

«УТВЕРЖДАЮ»
Заместитель директора Института металлургии
и материаловедения им. А.А. Байкова РАН

д.т.н. А.Г. Колмаков

2016 г.



О Т З Ы В

ведущей организации на диссертационную работу Дышековой Фатимы Феликсовны
«Поверхностное натяжение расплавов свинца и висмута с участием лития и смачиваемость
ими реакторных сталей», представленную на соискание ученой степени кандидата
физико-математических наук по специальности 01.04.14 –
теплофизика и теоретическая теплотехника

Двойные и тройные сплавы с участием лития, свинца и висмута обладают рядом теплофизических свойств, позволяющих использовать эти сплавы в качестве теплоносителей и тритий-воспроизводящих материалов в термоядерных реакторах. Применение лития и его сплавов как перспективных высокотемпературных теплоносителей обусловлено высокой критической температурой и низкими температурами плавления. Варьируя компонентный состав данных систем, можно создавать теплоносители с заданными физико-химическими характеристиками. В высокотемпературных реакторах целесообразно применять жидкометаллические теплоносители, позволяющие отводить тепло из реактора на сравнительно высоком температурном уровне при малых давлениях, что позволяет существенно повысить КПД ядерной энергетической установки. Наиболее отчетливо преимущество лития проявляется при создании ядерных энергоустановок транспортного и космического назначения.

Актуальность темы определяется отсутствием экспериментальных работ, посвященных изучению поверхностных свойств сплавов, составы которых лежат внутри концентрационного треугольника тройной системы Pb–Bi–Li. Представленная работа направлена на получение новых данных о поверхностных свойствах двойных и тройных сплавов системы свинец-висмут-литий.

Цель работы заключается в экспериментальном исследовании поверхностного натяжения двойных и тройных сплавов системы свинец-висмут-литий, а также степени смачиваемости ими поверхностей конструкционных реакторных сталей.

Научная новизна результатов исследования:

Наиболее важными результатами диссертационной работы Ф.Ф. Дышековой являются:

- разработка новых приборов и устройств для измерения теплофизических и поверхностных свойств жидкометаллических расплавов с участием лития в условиях высокого статического вакуума и в инертной среде;
- программный пакет «SigmaDrop», позволяющий автоматизировать процессы расчета ПН методом большой капли;
- экспериментально полученные температурные и концентрационные зависимости ПН двойных и тройных сплавов системы свинец-висмут-литий;

- закономерности и особенности адсорбционных процессов в сплавах Pb–Li, Bi–Li и Pb–Bi–Li;
- экспериментальное изучение температурных зависимостей смачиваемости поверхностей конструкционных сталей 12X18H10T и ЭК–173 жидкими двойными и тройными сплавами системы свинец-висмут-литий в зависимости от концентрации лития в свинце, висмуте и эвтектическом сплаве свинец-висмут.

Значимость для науки и практики полученных автором диссертации результатов:

Приборы и устройства, разработанные и усовершенствованные соискателем, открывают новые возможности для исследований перспективного класса сплавов с участием лития, позволяют повысить точность и надежность получаемых результатов, экономить расходные материалы и ускорить исследования. Об этом свидетельствуют полученные Патенты на изобретения и успешное практическое использование разработанных приборов и методик при выполнении с участием соискателя гранта РФФИ по теме «Теплофизические свойства сплавов тройной системы литий-свинец-висмут» проект № 13-08-0021а (2013–2015 гг.) и государственного задания № В.003.14 в сфере научной деятельности по теме «Физика межфазных явлений в многокомпонентных системах щелочных и низкоплавких металлов, их сплавов и соединений, включая наносистемы». Экспериментальные установки и программный пакет «SigmaDrop» используются в научно-исследовательских лабораториях.

Полученные данные о ПН сплавов системы свинец-висмут-литий и смачиваемости ими реакторных сталей 12X18H10T и ЭК–173 могут быть использованы для дальнейшего развития теории поверхностных явлений в металлах и сплавах, при разработке новых составов тяжелых теплоносителей, конструировании и модернизации ядерных энергетических установок, а также включены в справочные издания по теплофизическим свойствам веществ.

Диссертационная работа Ф.Ф. Дышековой изложена на 128 страницах, содержит 65 рисунков и 8 таблиц. Она состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы из 187 наименований

Во введении обосновывается актуальность темы диссертации, определены задачи и цели исследований, изложены научная и практическая ценности полученных результатов, сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе приведен аналитический обзор работ по результатам экспериментальных исследований поверхностного натяжения (ПН) и смачиваемости поверхностей легкоплавких сплавов с участием щелочных металлов. По результатам анализа сделан вывод, что данные свойства сплавов с участием лития мало изучены, а сведения о поверхностных свойствах сплавов системы свинец-висмут-литий вовсе отсутствуют.

Во второй главе дается описание разработанных при участии соискателя новых приборов и экспериментальных установок, методики расчета ПН на базе программного пакета «SigmaDrop», подготовки образцов и заправки ими измерительных ячеек, а также особенностей диаграммы состояния исследуемых систем. Соискатель отмечает, что в литературе имеются лишь фрагментарные сведения о диаграмме состояния системы свинец-висмут-литий.

Третья глава диссертации посвящена результатам измерений ПН чистых Li, Pb, Bi и их двойных и тройных сплавов, а также расчетные данные об адсорбции и предельной поверхностной активности лития в изученных сплавах.

Измерения температурных и концентрационных зависимостей ПН двойных сплавов системы Pb–Li и Bi–Li в интервале составов с содержаниями до 20 ат. % Li в свинце и до 10,46 ат. % лития в висмуте показали, что на изотермах ПН сплавов систем Pb–Li и Bi–Li существуют особенности в виде неглубокого минимума в области составов с содержанием около 5–6 ат. % Li в

сплавах со свинцом и около 4 ат. % Li в сплавах с висмутом.

В этой же главе приведены результаты изучения температурных и концентрационных зависимостей ПН тройных сплавов лития на основе эвтектического расплава $Pb_{44,7}Bi_{55,3}$ в области составов с содержанием до 33,1 ат. % Li. Показано, что первые добавки Li (до 5 ат. %) к расплаву $Pb_{44,7}Bi_{55,3}$ приводят к понижению ПН на 3,5%, которое объясняется, по мнению соискателя, адсорбционно-десорбционными процессами, обычно протекающими наиболее интенсивно в области составов с малым содержанием поверхностно-активного компонента, т.е. лития. Дальнейшее обогащение эвтектического расплава $Pb_{44,7}Bi_{55,3}$ литием до 33 ат. % Li приводит к изменению характера изотерм $\sigma(x)$ сплавов, так как, в отличие от предшествующих сплавов с более широкой областью однофазного жидкого состояния, каждый из отдельных тройных сплавов теперь проходит через ограниченные небольшими температурными и концентрационными интервалами различные фазовые области, каждая из которых имеет свои особенности строения сплавов в соответствии с фазовой диаграммой состояния системы Pb–Bi–Li.

По полученным данным ПН для изученных систем соискателем проведены расчеты адсорбции лития. Установлены особенности изотерм адсорбций и оценены значения предельной поверхностной активности лития в изученных двойных и тройных сплавах системы Pb–Bi–Li. Показано, что максимальное значение адсорбции лития в висмуте достигается при 0,8 ат. % Li, а в свинце – в области составов с 1,5 ат. % Li. Предельные поверхностные активности лития в висмуте и свинце соответственно составляют 1,4 и 10 Н/м·ат. доли Li.

В расплаве $Pb_{44,7}Bi_{55,3}$ –Li адсорбция лития достигает максимального значения в области составов с содержанием около 0,5 ат. %. Предельная поверхностная активность лития в эвтектическом расплаве $Pb_{44,7}Bi_{55,3}$ при температуре 400 К составила 1,2 Н/м·ат. доли. Также в работе проведены расчеты составов и числа поверхностных слоев сплавов Pb–Li, из которых следует, что в области околоэвтектических составов при $T = 633$ К поверхностный слой сплавов Pb–Li составляет около двух монослоев Li.

Четвертая глава посвящена результатам исследования смачиваемости поверхностей реакторных сталей 12X18H10T и ЭК–173 жидкими Pb, Bi и их двойными и тройными сплавами системы Pb–Bi–Li в широкой области температур в условиях вакуума и атмосфере аргона.

Значимость для науки заключается в том, что полученные впервые результаты по ПН сплавов системы свинец-висмут-литий и смачиваемости ими реакторных сталей 12X18H10T и ЭК–173 могут быть использованы для дальнейшего развития теории поверхностных явлений в металлах и сплавах, при разработке новых составов тяжелых теплоносителей, конструировании и модернизации атомных и ядерных энергетических установок, а также включены в справочные издания по теплофизическим свойствам веществ.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации.

Полученные данные по поверхностным свойствам сплавов системы свинец-висмут-литий могут быть использованы при технических разработках ядерных, а в перспективе – и термоядерных энергетических установок; они также восполняют и уточняют имеющийся справочный материал по теплофизическим свойствам веществ и материалов.

Приборы и устройства, разработанные и усовершенствованные соискателем, открывают новые возможности для исследований перспективного класса сплавов с участием лития, позволяют повысить точность и надежность получаемых результатов, экономить расходные материалы и ускорить исследования.

Результаты диссертационной работы Дышековой Ф.Ф. могут быть рекомендованы для использования в исследованиях фундаментального и прикладного характера, проводимых в

Институте металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, Институте физики металлов УрО РАН, Московском государственном университете им. М.В. Ломоносова, Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана, Объединенном институте высоких температур РАН, Московском инженерно-физическом институте, Институте теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, Кабардино-Балкарском государственном университете им. Х.М. Бербекова, Чеченском государственном университете.

Результаты диссертационной работы достоверны и ее выводы являются обоснованными, базируясь на грамотном анализе большого экспериментального материала. Итоги работы соответствуют поставленной цели и задачам.

Автореферат и публикации полностью отражают содержание диссертации.

Общие замечания.

- на какой из описанных в работе экспериментальных установок получены опытные данные;
- проводилось ли сравнение опытных данных, полученных с использованием разных экспериментальных установок;
- в диссертации не приводятся сведения об анализе содержания компонентов в изученных сплавах после окончания экспериментов для сравнения с их исходным содержанием;

В качестве пожелания можно рекомендовать в дальнейших работах провести экспериментальное изучение температурных и концентрационных зависимостей плотности тройных сплавов системы свинец-висмут-литий.

Заключение. Результаты исследований, проведенных Дышековой Ф.Ф., прошли апробацию на международных, общероссийских и региональных конференциях. Содержание диссертации отражено в периодической печати, при этом 10 публикаций диссертанта опубликованы в журналах из списка, рекомендуемого ВАК России. Автореферат достаточно полно передает содержание диссертации.

Научные результаты и выводы, сформулированные в диссертации Дышековой Ф.Ф., представляют интерес в области теоретического и экспериментального изучения свойств бинарных и тройных жидкометаллических систем. Актуальность выполненных исследований, объем проделанной работы, ее экспериментальный и научный уровень, оригинальность результатов, имеющих научную новизну и практическую значимость, дают основание считать, что представленная диссертационная работа удовлетворяет требованиям ВАК к кандидатским диссертациям.

Отраженные в диссертации научные положения соответствуют области исследований по специальности 01.04.14 – «Теплофизика и теоретическая теплотехника», определяющей фундаментальные, теоретические и экспериментальные исследования молекулярных и макросвойств веществ в твердом, жидком и газообразном состоянии и способствующей более глубокому пониманию явлений, протекающих при тепловых процессах и агрегатных изменениях в физических системах. Полученные научные результаты соответствуют пунктам 1 и 2 Паспорта специальности 01.04.14 – «Теплофизика и теоретическая теплотехника».

На основании вышеизложенного можно заключить, что диссертационная работа «Поверхностное натяжение расплавов свинца и висмута с участием лития и смачиваемость ими реакторных сталей» представляет собой научно-квалификационную работу, по уровню проведенных исследований, актуальности выбранной темы, степени обоснованности научных положений и выводов удовлетворяет всем требованиям, установленным пунктом 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (Постановление Правительства

Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842), а ее автор - Дышекова Фатима Феликсовна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Отзыв на диссертацию и автореферат обсуждены на коллоквиуме Лаборатории физических методов исследования материалов Института металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН 10 мая 2016 г., протокол заседания № 5.

Председатель коллоквиума,
доктор технических наук, профессор,
зав. лаб. физических
методов исследования материалов (№14)
ИМЕТ РАН

Владимир Владимирович Рошупкин

Секретарь коллоквиума,
кандидат физико-математических наук,
пом. зав. лаб. физических
методов исследования материалов (№14)
ИМЕТ РАН

Михаил Александрович Покрасин

Адрес организации:
119334, г. Москва, Ленинский проспект, 49
Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки «Институт металлургии
и материаловедения
им. А. А. Байкова
Российской Академии Наук» (ИМЕТ РАН)
Лаборатория физических методов
исследования материалов (№14)
<http://www.imet.ac.ru/>
pokrasin@gmail.com
тел.: (499) 135-94-28

Ученый секретарь ИМЕТ РАН,
кандидат технических наук

Ольга Николаевна Фомина

