

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора физико-математических наук, профессора Палчаева Даира Каировича на диссертационную работу Смирнова Алексея Лельевича на тему: «Теплофизические свойства твердых сплавов систем цирконий-ниобий и никель-ванадий при высоких температурах», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Актуальность работы Смирнова Алексея Лельевича определяется, тем что она направлена на установление закономерностей формирования кинетических и равновесных свойств интерметаллидов при высоких температурах, в рамках решения проблемы реализации возможности прогнозирования их свойств, востребованных на практике. Такие исследования необходимы при создании топливно-энергетического оборудования для решения стратегических задач по развитию ядерной и тепловой энергетики согласно «Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2050 года». Например, сплавы Zr-Nb являются основными конструкционными материалами изделий в активных зонах ядерных реакторов (оболочки ТВЭЛов), а сплавы Ni-V перспективны для применения в газотурбинных установках. База данных по теплофизическим характеристикам сплавов с различной структурой в широкой области высоких температур и интерпретация особенностей их формирования обеспечит возможность проектирования и безопасной эксплуатации энергоустановок. Результаты, представленные в работе необходимы также для развития фундаментальных исследований, необходимых при расшифровке природы формирования температурных зависимостей параметров равновесной и неравновесной термодинамики проводников. Эти знания базируются на результатах детальных исследований соответствующих свойств современными хорошо апробированными методами.

Научная новизна работы заключается в модернизации установки, реализующей метод температурных волн, для исследования комплекса теплофизических свойств в части обеспечения безынерционного электронного

нагрева исследуемого образца. Разработанная программа управления процессами нагревания, регистрации изменяющихся параметров, обработки этих данных и их визуализация – новые. Эти функции выполняются в автоматическом режиме с обеспечением непрерывной визуализации конечных результатов. Безынерционный нагрев обеспечивает прецизионные измерения скорости нарастания температуры и значения времени релаксации сигнала, поступившего в образец. Это позволило повысить достоверность выводов при интерпретации особенностей свойств поликристаллических интерметаллидов, наблюдаемых на зависимостях политезм и изотерм, после их термической (отжиг) и механической (интенсивная пластическая деформация) обработок.

Наиболее значимым результатом работы является то, что на большом массиве данных по тепловым свойствам и электросопротивлению интерметаллидов, выполнен анализ особенностей формирования этих свойств в зависимости от температуры и состава, на примере бинарных сплавов на основе Zr-Nb и Ni-V. Особенностью исследованных сплавов является различная модификация их структур, в том числе в виде субмикро- и нанокристаллической структуры, сформированной путем интенсивной пластической деформации. Установлено, что изменение размеров кристаллитов приводит к незначительным отклонениям политезм и изотерм тепловых и электрических свойств сплавов на основе Zr-Nb от их регулярности ниже и выше α - и β -фаз соответственно. При этом на политезмах сплавов, богатых цирконием, до и после интенсивной пластической деформации одинаково четко обозначены переходы механической смеси, состоящей из α - и β -фаз, в β - фазу. У сплавов на основе Ni-V при термической обработке наблюдаются гистерезисы с переходом температурных зависимостей от металлического к полупроводниковому характеру проводимости, не только в зависимости от состава, но и от температуры, для ряда стехиометрических фаз Ni_2V , Ni_3V и NiV_3 с широкими областями гомогенности. Тогда как у твердых растворов этой системы абсолютные значения теплофизических свойств почти не изменяются.

Температуропроводность и теплоемкость этих интерметаллидов исследованы хорошо проработанным высокоэффективным методом регулярного режима третьего рода. Реализованы безынерционные нагревы образца (электронным и лазерным способом) с фотоэлектрической регистрацией полезного сигнала. Исследования равновесных термодинамических свойств – тепловое расширение и теплоемкость выполнены с использованием современных промышленных приборов. Интерпретация данных по температурным зависимостям электросопротивления исследованных интерметаллидов выполнена в рамках признанной в настоящее время *sd*-модели проводимости Мотта. Показано, что проводимость при высоких температурах объясняется особенностями плотности состояний коллективизированных *sd*-электронов.

Особую ценность представляют массив представленных в диссертации табличных (в приложении) данных по температуропроводности, электросопротивлению, а также оценочные значения теплопроводности, рассчитанные по данным теплоемкости и плотности, полученным Смирновым А.Л. в совместно с группой исследователей. Эти данные были использованы автором в качестве опорных для сравнения с результатами этих свойств после модификации соответствующих сплавов, путем отжига и интенсивной пластической деформации.

Достоверность и обоснованность сформулированных в диссертации научных положений не вызывают сомнения, поскольку все данные получены хорошо апробированными методиками на современном аттестованном оборудовании. Представленные в работе результаты согласуются со сведениями, имеющимися в литературе. Приведена информация о предварительных контрольных исследованиях на установках с использованием образцов, которые могли служить эталонами при соответствующих измерениях. Представлен анализ погрешностей результатов измерений, согласно рекомендациям стандартов для такого анализа. Представленные в работе результаты исследований опубликованы в научных изданиях, определенных ВАК РФ и Аттестаци-

онным советом УрФУ и апробированы в виде докладов на российских и международных конференциях. Получены охранные документы. Представленные в работе экспериментальные данные, несомненно, будут востребованы на практике и станут основой для развития теории формирования термодинамических и кинетических характеристик интерметаллидов, перспективных в качестве функциональных. Эти данные уже находят применение в процессе формирования национальной инновационной системы, при обеспечении топливно-энергетического комплекса страны передовыми отечественными технологиями и оборудованием. Например, результаты исследований свойств для сплавов Ni-V и Zr-Nb при высоких температурах, необходимы для расчётов оптимальных режимов при создании и эксплуатации оборудования, используемого в топливной и атомной промышленности.

Содержание диссертации и ее оформление.

Во введении указана актуальность решаемой задачи для научных исследований и практического приложения, в том числе, в соответствии с «Энергетической стратегией России на период до 2050 года». Сформулированы цель и решаемые вопросы для достижения этой цели, а так же научные положения, выносимые на защиту. Отмечены новизна и практическая значимость работы.

В первой главе представлена общая характеристика физических свойств и структур исследованных объектов, проявляющих при высоких температурах необходимую прочность, для оборудования, создаваемого в топливно-энергетической и военной промышленности. Отмечено, что теплофизические характеристики для чистых металлов в литературе хорошо представлены, однако для сплавов такие данные скудны. Более того, сведений об особенностях формирования свойств сплавов при их модификации после термических обработок и при снижении размеров частиц – вообще нет. Эти факты позволили автору обосновать необходимость исследования теплофизических характеристик бинарных сплавов на основе циркония и ниобия, а

также никеля и ванадия, в диапазоне средних и высоких температур в твердом состоянии, в том числе, после их модификации.

Вторая глава посвящена обоснованию экспериментальных методов исследования теплофизических свойств веществ при высоких температурах, которые были использованы для получения достоверных результатов по всем свойствам, при этих температурах. Исследования температурных зависимостей температуропроводности и теплоемкости выполнены хорошо апробированным методом регулярного режима третьего рода с обеспечением низкой инерционности электронного нагрева и охлаждения образца. Здесь необходимо отметить, что автором был создан модернизированный и автоматизированный комплекс, обеспеченный оригинальными программами управления бесконтактными измерениями и методами обработки данных в автоматическом режиме, с обеспечением визуализации конечных результатов. Калибровочные измерения температуропроводности выполнены на образце карбонильного железа в интервале 830–1820 К, для которого эти результаты широко представлены в литературе.

В третьей и четвертой главах приведены фазовые диаграммы бинарных сплавов на основе Zr-Nb и Ni-V, а также результаты исследования температурных зависимостей теплофизических характеристик этих систем и образующих их металлов. Выполнен сравнительный анализ свойств исходных микрокристаллических образцов, а также после: термической обработки – для Ni-V; интенсивной пластической деформации – для Zr-Nb. Представлено обсуждение всех результатов и выводы. Содержание автореферата кратко передает содержание этих пунктов, что и отмечено мною выше в пункте: «Наиболее значимые результаты работы»

В пятой главе представлены изотермы свойств исследованных систем. Они дополняют информацию о различии особенностей формирования свойств сплавов, представляющих собой преимущественно твердые растворы или стехиометрические соединения с широкими областями гомогенности. Здесь же автором предпринята попытка установить природу механизмов

накопления энергии и переноса тепла в интерметаллидах, на основе установленных к настоящему времени представлений. К сожалению, они пока не позволяют однозначно понять наблюдаемые явления при формировании свойств даже для классических проводников. В этой связи автор приходит к правильному выводу о том, что экспериментальные данные пока являются единственным источником информации для какой-либо интерпретации.

Замечания и вопросы по работе.

1. Почему автор ограничился установлением факта наличия корреляции некоторых свойств только визуально? Хотя, очевидно, что можно было бы установить природу механизмов их формирования в интерметаллидах путем корреляционного анализа свойств, хотя бы для одного объекта сплава при таком обилии экспериментальных данных.
2. В работе приведены температурные зависимости относительного удлинения почти для всех сплавов и чистых металлов в тех же интервалах температур, для которых имеются данные по электросопротивлению и температуропроводности. Почему по этим данным не рассчитаны коэффициенты теплового расширения, путем дифференцирования? Этот коэффициент, по сравнению с относительным удлинением образца, изменяется на многие порядки с четким обозначением всех нерегулярностей. Более того, этот параметр явно отражает ангармонизм, поэтому мог быть весьма полезен при интерпретации кинетических коэффициентов – тепло- и электросопротивлений.
3. Известно, что метод определения температуры образца при высоких температурах по яркости излучения модели черного тела, создаваемого небольшим сверлением в образце, намного эффективней, чем термопарами, как в работе.

Есть незначительные замечания к оформлению работы, но, в целом, совокупность научных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации Смирнова А.Л., является научным достижением в области

высокотемпературной теплофизики, теплотехники и энергетики. Тема и содержание работы соответствуют паспорту специальности и требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней в ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», а ее автор, Смирнов Алексей Лелевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Официальный оппонент:

Палчаев Даир Каирович, доктор физико-математических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный университет», и. о. заведующего кафедрой «Физика конденсированного состояния и наносистем»

Тел.: +

E-mail: dairpalchaev@mail.ru

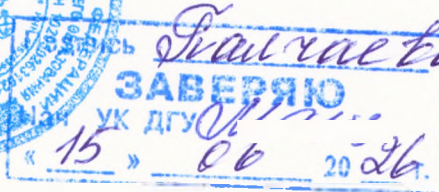
14.06.2026

Палчаев Д.К.

Контактная информация

367000, Республика Дагестан, г. Махачкала, ул. Гаджиева 43А, ДГУ

Телефон: 8 (8722 68-23-26, E-mail: dgu@dgu.ru



Палчаев Д.К.

« 15 » 06 2026