

«УТВЕРЖДАЮ»



Директор ФГБУН «Институт физики

им. Х.И. Амirkhanova» ДНЦ РАН

член-корр. РАН, д.ф.-м.н., профессор

Муртазаев А.К.

мая 2016 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации

на диссертационную работу Жолаевой Фатимат Башировны «Теоретическое моделирование процессов плавления в бинарных эвтектических системах», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника (физико-математические науки)

Актуальность темы диссертации

Диссертационная работа Жолаевой Ф. Б. посвящена разработке математических моделей и исследованию процессов плавления в бинарных эвтектических системах. Анализ современного состояния исследований природы и механизма процессов контактного плавления показывает, что изучено большое количество эвтектических пар, накоплен огромный экспериментальный материал, в которых выявлены наиболее характерные черты процессов контактного плавления. В частности, установлены закономерности перемещения границ фазового превращения; исследованы структурные особенности сплавов, получающихся после отвердевания расплавов, образующихся при

контактном плавлении; изучено влияние электромагнитных полей и больших давлений на кинетику процесса контактного плавления. Обнаружено, что в некоторых эвтектических системах в начальной стадии процесса плавления сначала появляется жидкая фаза одного из компонентов эвтектической пары, а затем лишь через небольшой промежуток времени, начинается плавление обоих компонентов. Весьма интересным является также явление низкотемпературного плавления. Несмотря на значительные успехи, достигнутые в данной области исследования, теоретическое объяснение природы и механизма возникновения контактного плавления до настоящего времени встречает серьезные трудности. Поэтому дальнейшее развитие данного научного направления во многом будет зависеть от развития теории этих процессов. Все это указывает на актуальность темы диссертационной работы Жолаевой Ф. Б., которая посвящена исследованию процессов плавления в бинарных эвтектических системах и разработке их математических моделей.

Заявленные в работе подходы к достижению поставленной цели, используемые методики и методы исследования вполне обоснованны и отвечают современному уровню требований при решении поставленных в работе задач.

Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, выводов и списка литературы, включающего 107 названий. Материал изложен на 142 страницах и проиллюстрирован 21 рисунком и 3 таблицами. Во введении обоснована актуальность темы исследования, определены цели и задачи диссертационной работы, показана научная новизна и практическая значимость полученных результатов, сформулированы основные положения, выносимые на защиту и указаны апробации работы.

Литературный обзор структурирован и приведен в начальных разделах каждой главы.

В **первой главе** рассмотрены и обсуждены результаты исследований процессов контактного плавления в бинарных эвтектических системах, а также представлена проблематика моделирования этих процессов. Особое внимание уделяется объяснению того, что для каждого металла существует пороговая величина отношения концентраций примесных и собственных атомов, начиная с которого металл плавится. В этой же главе показано, что в процессе контактного плавления объемные концентрации атомов при переходе через границы фазового превращения терпят лишь незначительные разрывы, и что молярными концентрациями в диффузионных задачах пользоваться нельзя. Составлена замкнутая система дифференциальных уравнений, описывающих процессы диффузии атомов в твердых сплавах и в расплаве при контактном плавлении; с учетом перемещения границ фазового превращения впервые сформулированы начальные и граничные условия, которым должно удовлетворять решение исходных уравнений.

Во **второй главе** сформулирована задача о контактном плавлении в бинарных эвтектических системах в условиях квазистационарности процессов диффузии атомов в расплаве, а также формулированы специфические граничные условия, которым должны удовлетворять концентрации атомов в расплаве при контактном плавлении в условиях квазистационарности процессов диффузии. На основе метода Лейбензона решена задача о плавлении металлического шара в расплаве; получена простая формула для времени полного расплавления шара, которая позволяет оценивать время растворения металлических частичек в расплавах; установлен критерий выбора

эвтектических пар для осуществления плавления кристаллов в расплавах.

В **третьей главе** диссертационной работы исследуются процессы контактного плавления в стационарном режиме. В частности, автором впервые сформулирована в замкнутом виде задача о контактном плавлении тел в стационарном режиме, в которой учитывается механическое выдавливание расплава из зоны контактного плавления; получено концентрационное распределение атомов контактирующих металлов в твердых фазах и в расплаве в зависимости от фиксированной толщины жидкой прослойки и коэффициентов диффузии в различных фазах, а также скорости контактного плавления. Здесь же предложен новый метод определения парциальных коэффициентов диффузии в расплаве методом контактного плавления в стационарном режиме; разработан алгоритм определения параметров диффузии атомов в расплаве; установлена зависимость скорости контактного плавления в стационарном режиме от величины сдавливающего усилия, приложенного к торцам цилиндров, и от площади соприкосновения кристаллов, образующих эвтектическую пару.

Заключительная глава посвящена особенностям и механизму возникновения промежуточных фаз в некоторых эвтектических системах. Показано, что эффект контактного плавления при пониженной температуре (ΔT -эффект) связан с превышением реальных концентраций атомов в металлах в зоне контакта над равновесными значениями концентраций, определяемыми по кривым, полученным интерполяцией линий ликвидуса в область твердых сплавов. Здесь же получены соотношения между параметрами диффузии контактирующих веществ, при выполнении которых в системе возможен ΔT -эффект; установлены минимальные значения температур

систем, при которых этот эффект реализуется. Кроме этого, выведены условия, при которых контактному плавлению при температурах, превышающих температуру эвтектики в данной системе, предшествует образование жидкой фазы более легкоплавкого металла. Показано, что этот эффект имеет место не во всех эвтектических системах, а только в некоторых; установлены температурные интервалы, при которых указанный эффект реализуется.

После каждой главы приводятся выводы. В конце работы сделаны общие выводы и представлен список использованной литературы, достаточно полно отражающий современное состояние исследований процессов плавления в бинарных эвтектических системах.

Новизна исследований и полученных результатов, выводов и рекомендаций

В диссертационной работе Жолаевой Ф.Б. «Теоретическое моделирование процессов плавления в бинарных эвтектических системах» впервые поставлены и решены в общем виде задачи о контактном плавлении в бинарных эвтектических системах в стационарном диффузионном режиме с учетом механического выдавливания расплава из зоны контактного плавления, и в нестационарном диффузионном режиме с учетом эффекта Киркендалла. Кроме того, разработан новый метод определения параметров диффузии в контактной прослойке методом контактного плавления, который позволит получать более надежные значения коэффициентов диффузии в эвтектических расплавах. Поставлена и решена новая гидродинамическая задача о течении жидкости в зазоре между контактирующими телами в процессе контактного плавления. И, наконец, предложена феноменологическая теория эффекта, заключающегося в том, что для ряда эвтектических систем контактное

плавление и спекание контактирующих тел происходит при температурах, лежащих ниже температуры эвтектики. В частности, получены соотношения между параметрами диффузии контактирующих веществ, при выполнении которых в системе возможен ΔT -эффект; установлены минимальные значения температур систем, при которых этот эффект реализуется.

Практическая ценность представленной диссертационной работы состоит в том, что построенные в работе теоретические модели, содержащие важнейшие характеристики процессов контактного плавления и определяющие диффузионные константы, могут быть использованы для совершенствования методов определения коэффициентов диффузии в расплаве в широкой области температур с использованием экспериментов по контактному плавлению в бинарных эвтектических системах как в нестационарном, так и в стационарном диффузионных режимах.

Большой интерес представляют полученные соотношения между параметрами диффузии контактирующих веществ, что может быть **рекомендовано использовать в качестве критерия** (возможного) существования ΔT -эффекта в эвтектических системах. Кроме того, с помощью полученных в работе критериев возникновения промежуточной фазы между металлами можно определить состав жидкости, образующейся в начальной стадии контактного плавления. Материалы диссертации могут быть использованы также в учебном процессе КБГУ и др. вузов при чтении лекций и специальных курсов.

Надежность и достоверность полученных в работе результатов обеспечивается обоснованностью исходных теоретических положений, постановкой адекватных задач и применением для их решения апробированных физических и математических методов. Материалы

исследования детально изложены в 11 опубликованных работах, из которых 6 статей входят в перечень научных изданий, рекомендованных ВАК РФ. Основные результаты исследования обсуждались на научных всероссийских и международных научных конференциях. *Автореферат диссертации* дает полное представление о широте и значимости проведенного исследования, достаточно полно отражает основные положения работы, сформулированные в выводах и практических рекомендациях.

Вместе с тем, хотелось бы указать на некоторые *недостатки* и *неточности*:

1. Основное замечание относится к Гл.4. В этой заключительной главе автором сделана смелая попытка выявить механизм возникновения ΔT -эффекта, который до настоящего времени остается весьма дискуссионным у специалистов. Однако здесь не учитываются возможные источники (например, возможного ньютоновского теплообмена) в системе. Из-за неоднородности такого типа уравнений в системе могут возникать новые решения и, следовательно, другие возможные физические механизмы этого макроскопического ($\Delta T \sim 10^2$ С) эффекта контактного плавления. Как величина ΔT -эффекта, так и его пороговый характер указывают на целесообразность постановки и решения соответствующей неоднородной задачи с целью изучения влияния дополнительных источников на термодинамику контактного плавления.

2. Математические формулировки и определения в тексте диссертации (Гл.2, §2.1, стр.45(условие квазистационарности); Гл.3, §3.1, стр.75 (условие стационарности)) не всегда являются полными и строгими, а сам текст содержит умеренное количество опечаток.

Заключение

В целом приведенные выше замечания не умаляют значимости результатов, полученных в диссертации, и не затрагивают основных выводов и положений, выносимых на защиту. Диссертационное исследование «Теоретическое моделирование процессов плавления в бинарных эвтектических системах» соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК РФ, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор - Жолаева Фатимат Башировна - заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника.

Доклад по теме диссертационной работы был заслушан и одобрен на научном семинаре ФГБУН «Институт физики им. Х.И. Амирханова» ДНЦ РАН (протокол № 5 от «19» мая 2016 г.)

Отзыв составил

зав.сектора Теор.физики., к.ф.м.н.



/Агаларов А.М./

Почтовый адрес:

367003, Россия, Республика Дагестан,

г. Махачкала, ул. М. Ярагского, 94

Тел. 8(8722)62-89-60

E-mail: dagphysics@mail.ru

Подпись Агаларова А.М. заверяю

Ученый секретарь ФГБУН
«Институт физики им. Х.И. Амирханова»
ДНЦ РАН, к.т.н.



 /Мирская В.А./