

**Заключение диссертационного совета МГУ.014.8**  
**по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук**  
**Решение диссертационного совета от «03» марта 2023 г. № 134**

О присуждении Федораеву Ивану Игоревичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата химических наук.

Диссертация «Легируемые рением, марганцем и хромом кобальт-ниобиевые и кобальт-танталовые сплавы: получение, состав и свойства» по специальностям 1.4.1 – «Неорганическая химия» и 1.4.15 – «Химия твердого тела» принята к защите диссертационным советом «09» декабря 2022 г., протокол № 130.

Соискатель Федораев Иван Игоревич 1989 года рождения в 2012 году окончил специалитет естественно-географического факультета федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Пензенский государственный педагогический университет имени В.Г.Белинского» по специальности «Химия», а в 2018 году окончил аспирантуру химического факультета федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова» по направлению «Химические науки». С ноября 2021 г. соискатель работал инженером первой категории, а с марта 2022 по настоящее время работает ведущим электроником на кафедре общей химии химического факультета федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова».

Диссертация выполнена в лаборатории химии неорганических композиционных материалов на кафедре общей химии химического факультета федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова».

Научный руководитель — кандидат химических наук, доцент, **Керимов Эльшат Юсифович**, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», доцент кафедры общей химии химического факультета

Официальные оппоненты:

**Морозов Игорь Викторович** доктор химических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», профессор кафедры неорганической химии химического факультета;

**Успенская Ирина Александровна** – доктор химических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», профессор кафедры физической химии химического факультета;

**Кецко Валерий Александрович** – доктор химических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт общей и неорганической химии имени Н.С. Курнакова Российской академии наук (ИОНХ РАН), главный научный сотрудник ЦКП

дали положительные отзывы на диссертацию.

Соискатель имеет 13 опубликованных работ, из них по теме диссертации - 13, в том числе 4 статьи, опубликованные в рецензируемых научных журналах, включенных в перечень Минобрнауки России, а также индексируемых в базах данных РИНЦ, Web of Science, Scopus и рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальностям 1.4.1 – «Неорганическая химия» и 1.4.15 – «Химия твердого тела».

1. Федораев И.И., Гусалова М.И., Керимов Э.Ю., Чернышев В.В., Слюсаренко Е.М. Кристаллическая структура тройных фаз Лавеса в системах Co–Mn–Nb, Co–Mn–Ta, Co–Re–Nb и Co–Re–Ta // Известия Академии наук. Серия химическая, 2017, № 11, с. 2009-2014. **IF** 2,086 (РИНЦ), доля участия 50 %.

2. Fedorayev I.I., Kerimov E.Yu., Sulyanov S.N., Leonov A.V., Slyusarenko E.M. Isothermal sections of the Co–Re–Ta phase diagram at 1200 and 1375 K // Calphad: Computer Coupling of Phase Diagrams and Thermochemistry, 2019, V. 65, p. 244–259. **IF** 2,004 (Web of Science), доля участия 50 %.

3. Fedorayev I.I., Kerimov E.Yu., Sulyanov S.N., Leonov A.V., Slyusarenko E.M. Isothermal sections of the Co–Nb–Re phase diagram at 1200 and 1375K // Journal of Alloys and Compounds, 2020, V. 814, p. 1–14. **IF** 5,905 (Scopus), доля участия 50 %.

4. Fedorayev I.I., Kerimov E.Yu., Leonov A.V., Philippova S.E., Slyusarenko E.M. Isothermal sections of the Co–Mn–Nb and Co–Mn–Ta phase diagrams at 1200 K

// Calphad: Computer Coupling of Phase Diagrams and Thermochemistry, 2022, V. 76, p. 102363. IF 2,086 (Web of Science), доля участия 50 %.

На автореферат поступило 8 дополнительных отзывов, все положительные.

Выбор официальных оппонентов обосновывался их высокой квалификацией и опытом научной работы в областях неорганической химии и химии твёрдого тела, подтверждаемых наличием публикаций в данных областях. Морозов Игорь Викторович является специалистом в области направленного неорганического синтеза и разработки материалов с заданными свойствами. Успенская Ирина Александровна является специалистом в области химической термодинамики, обладает высокой компетенцией в оценке свойств интерметаллических соединений, расчетах фазовых равновесий и строении фазовых диаграмм. Кецко Валерий Александрович является специалистом в области химии твердого тела. Значительная часть публикаций официальных оппонентов близка по своей направленности к теме рассмотренной диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что представленная диссертация на соискание ученой степени кандидата химических наук является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований предложены составы кобальт-ниобиевых и кобальт-танталовых сплавов, которые могут служить основой для разработки новых жаропрочных и жаростойких материалов; при этом установлено, что добавки рения существенно повышают твердость данных сплавов благодаря особой роли рения в механизме дисперсионного твердения, а совместное легирование хромом и рением повышает устойчивость к высокотемпературному окислению на воздухе.

Помимо этого, были получены следующие частные результаты:

1. Построены изотермические сечения диаграмм фазовых равновесий Co-Nb-Re и Co-Ta-Re при 1375 К, а также Co-Nb-Re, Co-Ta-Re, Co-Nb-Mn и Co-Ta-Mn при 1200 К. Определены фазовые равновесия с участием  $\gamma_{\text{Co}}$ -твердого раствора и получена информация о растворимости компонентов в фазах при 1375 и 1200 К.

2. Установлено существование тройных фаз Лавеса  $\lambda'$  (структурный тип  $\text{MgNi}_2$ ) в системах Co-Nb-Re, Co-Ta-Re, Co-Nb-Mn и Co-Ta-Mn. Определены области концентрационной и термической стабильности данных фаз, а также их кристаллографические параметры.

3. Показано, что дисперсионное твердение при 1200 К, легированных рением кобальт-ниобиевых и кобальт-танталовых сплавов в процессе распада  $\gamma_{\text{Co}}$ -твердого раствора, сопровождается зарождением и ростом зон Гинье-Престона, формированием атмосфер Сузуки и образованием когерентных атмосфер Сузуки наноразмерных частиц метастабильных фаз  $\text{Co}_3\text{Nb}$  и  $\text{Co}_3\text{Ta}$ , принадлежащим к структурному типу  $\text{Mg}_3\text{Cd}$ .

4. Показано, что легирование марганцем снижает твердость кобальт-ниобиевых и кобальт-танталовых сплавов, содержащих рений, как из-за высокой скорости диффузии марганца, способствующей более быстрому росту зерен  $\lambda'$ -фазы, так и из-за стабилизации марганцем ГЦК-модификации кобальтового твердого раствора, препятствующей формированию достаточного количества дисперсных наноразмерных выделений фаз  $\text{Co}_3\text{Nb}$  и  $\text{Co}_3\text{Ta}$ .

**Практическая значимость** работы Федораева И.И. заключается в том, что сведения о изотермических сечениях диаграмм фазовых равновесий трехкомпонентных систем кобальта и ниобия, кобальта и тантала с рением и марганцем, а также о твердофазных процессах в кобальт-ниобиевых и кобальт-танталовых сплавах, легированных рением, марганцем и хромом, могут быть использованы для научного поиска оптимальных составов перспективных жаропрочных и жаростойких сплавов и композиционных материалов на их основе.

Диссертация представляет собой самостоятельное законченное исследование, обладающее внутренним единством. **Положения, выносимые на защиту**, свидетельствуют о личном вкладе автора в научные представления в области неорганической химии и химии твёрдого тела и содержат новые научные результаты:

1. Концентрационные области на границе  $\gamma_{\text{Co}}$ -твердого раствора с двухфазными областями  $(\gamma_{\text{Co}} + \text{Co}_2\text{Nb})$ ,  $(\gamma_{\text{Co}} + \text{Co}_3\text{Nb})$ ,  $(\gamma_{\text{Co}} + \text{Co}_2\text{Ta})$  и  $(\gamma_{\text{Co}} + \text{Co}_3\text{Ta})$  в трехкомпонентных системах Co-Nb-Re и Co-Ta-Re определяют перспективные составы для получения дисперсионно-упрочненных кобальтовых сплавов.
2. Тройные фазы Лавеса  $\lambda'$ , обнаруженные в системах Co-Nb-Re, Co-Ta-Re, Co-Mn-Nb и Co-Mn-Ta при 1200 К, относятся к структурному типу  $\text{MgNi}_2$ , в котором кобальт занимает все кристаллографические позиции, ниобий и тантал занимает только позиции Mg1 и Mg2, а рений и марганец располагаются во всех позициях, кроме Ni1.

3. Дисперсионное твердение при 1200 К в легированных рением кобальт-ниобиевых и кобальт-танталовых сплавах в процессе распада  $\gamma_{\text{Co}}$ -твердого раствора происходит через образование и рост зон Гинье-Престона, с последующим возникновением атмосфер Сузуки и формированием дисперсных частиц метастабильных фаз  $\text{Co}_3\text{Nb}$  и  $\text{Co}_3\text{Ta}$  с кристаллической структурой  $\text{Mg}_3\text{Cd}$ .
4. Легирование рением кобальт-ниобиевых и кобальт-танталовых сплавов на основе  $\gamma_{\text{Co}}$ -твердого раствора приводит к высоким показателям твердости данных сплавов, так как рений способствует зарождению дисперсных выделений упрочняющих фаз  $\text{Co}_3\text{Nb}$  и  $\text{Co}_3\text{Ta}$  и препятствует их росту по причинам его низкой растворимости в данных фазах и стабилизации им гексагональной модификации кобальтового твердого раствора.
5. Введение от ~5 ат. % рения в кобальт-ниобиевые и кобальт-танталовые сплавы, а также их совместное легирование рением и марганцем приводит к более интенсивному высокотемпературному окислению поверхности этих сплавов на воздухе; повышение устойчивости этих сплавов к высокотемпературному окислению на воздухе возможно при их совместном легировании рением (около 6 ат. %) и хромом (около 25 ат. %).

На заседании 03 марта 2023 г. диссертационный совет принял решение присудить Федораеву И.И. ученую степень кандидата химических наук по специальностям 1.4.1 – «Неорганическая химия» и 1.4.15 – «Химия твердого тела».

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 23 человек, из них 11 докторов наук по специальности 1.4.1 — «Неорганическая химия» и 10 докторов наук по специальности 1.4.15 – «Химия твердого тела», участвовавших в заседании, из 29 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 22, против – 0, недействительных бюллетеней – 1.

Заместитель председателя  
диссертационного совета МГУ.014.8  
д.х.н., член-корр. РАН

Ученый секретарь  
диссертационного совета МГУ.014.8  
к.х.н.

  
Гудилин Е.А.  
  
Хасанова Н.П.

