

### **Отзыв официального оппонента**

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

**Оценка актуальности.** В работе рассматриваются математические модели, связанные с некоторыми аспектами контактного плавления. Решение вопросов, связанных с исследованием роста промежуточных фаз, в частности при контактном плавлении, органически вписываются в круг задач теплофизики и теоретической теплотехники. Проблемы, которым посвящена диссертация, находятся в поле зрения исследователей уже не одно десятилетие. Дискуссии по тем или иным вопросам контактного плавления ведутся с опорой как на теоретические, так и на экспериментальные результаты. Контактное плавление является методом физического и физико-химического исследования жидкой фазы и межфазного равновесия. Методом контактного плавления измеряют эффективные коэффициенты взаимной диффузии, парциальные коэффициенты взаимной диффузии, коэффициенты самодиффузии. Контактное плавление является одним из методов построения диаграмм состояния различных веществ. Построение математических моделей плавления в бинарных системах позволяют интерпретировать экспериментальные результаты. Итоги как теоретических, так и экспериментальных исследований являются основой для построения моделей межфазных явлений, строения жидких металлов и сплавов. В свою очередь, на основе адекватных эксперименту теоретических моделей контактного плавления разрабатываются технологии, направленные на улучшение потребительских свойств гетерогенных материалов, изделий, получаемых соединением деталей с помощью контактного взаимодействия, слоев, наносимых на поверхность. Сказанное дает основание утверждать, что тема диссертации является актуальной.

#### **Оценка новизны исследований.**

Ряд моделей, рассмотренных в работе, сформулирован впервые. Соответственно впервые найдены решения сформулированных моделей. При рассмотрении контактного плавления в стационарном режиме впервые рассмотрены некоторые особенности, возникающие в предположении неравенства коэффициентов диффузии отдельных компонентов. Новой является постановка и решение задачи гидродинамического течения жидкости в зазоре между контактирующими телами в процессе контактного плавления. Предложен новый вариант объяснения  $\Delta T$ -эффекта контактного плавления.

## **Степень достоверности и обоснованности научных положений и выводов диссертационной работы.**

Математическая основа рассматриваемых моделей не вызывает сомнений. Используются апробированные методы решения сформулированных задач. В частности, можно сравнить полученные в обсуждаемой работе оценки по снижению температуры в контакте кристаллов в начальный момент контактного плавления с независимыми оценками (например, Неорганические материалы. 2004. Т. 40. № 2. С. 147-151), где теоретический расчёт и непосредственное измерение показали, так же, как получено в обсуждаемой работе, снижение температуры в ряде легкоплавких систем на величину порядка 1 К.

Основные результаты диссертации опубликованы в научных изданиях, в том числе входящих в список ВАК, они неоднократно обсуждались на различных конференциях и получили одобрение ведущих специалистов.

## **Оценка значимости для науки и практики выводов и рекомендаций диссертанта.**

В рассматриваемой работе на основе математической модели, базирующейся на предположении о независимости коэффициентов диффузии от состава внутри каждой фазы и на пренебрежении скачком концентрации на границах жидкость/кристалл, получено решение системы диффузионных уравнений. Из полученного распределения концентрации следует параболический закон перемещения межфазных границ.

Предполагая существование температурной зависимости коэффициентов диффузии от температуры аррениусовского типа, а также принимая, что значения коэффициентов диффузии в контактной прослойке зависят только от температуры, в рассматриваемой диссертации предложен метод нахождения параметров диффузии в расплаве.

На основе применения квазистационарного метода получены сравнительно простые аналитические формулы, определяющие законы движения межфазных границ.

На основе квазистационарного метода рассмотрена задача о плавлении металлического шара в расплаве.

Путем математического моделирования тепловых процессов рассчитана эволюция теплового поля при контактном плавлении.

В диссертации рассматривается задача о смещении инертных меток при контактном плавлении. Получено, что отношение смещения инертных меток к протяженности расплава остается постоянным. Произведены расчеты смещения инертных меток для некоторых систем.

Рассмотрена задача контактного плавления в стационарном режиме с учетом удаления части образующейся жидкости из зоны контакта. Получена формула, связывающая толщину жидкой прослойки со сдавливающим усилием. Найдены формулы, позволяющие рассчитать коэффициенты диффузии при контактном плавлении в стационарном режиме.

Интересными являются результаты исследования начальной стадии контактного плавления.  $\Delta T$ -эффект интерпретируется как результат пересыщения исходных кристаллов инородными атомами. Получен критерий осуществимости  $\Delta T$ -эффекта на основе соотношения между энергиями между величинами, которые интерпретированы как энергия активации диффузии.

Сформулированные и используемые в обсуждаемой работе математические модели могут быть использованы для интерпретации экспериментальных результатов. Результаты диссертации могут стимулировать поиск и совершенствование методов исследования кинетики роста промежуточных фаз и характеристик переноса в жидких металлических системах.

Предложенные механизмы осуществления  $\Delta T$ -эффекта и сделанные оценки позволяют поставить новые эксперименты по изучению этого далеко ещё не изученного явления.

Значительная часть материалов диссертации может быть рекомендована для использования в учебном процессе при изучении соответствующих специальных дисциплин.

**Отдельные замечания и недостатки по содержанию и оформлению диссертации.**

1) На рис. 1.1. неверно показано соотношение концентраций на границах кристалл/жидкость для "чужих" атомов. В контактной жидкости на межфазных границах концентрация "чужих" атомов всегда больше.

2) Согласно соотношению между концентрациями  $n$  и долями  $C$  после формул 1.8. получается, что концентрации обратно пропорциональны долям, что неверно.

3) В начале раздела 1.4. утверждается, что "потoki частиц в жидкой прослойке не могут быть пропорциональными градиентам молярной концентрации". Однако, именно на стандартном законе диффузии сформулированы уравнения 1.2-1.4., на которые опирается автор диссертации.

4) Приведённые в разделе 2.1. значения ликвидусных долей для систем Cd-Vi и Ag-Cu далеки от действительности.

Перечисленные недостатки не меняют общего положительного впечатления о рассматриваемой работе.

**Заключение.** Диссертация выполнена на актуальную тему. Основные результаты обладают научной новизной и практической ценностью. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации. Материалы диссертации опубликованы в авторитетных научных изданиях. Диссертация соответствует специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Содержание диссертации свидетельствует, что диссертационная работа Жолаевой Фатимат Башировны "Теоретическое моделирование процессов плавления в бинарных эвтектических системах", соответствует требованиям пп. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением правительства РФ от 24 сентября 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.

Саввин Владимир Соломонович,  
доктор физико-математических наук,  
доцент,  
Профессор кафедры Общей и специальной физики  
Обнинского института атомной энергетики – филиала ФГАОУ ВПО  
"Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ".  
249040, РФ, Калужская обл., г. Обнинск, Студгородок, 1  
06.05.2016  
savvin-vs@yandex.ru

Подпись профессора Саввина В.С. заверяю

Директор ИАТЭ НИЯУ МИФИ



Айрапетова Н.Г.