

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Беликова Романа Сергеевича

на тему: «Экспериментальное исследование теплофизических свойств системы Мо-С эвтектического состава и графита при высоких температурах»

по специальности: специальности 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника

на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук.

АКТУАЛЬНОСТЬ ИЗБРАННОЙ ТЕМЫ

Актуальность избранной диссертационной темы связана с потребностью промышленности и науки в продвижении в область все более высоких температур и использовании тугоплавких материалов, в том числе карбидов металлов и пиролитического графита. Карбиды тугоплавких металлов находят применение в различных областях высокотемпературной техники, таких как авиакосмическая отрасль и ядерная энергетика.

Особо хочу отметить роль этих материалов в метрологии: осенью этого года будет утверждена, и вступит в силу в мае 2019 г. новая Международная система единиц СИ; в рамках этой системы будет обновлена Международная температурная шкала, в которую войдут высокотемпературные реперные точки, основанные на фазовых переходах плавления соединений металл – углерод и (карбид металла) – углерод эвтектического и перитектического типов. Кроме того, в настоящее время российскими метрологическими институтами выполняются сразу две ОКР, непосредственно связанные с использованием системы Мо-С, в том числе для создания высокотемпературном модели черного тела, работающей на точке плавления этого материала, как эталонного фотометрического источника типа А с температурой 2856 К.

Печи для нагрева ячеек высокотемпературных метало-углеродных реперных точек и высокотемпературные черные тела, используемые в фотометрии и оптической радиометрии, изготавливаются в том числе из пиролитического графита, и эксплуатируются при температурах до 3500 К.

При этом, наблюдается недостаток знаний о свойствах высокотемпературных материалов. В частности, отсутствуют экспериментальные данные о теплофизических и электрических свойствах,

таких как удельное сопротивление, теплоемкость и теплота плавления, термическое расширение системы Mo-C эвтектического состава при высоких температурах, а также данные по изобарному термическому расширению пиролитического графита в области температур выше 3300 К.

СТЕПЕНЬ ОБОСНОВАННОСТИ НАУЧНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ, ВЫВОДОВ И РЕКОМЕНДАЦИЙ, СФОРМУЛИРОВАННЫХ В ДИССЕРТАЦИИ

Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, представляются обоснованными, вытекают как из поставленной цели работы – создание установки, разработка методики исследования и проведение исследования теплофизических свойств карбидов тугоплавких металлов, в частности MoC_{0,82}, и исследование линейного расширения пиролитического графита в области высоких температур вплоть до температуры плавления, и опираются на полученные результаты.

ДОСТОВЕРНОСТЬ ПРОВЕДЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Разработанная методика и созданная установка опробованы путем проведения пробных измерений материалов с известными характеристиками (молибден и тантал), и достоверность результатов измерений подтверждена сравнением и имеющимися данными. Результаты исследований характеристик системы Mo-C и пиролитического графита подтверждены оценками погрешности проведенных измерений.

Основные результаты, представленные в диссертации, докладывались и обсуждались на различных международных конференциях, включая международные конференции по уравнениям состояния вещества и конференции по взаимодействию интенсивных потоков энергии с веществом «Elbrus», международной конференции «Современные проблемы теплофизики и энергетики» и др. Материалы диссертации опубликованы в 21-ой печатной работе, включая 9 статей в рецензируемых журналах из перечня ВАК.

НОВИЗНА ПРОВЕДЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

В рамках выполнения диссертационной работы разработана оригинальная экспериментальная методика и создана основанная на этой методике установка для быстрого нагрева электропроводящих веществ с выключением греющего тока в реальном времени по сигналу от пирометра, позволяющая исследовать комплекс теплофизических свойств тугоплавких материалов.

Впервые получены данные по теплоте плавления, энтальпии, удельной теплоемкости, линейному расширению и электросопротивлению системы Mo-C эвтектического состава в области температур от 1600 до 2800 К.

Впервые проведены прямые измерения изобарного линейного расширения по двум кристаллографическим направлениям пиролитического графита в области температур от 3300 до 4800 К.

ЗНАЧИМОСТЬ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Данные по удельной энтальпии, удельной теплоемкости, электросопротивлению, теплоте плавления и величине термического расширения $MoC_{0,82}$ могут быть использованы для решения прикладных теплофизических задач, в частности, в ядерной энергетике, авиакосмической отрасли.

Круг применения пиролитического графита чрезвычайно широк. Следует упомянуть, например, технологии использования этого материала для изготовления тиглей и пироупрочнения изделий, подвергающихся высоким температурам. При этом знание коэффициентов термического расширения пирографита является необходимой информацией для проектировщиков и пользователей этими технологиями.

Полученные данные характеристик системы Mo-C и пиролитического графита безусловно будут использованы в метрологических институтах (например во ФГУП «ВНИИОФИ») при создании высокотемпературных реперных точек и совершенствовании пирографитовых моделей черного тела.

Методика экспериментального исследования теплофизических свойств тугоплавких электропроводящих веществ, разработанная в диссертации, позволяет получать данные в труднодостижимом для стационарных методов диапазоне высоких температур и давлений. Созданная экспериментальная

установка обеспечивает надежные исследования тугоплавких карбидов с высокой точностью измерений электрических и теплофизических величин.

ЗАМЕЧАНИЯ К ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЕ

В целом работа выполнена на высоком научном уровне и свидетельствует о высокой квалификации автора. Работа содержит новые важные результаты, которые в полной мере отражены в публикациях. Оформление диссертации выполнено в виде, доступном для оценки широким кругом заинтересованных специалистов. Автореферат в полной мере отражает содержание диссертации.

На взгляд оппонента, отдельные части диссертации содержат незначительные неточности, что не умаляет явных достоинств работы в целом.

1. Остается не вполне ясным как именно происходило крепление потенциальных зондов к исследуемому образцу, и не могут ли зонды вызывать дополнительные погрешности при проведении измерений?
2. Погрешность измерений не всегда выражена однозначно. Например, на рисунке 48 относительное линейное расширение приведено в абсолютных процентах, тогда как погрешность измерений численно представлена в относительных процентах, а графическое представление при низких температурах противоречит численному значению.
3. В Гл. 1 при описании метода измерения температуры системы Мо-С сказано, что для этого материала «хорошо выполняется приближение серого тела, и погрешность измерения температуры не превышает $\pm 2\%$ ». Однако, в Гл.3 при описании результатов, говорится, что точность измерения температура плавления образца Мо-С составила $\pm 28\text{K}$ при температуре 2860 K , что соответствует примерно 1% . Нет ли в это противоречия?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ О СООТВЕТСТВИИ ДИССЕРТАЦИИ КРИТЕРИЯМ, УСТАНОВЛЕННЫМ ПОЛОЖЕНИЕМ О ПОРЯДКЕ ПРИСУЖДЕНИЯ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ

Диссертация Беликова Романа Сергеевича представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует

требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника.

Официальный оппонент,
к.т.н., начальник лаборатории научно-исследовательского отделения
радиометрии, фотометрии, спектрофотометрии и колориметрии
некогерентного излучения
ФГУП «ВНИИОФИ»
119361, г. Москва, ул.Озерная, 46
Телефон: +7 (495) 437-29-88
E-mail: khlevnoy-m4@vniiofi.ru

 Хлевной Б.Б.

Подпись Хлевного Б.Б. «ЗАВЕРЯЮ»
Ученый секретарь ФГУП «ВНИИОФИ»
14 мая 2018 г.



Л.Н. Анисимова