

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.437.01,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
АВТОНОМНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»,
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ
СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 02.04.2025 г. № 56

О присуждении Смирнову Константину Игоревичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Твердофазное селективное восстановление железа в ильменитовом концентрате с целью получения мягкого железа и концентрата диоксида титана» по специальности 2.6.2 "Металлургия черных, цветных и редких металлов" принята к защите 18.12.2024 г. (протокол заседания № 56П) диссертационным советом 24.2.437.01, созданным на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» (ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)») Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 454080, г. Челябинск, пр. Ленина, д. 76, утвержденным приказом № 105/НК от 11.04.2012 г.

Соискатель Смирнов Константин Игоревич, 16 ноября 1992 года рождения, в 2017 г. окончил магистратуру федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский

государственный университет (национальный исследовательский университет)» по направлению 22.04.02 «Металлургия». В 2022 г. окончил очную аспирантуру федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» по направлению 22.06.01 «Технологии материалов».

В настоящее время Смирнов К. И. работает научным сотрудником в НИЛ «Водородные технологии в металлургии», преподавателем кафедры пирометаллургических и литейных технологий ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации на кафедре пирометаллургических и литейных технологий.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Рощин Василий Ефимович, главный научный сотрудник НИЛ «Водородные технологии в металлургии» ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)».

Официальные оппоненты:

Дмитриев Андрей Николаевич – доктор технических наук, главный научный сотрудник лаборатории пирометаллургии восстановительных процессов ФГБУН Института металлургии имени академика Н.А. Ватолина Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург.

Потапова Марина Васильевна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры металлургии и химических технологий ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация: федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва, в своем положительном отзыве, подписанном заведующим кафедрой металлургии стали, новых производственных технологий и защиты металлов, доктором технических наук, профессором Дубом Алексеем Владимировичем, утвержденном проректором по науке и инновациям НИТУ МИСИС Филоновым Михаилом Рудольфовичем указала, что диссертационная работа Смирнова Константина Игоревича является завершенной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, обладающей внутренним единством, в которой на основании проведенных автором исследований изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения, внедрение которых внесет значительный вклад в развитие экономики страны. Научные и прикладные результаты диссертации могут быть рекомендованы для внедрения на металлургических предприятиях. Также в отзыве отмечено, что диссертационная работа «Твердофазное селективное восстановление железа в ильменитовом концентрате с целью получения мягкого железа и концентрата диоксида титана» соответствует критериям ВАК РФ, определенным п.п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней» № 842 от 24.09.2013 г. к работам на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.6.2 – Металлургия черных, цветных и редких металлов.

Соискатель имеет 12 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 12 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 6 работ. В диссертацию включены результаты, полученные автором лично. Публикации полностью соответствуют теме диссертационного исследования и раскрывают ее основные положения. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации. Результаты работы

докладывались и обсуждались на 6 международных и российских научно-технических конференциях.

Наиболее значимые научные работы соискателя по теме диссертации:

1. Смирнов К.И., Гамов П.А., Рошин В.Е. Распространение твердофазного восстановления железа в слое ильменитового концентрата // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2020. – Т. 63, № 2. – С. 116-121. DOI 10.17073/0368-0797-2020-2-116–121. (авторская доля 4 с. из 6 с.). [ВАК, Scopus Q3].

2. Smirnov K.I., Gamov P.A. Pyro-metallurgical processing of ilmenite concentrate with production of iron and titanium oxides // Solid State Phenomena. – 2021. – Vol. 316. – P. 385–389. (авторская доля 3 с. из 5 с.). [Scopus Q4].

3. Smirnov K., Gamov P.A. Specific features of metal reduction from ilmenite concentrate // AIP Conference Proceedings. AIP Publishing LLC. – 2022. – Vol. 2456. – №. 12022. – P. 020052. (авторская доля 3 с. из 5 с.). [Scopus Q4].

4. Смирнов К.И. Термодинамическое моделирование восстановления металлов водородом из ильменитового концентрата и экспериментальная проверка результатов // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. – 2024. – Т. 80, № 1. – С. 29–37. DOI 10.32339/0135-5910-2024-01-29-37. [K2, ВАК].

5. Смирнов К.И., Гамов П.А., Рушиц С.В. Затраты энергии при селективном восстановлении железа из ильменитового концентрата // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. – 2024. – Т. 80, № 7. – С. 29–37. (авторская доля 5 с. из 9 с.). [K2, ВАК].

6. Смирнов К.И., Гамов П.А., Самолин В.С., Рошин В.Е. Селективное восстановление железа из ильменитового концентрата // Черные металлы. – 2024. – № 6. – С. 10–16. (авторская доля 3 с. из 8 с.). [K1, ВАК, Scopus Q3].

На диссертацию и автореферат поступило 9 отзывов. Все отзывы

положительные, в некоторых имеются замечания:

I. От ведущей организации, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва.

Замечания по диссертации и автореферату:

1. Термодинамический расчет показывает, что степень восстановления кремния около 80%. В реальном металле кремний не обнаружен. Чем это объясняется?

2. В работе неоднократно приводится утверждение, что аносовит это нежелательная фаза. В чем состоит отрицательное влияние этой фазы?

3. Как будет обеспечиваться шлакоустойчивость плазменной печи для разделительной плавки?

II. От официального оппонента Дмитриева Андрея Николаевича, доктора технических наук, главного научного сотрудника лаборатории пирометаллургии восстановительных процессов ФГБУН Института металлургии имени академика Н.А. Ватолина Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург.

Замечания по диссертации и автореферату:

1. На с. 19 диссертации указано «Стоит отметить, что по технологической схеме «доменная печь – кислородный конвертер» извлекаются только железо и ванадий, а титан теряется со шлаком». Мнение о безвозвратной потере все большего количества титана с увеличением количества диоксида титана в доменном шлаке не вполне верно. Точнее сказать, что пока нет технологий извлечения диоксида титана из доменных шлаков. Известны разработки по использованию азотнокислой и фтораммониевой технологий для извлечения диоксида титана из доменных шлаков.

2. На рис. 4.5 диссертации и рис. 11 автореферата приведена рациональная схема переработки ильменитовых концентратов. В предыдущих разделах (табл. 2.1), представлен состав ильменитового концентрата, который использовали при проведении термодинамических расчетов. По-видимому, этот концентрат использовался и для разделительной плавки. Другой состав не приведен.

Представлены составы металла и шлака после разделительных плавов при использовании водорода и углерода (табл. 4.1-4.2 диссертации и табл. 4-5 автореферата). Но не представлена прогнозная оценка качества мягкого железа, пигментного диоксида титана и титановой губки.

3. Не представлены даже оценочные экономические расчеты переработки ильменитового концентрата с получением мягкого железа и концентрата диоксида титана.

III. От официального **оппонента Потаповой Марины Васильевны**, кандидата технических наук, доцента, доцента кафедры металлургии и химических технологий ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. Замечания по диссертации и автореферату:

1. В работе не приводятся количественные характеристики рекомендуемой технологической схемы: расходы материалов, выходы продуктов твердофазного восстановления и разделительной плавки, позволяющие хотя бы ориентировочно оценить экономическую эффективность предлагаемых решений.

2. Непонятно из руд какого месторождения получен исследуемый ильменитовый концентрат? Вызывает вопросы полное отсутствие в химическом составе концентрата таких компонентов как CaO , MnO , MgO , P_2O_5 при почти 100% балансе (99,97%) элементов в таблице в диссертации и автореферате.

3. Представляется не очень удачным приведение химического состава шлака в виде элементов, а не в виде оксидов, это несколько затрудняет восприятие и анализ экспериментальных данных.

4. В работе не приводится математическое описание зависимостей, полученных при обработке экспериментальных данных, например, зависимости степени металлизации продукта от температуры и времени выдержки при использовании различных восстановителей. Такие зависимости могли бы быть очень интересны и полезны для проведения исследований по твердофазному восстановлению

комплексных руд.

5. По оформлению работы имеются незначительные замечания: точки в конце названий рисунков, несогласованные окончания, опечатки.

IV. От научного редактора ИД «Панорама», доктора технических наук **Шкирмонтова Александра Прокопьевича**. Замечания: на сколько сократятся расходы (в том числе расчетные) на переработку ильменитового концентрата по предлагаемой схеме селективного твердофазного восстановления в многоподовой печи, а также последующим разделением продуктов (мягкого безуглеродистого железа и диоксида титана) в плазменной печи с учетом изменения степени извлечения по переделу?

V. От директора Института новых материалов и технологий ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина», г.Екатеринбург, доктора технических наук, профессора **Шешукова Олега Юрьевича**. Замечания:

1. На стр. 10 автореферата автор указывает, что «В качестве восстановителя использовали углерод или водород в количестве необходимом по стехиометрии на восстановление железа, или с избытком, который составлял для углерода 10, 20, 30 и 100 масс. %, а для водорода в 10, 100 и 1000 раз превышающий стехиометрическое количество». Чем обоснованные указанные превышения?

2. Автор указывает, что предложена технологическая схема и набор технологического оборудования для комплексной переработки ильменитового концентрата с получением востребованных продуктов. Отсюда два вопроса: где и в каких условиях прошла опробованная указанная технологическая схема? Возможно ли использовать указанную схему, например, при переработке техногенного титансодержащего сырья?

VI. От профессора кафедры электроснабжения промышленных предприятий и электротехнологий ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет

«МЭИ», г. Москва, доктора технических наук, **Нехамина Сергея Марковича.**

Замечания:

1. В постановке задач исследования есть противоречие. В п. 1 ставится задача определить условия для селективного восстановления железа из ильменита без восстановления титана до низших оксидов, а в п. 5 – разработать основы технологии с целью получения концентрата оксидов титана, т.е. включая низшие оксиды титана.

2. Содержание TiO_2 90,5% в полученном в лабораторных условиях шлаке не на много отличается от концентрации в промышленных печах титанового шлака. Чем оправдано предлагаемое изменение технологии?

3. Как предполагается использовать V_2O_5 , который остается в шлаке после разделительной плавки продуктов восстановления водородом. Известен опыт получения феррованадия из доменного шлака в дуговых печах постоянного тока на Чусовском заводе ферросплавов. Как выглядела бы аналогичная технология без добавления стальных отходов?

4. Указанное автором теоретическое снижение энергозатрат при восстановлении водородом по сравнению с карботермическим восстановлением железа из ильменита не учитывает дополнительные потери из-за двухстадийности процесса, затрат на получение и рециркуляцию водорода и т.д.

5. Какой из вариантов по мнению автора предпочтительней: восстановление железа из ильменита чистым водородом или смесью водорода с аргоном или другим газом, в какой пропорции?

VII. От профессора кафедры металлургии и металловедения им. С.П. Угаровой, заместителя директора по науке и инновациям Старооскольского технологического института им. А.А. Угарова (филиал ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»), г. Старый Оскол, доктора технических наук, доцента **Кожухова Алексея Александровича.**

Замечания:

1. На стр. 10 автореферата автор приводит видимо усредненный состав ильменитового концентрата, однако автор не приводит какого именно состава использовался ильменитовый концентрат в экспериментальных исследованиях. Можно предположить, что брикет массой 3 грамма имеет существенное отличие от усреднённого состава. Данный факт следует пояснения.

2. Автор эффективность селективного восстановления подтверждает данными рентгенографических исследований и приводит данные о химическом составе в отдельных зернах лабораторного образца. Следует отметить, что эффективность селективного восстановления более корректно было бы показать усреднённым химическим составом исследуемого брикета до и после процессов восстановления. Отсюда возникает вопрос насколько эффективно протекал процесс селективного восстановления.

3. Из автореферата следует, что экспериментальные исследования проводили в брикете массой 3 грамма, более целесообразно было бы провести серию экспериментов с получением усреднённых значений по эффективности селективного восстановления.

VIII. От директора Автозаводской высшей школы управления и технологий ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», г. Нижний Новгород, доктора технических наук, профессора **Сивкова Владимира Лаврентьевича**. Отзыв без замечаний.

IX. От научного руководителя АО «Уральский институт металлов», г. Екатеринбург, академика РАН, доктора технических наук, профессора, заслуженного металлурга РФ **Смирнова Леонида Андреевича**. Отзыв без замечаний.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается соответствием темы диссертационной работы соискателя профилю их научной деятельности и области научных компетенций. Оппоненты и ведущая организация

широко известны своими достижениями в данной области науки, имеют публикации по исследованиям, близким к проблеме работы соискателя. Благодаря этому они способны определить научную новизну и практическую ценность диссертации соискателя.

В качестве примера публикаций, близких к тематике работы соискателя можно привести следующие работы:

1. Жидкофазное восстановление железных руд углеродводородной смесью и водородом / К. В. Строгонов, А. Л. Петелин, А. Ю. Терехова [и др.] // Промышленная энергетика. – 2023. – № 8. – С. 43-49. <http://dx.doi.org/10.34831/EP.2023.43.83.006>.

2. Ахметов, А. С. Применение водорода в производстве ферросплавов / А. С. Ахметов, Ж. В. Еремеева, Е. Н. Махамбетов // Metallurg. – 2023. – № 11. – С. 27-32. http://doi.org/10.52351/00260827_2023_11_27

3. Исследование металлизации титаномагнетитовых обожженных окатышей / А.Н. Дмитриев, А.Е. Пелевин, Г.Ю. Витькина [и др.] // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. – 2024. – Т. 80, № 4. – С. 20-35. <http://doi.org/10.32339/0135-5910-2024-4-20-35>

4. Математическая модель металлизации титаномагнетитовых руд Качканарского месторождения в шахтной печи Мидрекс / А.Н. Дмитриев, М.О. Золотых, Г.Ю. Витькина [и др.] // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. – 2021. – Т. 77, № 10. – С. 1039-1045. <http://doi.org/10.32339/0135-5910-2021-10-1039-1045>

5. Определение расхода водорода для твердофазного селективного восстановления комплексного железорудного сырья в лабораторных исследованиях / В.А. Бигеев, С.К. Сибагатуллин, А.С. Харченко, М.В. Потапова // Черные металлы. – 2021. – № 12. – С. 25-30. <http://doi.org/10.17580/chm.2021.12.05>

6. Изучение процесса комбинированного водородно-углеродного восстановления железоникелевых руд / В.А. Бигеев, А.С. Харченко, М.В. Потапова

[и др.] // Теория и технология металлургического производства. – 2022. – № 3(42). – С. 4-10.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований: научно обоснована и экспериментально подтверждена эффективность твердофазного селективного восстановления железа в ильменитовом концентрате углеродом и водородом; показано, что использование водорода в качестве восстановителя позволяет получать востребованные продукты – мягкое железо и концентрат диоксида титана с высокой скоростью восстановления при относительно низких значениях температуры (900 °С); предложена технологическая схема и набор технологического оборудования, включающие многоподовую печь для селективного восстановления железа водородом и плазменную печь для разделения продуктов восстановления; получен патент RU № 2826667 С1 на изобретение «Получение оксидов активных металлов и концентратов из комплексных и трудно перерабатываемых железосодержащих руд селективным восстановлением элементов».

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

– методом термодинамического моделирования выявлены условия и последовательность изменений состава продуктов восстановления и их количества в зависимости от количества восстановителя. Показано, что селективное восстановление железа углеродом возможно при температуре не выше 750 °С, а равновесная степень металлизации железа при этом составляет всего 6,74 % и протекание этой реакции маловероятно вследствие кинетических затруднений. Установлено, что при селективном восстановлении железа из ильменитового концентрата водородом температурой начала и степенью металлизации можно управлять, меняя соотношение H_2 и H_2O в газовой фазе. Установлено, что увеличение количества H_2 в системе способствует снижению температуры начала восстановления и увеличению степени металлизации железа. Показано, что

селективное восстановление железа водородом позволяет получать высокие степени металлизации при существенно более низких значениях температуры по сравнению с карботермическим восстановлением;

– экспериментально выявлена последовательность преобразований при твердофазном селективном восстановлении железа углеродом или водородом, определены начальный и конечный фазовые составы продуктов твердофазного восстановления. Показано, что селективное восстановление железа из ильменита протекает без образования промежуточных фаз с получением целевых продуктов – железа и диоксида титана. Выявлено, что эффективное восстановление железа из ильменита углеродом возможно при значениях температуры 1200-1300°C, но сопровождается восстановлением титана до низших оксидов, в то время как восстановление железа водородом происходит при более низкой температуре (900°C) и с получением целевых продуктов – мягкого железа и диоксида титана. Показано, что суммарные затраты энергии на восстановление железа из ильменита водородом при температуре 900 °C составляют 268,7 кДж на 1 моль ильменита, что в 2,25 раз меньше затрат на протекание карботермического восстановления при температуре 1300 °C и в 1,58 раз меньше по сравнению с карботермическим процессом восстановления при температуре 900°C;

– изучено влияние восстановительного потенциала газовой фазы на характер распределения частиц образующейся металлической фазы в оксидной матрице. Подтверждено, что восстановление металлов осуществляется по электрохимическому механизму посредством передачи электронов от восстановителя к восстанавливаемым катионам. Выявлено, что место выделения металлической фазы в исходной оксидной фазе определяется разницей скоростей движения заряженных анионных вакансий и встречного движения ионов кислорода и катионов железа в кристаллической решетке оксида, которая зависит от количества восстановительных дефектов в анионной подрешетке оксида;

– *определены условия разделения продуктов металлизации плавлением; показано, что разделение продуктов эффективно в температурном интервале 1650-1700°C. Полученные результаты позволили рекомендовать технологическую схему получения из ильменитовых концентратов целевых продуктов – мягкого железа и концентрата диоксида титана.*

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

– экспериментально *подтверждена* возможность селективного восстановления железа из ильменитового концентрата водородом с высокой скоростью при температуре около 900°C и получением востребованных продуктов – мягкого железа и концентрата диоксида титана;

– *показана* эффективность водородного восстановления по сравнению с восстановлением углеродом за счет восстановления только железа без восстановления титана до низших оксидов. Суммарные затраты энергии на восстановление железа из ильменита водородом при температуре 900 °C в 2,25 раз меньше затрат на протекание восстановления железа углеродом при температуре 1300 °C и в 1,58 раз меньше, чем при температуре 900 °C;

– *определены условия жидкофазного разделения продукта металлизации ильменитового концентрата водородом при температуре 1650...1700 °C с получением мягкого железа, пригодного к производству качественной металлопродукции, и концентрата диоксида титана, пригодного для дальнейшей переработки на пигментный диоксид титана;*

– *предложена технологическая схема и набор технологического оборудования для комплексной ресурсосберегающей пирометаллургической технологии переработки ильменитового концентрата по двухстадийной схеме путем предварительного восстановления железа водородом при температуре 900 °C в многоподовой печи и разделения продуктов восстановления в плазменной печи;*

– *получен патент RU № 2826667 C1 на изобретение «Получение оксидов активных металлов и концентратов из комплексных и трудно перерабатываемых железосодержащих руд селективным восстановлением элементов».*

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

достоверность термодинамических и теоретических расчетов гарантирована использованием надежных справочных данных и современного программного обеспечения, соответствием сделанных на основе этих расчетов выводов и рекомендаций экспериментальным результатам. Достоверность экспериментальных результатов обусловлена применением современного оборудования при проведении высокотемпературных экспериментов; применением широко распространенных, разнообразных и апробированных методов исследования; высоким качеством и точностью исследовательского оборудования, применяемого при анализе экспериментальных результатов; соответствием полученных результатов данным других исследований.

Личный вклад соискателя состоит в анализе литературного материала, постановке цели и задач; планировании, проведении термодинамического моделирования и экспериментальных исследований по твердофазному селективному восстановлению железа из ильменитового концентрата; исследовании элементного и фазового составов образующихся в результате восстановления металлических и неметаллических фаз; выявлении особенностей восстановления элементов из ильменитового концентрата при восстановлении углеродом или водородом; обобщении результатов экспериментальных исследований и их обработке; обсуждении полученных результатов совместно с научным руководителем; непосредственном участии в подготовке публикаций и апробации результатов на конференциях и семинарах.

Диссертация охватывает основные вопросы поставленной научной задачи и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается 18 наличием

последовательного плана исследования, основной идейной линии, и взаимосвязи выводов с целью работы. По своему содержанию диссертация отвечает паспорту специальности 2.6.2 Metallургия черных, цветных и редких металлов:

4. Термодинамика и кинетика металлургических процессов;

9. Энергосбережение, утилизация отходов металлургического производства, снижение выбросов, в том числе парниковых газов;

16. Твердофазные процессы в получении черных, цветных и редких металлов.

В ходе защиты были высказаны следующие критические замечания и заданы вопросы: относительно перспективы или уже имеющейся практической реализации предлагаемой технологии, о необходимости в разработке оборудования для предложенной технологической схемы; о возможности подачи водорода в плазменную печь.

Соискатель Смирнов К.И. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию, что перспективой практической реализации является использование руд Уральского региона, для которых справедливы наши исследования. Также соискатель дал пояснения, что для практической реализации данной технологии потребуется модернизация существующего оборудования, в частности восстановительный агрегат - многоподовая печь, которую целесообразно сделать с электрическим подогревом. Плазменная печь по предлагаемой технологии используется для разделения продуктов металлизации на металлическую и оксидную фазы, где целесообразно использовать инертный газ аргон. Использование в качестве плазмообразующего газа водорода будет способствовать протеканию реакции восстановления титана до низших оксидов, что сопровождается эндотермическим эффектом и потребует внесение дополнительного тепла.

На заседании 02 апреля 2025 г. диссертационный совет принял решение: диссертация Смирнова К. И. представляет собой завершенную научно-квалификационную работу, в которой содержится за научно обоснованные

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 7 докторов наук по научной специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 23 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за – 19, против – 0.

диссертационного совета,
доктор технических наук, профессор

диссертационного совета,
кандидат технических наук, доцент

Шабурова Наталия Александровна

Дата оформления: 02.04.2025 г.