладе автора диссертации в развитие таких отраслей науки, как химия, наука о материалах, металлургия и физическое материаловедение. Более того, в диссертационной работе Черникова Дмитрия Романовича изложены новые научно обоснованные технологические решения и разработки, внедрение которых может внести значительный вклад в повышение конкурентоспособности отечественных производителей водород-аккумулирующих материалов.

Достоверность результатов диссертационной работы

Достоверность и обоснованность полученных результатов, научных положений, выносимых Черниковым Дмитрием Романовичем на защиту, а также выводов, сформулированных в диссертационной работе, не вызывает никаких сомнений и обеспечивается большим объемом экспериментальных данных,

полученных с использованием различных взаимодополняющих экспериментальных методов на современном сертифицированном оборудовании, их корректной обработкой и интерпретацией, согласованностью с основными положениями и представлениями современной химии, науки о материалах, металлургии и физического материаловедения, а также сопоставимостью с опубликованными данными других авторов по соответствующей тематике.

Результаты диссертационной работы хорошо апробированы: по теме диссертации **опубликовано** 19 научных статей в журналах, рекомендованных перечнем ВАК, 2 из которых индексируются в международных базах научного цитирования Scopus. Результаты работы обсуждены на 15 российских и международных научных конференциях. По результатам проведённых исследований автором получены 2 патента РФ.

Соответствие автореферата содержанию диссертационной работы

Автореферат диссертационной работы Черникова Дмитрия Романовича полностью соответствует установленным требованиям и в полной мере отражает структуру и все ключевые результаты, представленные в диссертационной работе.

Замечания по работе

По диссертационной работе имеется несколько **замечаний**.

1. Из текста диссертационной работы и автореферата не очень понятно, можно ли получить представленные в работе результаты по фазовому составу (с получением ИМС Ti_2Fe), структуре и водородс滂ционным свойствам, не используя взрывное прессование порошков, а только лишь консолидацию с использованием традиционного прессования и реакционное спекание при нагреве до температур межкритических интервалов?

2. В тексте диссертационной работы и автореферата остаются не совсем раскрытыми вопросы, касающиеся анализа фазового состава сплавов, полученных взрывным прессованием с последующим реакционным спеканием, например:

- в Главе 2 (материалы и методы исследования) не достаёт деталей по проведению дифракционных рентгеновских исследований: вид источника и длина волны используемого рентгеновского излучения, интервал углов 2θ , время экспозиции, шаг;

- для адекватной оценки влияния реакционного спекания на изменение фазового состава (например, на фактическое увеличение доли ИМС Ti_2Fe и появление неметаллических включений, типа Ti_2O , TiN и т.п.) нужна более детальная оценка фазового состава образцов, полученных взрывным прессованием до и после проведения реакционной спекания;

- какая погрешность в определении количественного фазового состава? Например, в таблице 3.6 (страница 105 диссертационной работы) насколько корректно использовать десятые доли процента?

- Не совсем понятно последнее предложение вывода 8: «При этом в структуре материалов оптимального состава содержится примерно одинаковое количество интерметаллидных фаз $TiFe$ и Ti_2Fe , близкое к 42 об. %». Что значит 42 об. %? Это относится к суммарному количеству фаз $TiFe$ и Ti_2Fe или к каждой в отдельности? Если к каждой в отдельности, то какой фазовый состав оставшихся 16 об. %.

3. На стр. 104 диссертационной работы (пункт 3.6, второй абзац сверху) отмечено, что «...применение охлаждения с продувкой аргона после спекания материалов с содержанием титана 71 %, обеспечивает возможность образования структуры, полностью состоящей из ИМС Ti_2Fe », почему такого образца (полностью состоящего из ИМС Ti_2Fe) нет в таблице 3.6 (стр. 105 диссертационной работы)? Т.е., почему он не изучался при проведении последующих исследований? Почему не представлена его рентгеновская дифракторограмма?

4. В диссертационной работе и в автореферате представлено множество микрофотографий, полученных с помощью сканирующего электронного микроскопа, оснащённого приставкой энергодисперсионного рентгеновского

спектроскопического анализа. По результатам проведения СЭМ анализа остаются некоторые вопросы:

- в Главе 2 (материалы и методы исследования) не достаёт деталей по проведению этих исследований: используемое ускоряющее напряжение, тип используемого катода и т.п.;
- практически на всех представленных в диссертации микрофотографиях отмечены те или иные области поверхности микрошлифа с определением не только элементного химического состава, но и фазового состава исследуемых образцов (например, рисунки 3.11-3.13, 3.15, 3.18-3.22, 3.24, 3.25, 3.28, 4.3 диссертационной работы и рисунки 2, 4, 7, 9 автореферата). Остаётся не совсем понятным, как были определены конкретные фазовые составы тех интерметаллических соединений (особенно, с близкими по химическому составу концентрациями элементов), которые были выявлены в результате этих исследований? Были ли проведены дифракционные рентгеновские исследования для всех представленных образцов с целью подтверждения достоверности данных о фазовом составе? Если да, то почему в диссертации отсутствуют рентгеновские дифрактограммы исследуемых образцов?

5. В тексте диссертационной работы отмечено, что максимальная обратимая ёмкость по водороду, полученная в ходе проведённых исследований оптимальных по составу образцов исследуемых сплавов, соответствует 2.16 вес. % (рис. 3.40 диссертационной работы (стр. 115) и рис. 13 автореферата (стр. 16) – данные получены электрохимическим методом), в этой связи, остаётся не ясным – будут ли обратимые водородсорбционные свойства, полученные при электрохимическом исследовании представленных в работе сплавов, подтверждены при исследовании этих же сплавов волюметрическим методом? И при каких условиях испытаний будут получены волюметрическим методом обратимые водородсорбционные характеристики (давление гидрирования и дегидрирования, температура, величина гистерезиса и т.п.)?

6. В тексте диссертации встречаются некоторые неточности и опечатки оформительского характера, например:

- подписи к рис. 1.15 (стр. 45) выполнены не полностью (нет обозначений позиций 4 и 5);
- отсутствует расшифровка некоторых аббревиатур, например, к рис. 2.2 (стр. 55 диссертационной работы) не понятно, что такое «ДШ» и «ВВ»;
- рис. 2.1 (стр. 50 диссертационной работы). Почему на рисунках (б) порошок железа ПЖВ1 выглядит по-разному?
 - Не совсем понятно, почему температура 500 °C обозначена как температурное равновесие для ИМС Ti_2Fe ?

7. В тексте автореферата и диссертационной работы также имеются **опечатки, стилистические погрешности и неточности**, например:

- ряд рисунков в диссертационной работе (автореферат рис. 1, 3) содержат надписи на английском языке;
- обозначение градуса Цельсия то приводятся слитно с числами, то через пробел;
- отсутствие в автореферате даже краткого описания использованных исследовательских методик и оборудования не позволяет оценить в полной мере их достоверность, в частности, погрешности экспериментальных данных;
- не совсем понятно, из каких соображений присвоены числовые коэффициенты для формул 1 – 3 автореферата (формулы 3.1, 3.2 и 3.5 диссертации – стр. 69);
- данные раздела «Публикации» автореферата (стр. 6) не полностью соответствуют данным о публикациях, представленных на страницах 19 – 20 автореферата.

В конечном итоге отмеченные замечания носят, в основном, уточняющий или рекомендательный характер, не ставят под сомнение основные выводы и не влияют на общую **положительную** оценку диссертационной работы. В целом диссертационная работа, представленная Черниковым Дмитрием Романовичем, заслуживает

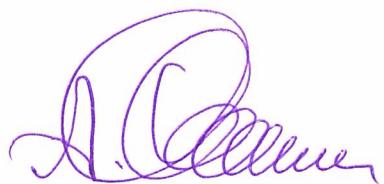
очень высокой оценки. Как уже отмечалось, результаты работы имеют значительную научную и большую практическую ценность. По тематике, актуальности, научной новизне, практической значимости и достоверности полученных результатов и сформулированных выводов диссертация **соответствует** пунктам 1, 2 паспорта специальности 2.6.17. Материаловедение (технические науки).

Заключение по диссертационной работе

Диссертационная работа Черникова Дмитрия Романовича тему «Получение взрывным прессованием порошковых материалов системы Ti-Fe с повышенной водородной емкостью» представляет собой законченную научную работу. По тематике, актуальности, научной новизне, практической значимости и достоверности сформулированных выводов диссертация **соответствует** п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842 с изменениями, утвержденными Постановлениями Правительства РФ, и пунктам 1, 2 паспорта специальности 2.6.17. Материаловедение (технические науки), а её автор, Черников Дмитрий Романович, **безусловно заслуживает** присвоения искомой ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. Материаловедение.

Диссертация заслушана и обсуждена на заседании кафедры физического материаловедения Института новых материалов и нанотехнологий Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», протокол от 25 ноября 2025 года № 220.25.1-06/пр.

Заведующий кафедрой физического
материаловедения НИТУ МИСИС,
с.н.с., д.ф.-м.н.
Тел.: +7(495)955-01-22
Эл. почта:savchenko@misis.ru
1.3.8 – физика конденсированного состояния



Александр Григорьевич Савченко

Ученый секретарь кафедры
физического материаловедения
доцент, к.ф.-м.н.

01.04.07 (1.3.8) – физика конденсированного состояния

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



Елена Сергеевна Савченко

Отзыв подготовили:

Профессор кафедры физического
материаловедения, д.т.н. (2.6.17.
Материаловедение)



Владислав Юрьевич Задорожный

Доцент кафедры физического
материаловедения,
доцент по кафедре, к.ф.-м.н.
(1.3.8. – Физика конденсированного
состояния)



Александр Сергеевич Перминов



Подпись
заверяю
Зам. начальника
отдела кадров

Бабушкин А.Г., Бабушкин Р.Г., Задорожный В.И., Перминов А.И.

Кузнецова А.Е.
« 15 » 11 2025 г.

« 16 » листов	Bx.№ 08.СС-65-238
« 09 »	12 2025 г.
ВолГГТУ	

Сотрудник однакомлен
Черников Д.Р. 09.12.2025.