



УТВЕРЖДАЮ

Директор ИМЕТ РАН

Член-корр. РАН

 В.С. Комлев

« 8 » 11 2018 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Жевненко Сергея Николаевича “Поверхностная энергия и фазовые переходы на поверхностях в двухкомпонентных системах на основе металлов подгруппы меди”, представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.07 — “Физика конденсированного состояния”

Актуальность работы

Поверхность - это один из основных дефектов структуры кристалла, который является классическим объектом в физике твердого тела. Разрыв химических связей на поверхности приводит к изменению координационной сферы поверхностных атомов и регибридизации их валентных орбиталей. Нарушенная структура поверхности не может скачком перейти к упорядоченной структуре объема кристалла и, следовательно, существует некоторая переходная область, которую следует рассматривать как фазу. Важнейшей характеристикой поверхности является поверхностное натяжение. Однако роль поверхностного натяжения в фазовых равновесиях и, следовательно, фазовых превращениях изучена недостаточно, особенно это касается твердых тел (металлы, керамика, стекло и др.). В этой связи работа, направленная на изучение поверхностных явлений в металлических системах, безусловно, является актуальной.

Структура и основное содержание диссертации

Диссертация состоит из введения, шести глав, выводов и списка цитируемой литературы из 321 наименования. Объем диссертации составляет 231 страницу машинописного текста.

Во **введении** обоснована актуальность темы, сформулированы цель, задачи, положения, выносимые на защиту, научная новизна и практическая значимость работы.

В **первой главе** рассмотрена термодинамика поверхности твердых тел. Обобщены экспериментальные и теоретические результаты по исследованию

как внешних, так и внутренних (границы зерен) поверхностей в поликристаллических металлических системах. Показана необходимость дальнейших исследований поверхностных явлений в двухкомпонентных металлических системах. Обоснован выбор объектов исследования Cu-Co, Cu-Fe, Cu-Ni, Cu-Ag, Cu-Pb, Cu-Sb, Cu-Sn, Cu-In.

Во **второй главе** описаны экспериментальные методы исследования поверхностей металлических материалов (СЭМ, РФС, АСМ, Оже-спектроскопия и др.). Особо следует отметить развитый автором метод так называемой нулевой ползучести, который позволяет проводить *in situ* высокотемпературные измерения в инертной или восстановительной газовой среде и напрямую определять поверхностное натяжение и коэффициент вязкости металлов.

В **третьей главе** представлены полученные автором экспериментальные данные по энергиям, структуре и составу поверхностей в изученных металлических системах. Установлена взаимосвязь состав-структура-поверхностное натяжение. Показано, что на изотерме поверхностного натяжения в системах перитектического типа (Cu[Co] и Cu[Fe]) наблюдается максимум, а на изотерме, соответствующей системам эвтектического типа (Cu[Ag] и Cu[Pb]) - минимум.

В **четвертой главе** обобщены данные по коэффициентам вязкости исследованных твердых растворов и их температурным зависимостям. Проанализированы условия корректной постановки экспериментов для определения скоростей диффузионной ползучести, адекватных используемым моделям Набарро-Херринга и Коубла.

В **пятой главе** проанализированы полученные автором, а также литературные данные по поверхностной энергии как чистых металлов (Cu, Au, Ag), так и твердых растворов. На примере систем Cu[Co] и Au[Cu] объяснено влияние растворенного компонента на поверхностную энергию твердого раствора. Обнаруженные максимумы и минимумы на изотермах поверхностной энергии интерпретированы как поверхностные фазовые переходы.

В **шестой главе** описаны и проанализированы диффузионные эксперименты. Показано влияние поверхностных фазовых переходов на диффузионную ползучесть материалов. Предложена качественная атомистическая модель.

Научная новизна

1. Установлены фазовые превращения, происходящие на внешних и внутренних (границы зерен) поверхностях исследованных двухкомпонентных металлических систем на основе меди,

сопровождающиеся формированием жидких межзеренных слоев, либо ансамблей твердых поверхностных частиц.

2. Развита методика нулевой ползучести, которая позволяет проводить *in situ* высокотемпературные измерения в инертной или восстановительной газовой среде и напрямую определять поверхностное натяжение и коэффициент вязкости металлов.

3. Предложены механизмы диффузионной ползучести в металлических системах на основе меди. Показано, что поверхностные фазовые переходы могут, как замедлять, так и ускорять ползучесть меди.

4. Получены температурные зависимости поверхностного натяжения и коэффициента вязкости, а также рассчитана энергия активации процесса ползучести.

Практическая значимость

состоит: в полученных автором данных по поверхностной энергии твердых растворов; обнаруженных высоких скоростях ползучести твердых растворов серебра, свинца в меди со стабильной жидкой поверхностной пленкой; развитых автором методов измерения поверхностной энергии металлов. Результаты, полученные в диссертационной работе С.Н. Жевненко, могут быть использованы в ИФМ УрО РАН, ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П.Бардина», ИМЕТ РАН, ИМЕТ УрО РАН, ФГУП "ВИАМ" ГНЦ РФ, АО «Композит».

Достоверность полученных результатов

Достоверность и обоснованность полученных результатов подтверждены сходимостью параллельных опытов, воспроизводимостью разработанных методик, использованием взаимодополняющих физико-химических методов исследования состава, структуры и свойств полученных образцов. Аналитический контроль обеспечен использованием стандартных методик. Достоверность результатов инструментальных методов обеспечена использованием современных приборов.

Публикации по теме диссертации.

Результаты опубликованы в российских и зарубежных изданиях, в том числе в 8 статьях в журналах, рекомендованных ВАК, 27 статьях в журналах, входящих в наукометрические базы данных Scopus и WoS, получен 1 патент.

Замечания

1. В выводах констатируется только факт установления поверхностных фазовых переходов в исследуемых системах, однако концентрации и род этих фазовых переходов не указаны. Вопрос - при каких концентрациях

