

Отзыв официального оппонента
на диссертацию ФЕДОРАЕВА Ивана Игоревича «Легированные рением, марганцем и хромом кобальт-ниобиевые и кобальт-танталовые сплавы: получение, состав и свойства», представленную на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальностям 1.4.1 – неорганическая химия и 1.4.15 – химия твердого тела

Представленная к защите работа выполнена по актуальной научной тематике. Известно, что кобальтовые суперсплавы, наряду с никелевыми, находят широкое применение в авиакосмической промышленности. Преимуществом кобальта перед никелем является более высокая его температура плавления, открывающая возможность повышения рабочих температур кобальтовых сплавов по сравнению с никелевыми. Подход автора диссертационной работы исследовать влияние традиционных для никелевых суперсплавов легирующих компонентов (ниобия, тантала, рения), а также марганца, стабилизирующего ГЦК-модификацию кобальта, на свойства кобальтовых сплавов является логичным и **актуальным**.

Диссертационная работа Федораева Ивана Игоревича посвящена экспериментальному исследованию фазовых равновесий в трехкомпонентных системах Co-Nb-Re, Co-Ta-Re, Co-Mn-Nb и Co-Mn-Ta, а также оценке влияния выбранных легирующих компонентов на твердость и устойчивость к высокотемпературному окислению сплавов на основе ГЦК-кобальтового твердого раствора.

Работа состоит из Введения, Обзора литературы, Экспериментальной части, Результатов и их обсуждения, Заключения и Библиографического списка. Она изложена на 192 страницах, включает 45 таблиц и 86 рисунков. Библиографический список содержит 231 цитируемый источник.

В первой главе (Обзор литературы) изложены основные сведения о современных дисперсно-упрочненных кобальтовых сплавах; проанализированы данные о строении диаграмм фазовых равновесий двухкомпонентных систем кобальта с ниобием, танталом, рением и марганцем; дана характеристика фаз Co_3Me ($Me = Nb, Ta$) и фаз Лавеса, которые граничат с γ_{Co} -фазой в системах кобальта с ниобием и танталом. Обсуждены имеющиеся в литературе сведения о строении трехкомпонентных систем кобальта с данными металлами, из чего сделан вывод, что представленной информации недостаточно для выбора оптимального состава кобальтовых сплавов. Также в данной

главе рассмотрены особенности высокотемпературного окисления на воздухе кобальтовых сплавов. Первая глава завершается кратким резюме, в котором формулируются исследовательские задачи, необходимые для достижения поставленной цели работы.

Во второй главе (Экспериментальная часть) описаны методика синтеза, условия термообработки и методы исследования сплавов. Выбор условий термической обработки сплавов обуславливался строением двойных диаграмм фазовых равновесий, а также режимом термообработки, который применяется для получения никелевых, никель-кобальтовых сплавов в промышленности. Сплавы готовились из металлов высокой чистоты (не менее 99,8 мас. %). Используемые экспериментальные методы (сканирующая электронная микроскопия, локальный рентгеноспектральный анализ, рентгенофазовый анализ, просвечивающая электронная микроскопия, дифференциальная сканирующая калориметрия, измерение твердости по Виккерсу) позволяют утверждать о высокой степени достоверности полученных данных.

В третьей главе представлены результаты работы и их обсуждение. Экспериментальные результаты можно разделить на три части: 1) определение концентрационных областей кобальт-ниобиевых и кобальт-танталовых сплавов, легированных рением, в которых в процессе термической обработки возможно выделение упрочняющей интерметаллической фазы; 2) исследование процесса твердения кобальт-ниобиевых и кобальт-танталовых сплавов, легированных рением, марганцем и хромом, на разных стадиях термической обработки, обусловленного дисперсными выделениями интерметаллических фаз; 3) исследование процесса высокотемпературного окисления на воздухе вышеуказанных сплавов.

В первой части итогом анализа результатов и их обсуждения стало построение изотермических сечений диаграмм фазовых равновесий трехкомпонентных систем Co-Nb-Re и Co-Ta-Re при двух температурах (1375 и 1200 К), а также Co-Mn-Nb и Co-Mn-Ta при 1200 К. Полученные данные о растворимости легирующих компонентов в ГЦК-кобальтовом твердом растворе использовались для выбора составов сплавов, которые были подвергнуты дисперсионному твердению и окислению на воздухе при 1200 К. Особое значение в работе уделяется кристаллической структуре интерметаллических фаз, находящихся в равновесии с γ_{Co} -твердым раствором при температурах исследования, - тройным фазам Лавеса и фазам Co_3Nb и Co_3Ta , которые способны оказывать влияние на прочностные свойства кобальтовых сплавов.

Вторая часть экспериментальных данных позволила автору предложить новый подход к интерпретации изменений, происходящих в микроструктуре сплавов при распаде пересыщенного ГЦК-кобальтового твердого раствора в процессе различных режимов термообработки и описать процессы, обуславливающие изменение твердости кобальт-ниобиевых и кобальт-танталовых сплавов, легированных рением, марганцем и хромом, на каждой из трех стадий термообработки.

Третья часть экспериментальных данных позволила описать особенности процесса окисления на воздухе сплавов систем Co-Nb-Re, Co-Ta-Re, Co-Mn-Nb-Re, Co-Mn-Ta-Re, Co-Cr-Nb-Re и Co-Ta-Re при 1200 К, в том числе совместное влияние рения и марганца, рения и хрома на окисление кобальт-ниобиевых и кобальт-танталовых сплавов.

В заключении автором приводятся основные результаты и выводы по проделанной работе, а также рекомендации по дальнейшим исследованиям с целью получения на основе данной системы легирования дисперсно-упрочненных кобальтовых сплавов с лучшими характеристиками твердости и окислительной устойчивости.

Научная новизна работы. Экспериментально построены изотермические сечения диаграмм фазовых равновесий трехкомпонентных систем Co-Nb-Re и Co-Ta-Re при 1200 и 1375 К, а также Co-Mn-Nb и Co-Mn-Ta при 1200 К. В данных системах впервые установлено существование тройных фаз Лавеса, установлена их кристаллическая структура и определены интервалы их термической стабильности. Для данных систем определена концентрационная область, перспективная для получения новых дисперсионно-упрочненных кобальтовых сплавов. Впервые предложена схема процесса распада ГЦК-кобальтового твердого раствора кобальт-ниобиевых и кобальт-танталовых сплавов, легированных рением. Произведена оценка влияния рения, марганца и хрома на твердость и высокотемпературную окислительную устойчивость сплавов данных составов.

Научная и практическая значимость полученных результатов состоит в том, что в рецензируемой работе с использованием ряда современных экспериментальных методов получены достоверные сведения о положении фазовых границ в трехкомпонентных системах Co-Nb-Re и Co-Ta-Re при 1200 и 1375 К, а также Co-Nb-Mn и Co-Ta-Mn при 1200 К; также описан процесс распада пересыщенного ГЦК-кобальтового твердого раствора при дисперсионном твердении кобальт-ниобиевых и

кобальт-танталовых сплавов, легированных рением; произведена оценка влияния добавок рения, марганца и хрома на твердость и устойчивость к высокотемпературному окислению на воздухе кобальт-ниобиевых и кобальт-танталовых сплавов. Сведения о перспективных составах и происходящих при дисперсионном твердении процессах будут востребованы при разработке новых кобальтовых материалов, применяемых в авиакосмической промышленности.

Достоверность экспериментальных данных подтверждается использованием надежных современных экспериментальных методов и внутренней согласованностью представленных результатов. Сделанные в работе выводы надежно **обоснованы**.

Диссертационная работа логично построена, написана хорошим языком.

Материалы диссертации прошли достаточную апробацию. Основные результаты представлены на 7 отечественных и международных конференциях. По теме исследования опубликовано 4 статьи в рецензируемых российских и зарубежных журналах и 9 тезисов докладов.

По представленной диссертации имеются некоторые вопросы и замечания:

1. Поскольку рений является тугоплавким металлом (его температура плавления составляет 3180 °С), желательно было бы разъяснить более подробно методику приготовления образцов сплавов в электродуговой печи: в какой форме был взят рений и каким образом обеспечивалась гомогенность образцов?
2. В работе распад ГЦК-кобальтового твердого раствора исследовался методом ДСК, результаты исследования приведены только для сплава Т2, не содержащего в своем составе рений. Применялся ли данный метод для анализа ренийсодержащих сплавов, и если применялся, то что наблюдалось на кривых нагревания и охлаждения.
3. Различия в твердости сплавов, находящихся на границах ГЦК-кобальтового твердого раствора после термообработки при 1375 К при различной скорости охлаждения, были объяснены образованием зон Гинье-Престона, однако из текста не совсем понятно, как при этом оценивались значения твердорастворного упрочнения.
4. В главе, посвященной дисперсионному твердению обнаружен ряд опечаток. Так, на странице 129 говорится о распаде « γ_{Sn} -твердого раствора» (должно быть « γ_{Co} »), там же нарушено согласование в предложении: «Это свидетельствует об образовании зон Гинье-Престона». При ссылке на Рисунок 68 на странице 133 речь идет о сплаве Т4, тогда как в тексте он назван как «сплав 4».
5. На с 132 в тексте допущена ошибка в нумерации сплавов. По всей видимости,

при обсуждении дифрактограмм порошков сплавов, подвергнутых термообработке, автор имел в виду Рисунки 60, 65 и 66, а не 61, 66 и 67.

Приведенные замечания не приводят к сомнениям в основных результатах и выводах, полученных в работе. Автореферат и указанные публикации полностью отражают содержание диссертации.

Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспортам специальностей 1.4.1 – «Неорганическая химия» и 1.4.15 – «Химия твердого тела» (по химическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, а также оформлена, согласно приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Таким образом, соискатель ФЕДОРАЕВ Иван Игоревич заслуживает присуждения ему искомой ученой степени кандидата химических наук по специальностям 1.4.1. – «Неорганическая химия» и 1.4.15 – «Химия твердого тела».

Официальный оппонент: Доктор химических наук, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН»

Кецко Валерий Александрович

Дата: 11.02.2023

Подпись руки _____
удостоверяю _____
Зав. протокольным _____
отд. ИОНХ РАН _____



Контактные данные:

тел. +7(495)775-65-85; e-mail: ketsko@igic.ras.ru.

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация:
02.00.21 «Химия твердого тела».

Адрес места работы: 119991, Москва, Ленинский проспект, д. 31

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН».