

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

о диссертационной работе РУСАНОВА Бориса Андреевича «Влияние редкоземельных металлов на теплофизические свойства и стеклообразующую способность сплавов Al-Ni-Co-R», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния

Диссертация Бориса Андреевича Русанова «Влияние редкоземельных металлов на теплофизические свойства и стеклообразующую способность сплавов Al-Ni-Co-R» посвящена исследованию особенностей теплофизических свойств и склонности к аморфизации сплавов группы алюминий - переходный металл, легированных редкоземельными элементами: Nd, Sm, Gd, Tb, Yb. Аморфные и аморфно-нанокристаллические материалы этой группы относятся к высокопрочным и коррозионно-стойким материалам, поэтому исследование возможности расширения композиционной области создания таких структур, несомненно, *актуально*. Помимо интереса к фундаментальным проблемам формирования аморфной структуры в сплавах указанной группы, интерес вызывают и понятные перспективы использования их в качестве защитных покрытий.

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, содержащего основные выводы работы, и списка цитируемой литературы. Она изложена на 160 страницах, содержит 6 таблиц, 77 рисунков и 21 формулу. Список литературы включает 110 наименований.

Первая глава представляет собой обзор литературных данных по структуре и свойствам сплавов систем Al-Ni-Co-R (R = Nd, Sm, Gd, Tb, Yb) в кристаллическом, жидком, аморфном и нанокристаллическом состояниях и особенностях их кристаллизации. В конце главы сформулированы задачи исследования.

Вторая глава, «Методы получения и исследования сплавов Al-ПМ-РЗМ в кристаллическом, жидком и аморфном состояниях» посвящена особенностям измерений плотности и электрического сопротивления сплавов, а также методам изучения их структуры. Значительное внимание уделено принципам измерения плотности при высоких температурах, конструкции экспериментальной установки и обработке полученных данных, а также конструкции установки для измерения электрического сопротивления сплавов в жидком и кристаллическом состояниях. Исследование структуры образцов в аморфном и нанокристаллическом состоянии осуществлялось методами рентгеноструктурного анализа, просвечивающей электронной микроскопии. Авторы использовали также методы дифференциального термического анализа и

дифференциальной сканирующей калориметрии. Несомненно, важной особенностью настоящей работы является развитие методов измерения плотности материалов при высоких температурах, а также измерения электрического сопротивления в жидком и кристаллическом состояниях.

В *третьей главе* приведены результаты экспериментальных исследований плотности и электрического сопротивления сплавов $Al_{86}Ni_{8-x}Co_xR_6$ ($R = Nd, Sm, Gd, Tb, Yb$; $x = 2, 4$) в кристаллическом и жидком состояниях. Обнаружено, что температурная зависимость плотности при нагреве имеет нетипичный для алюминиевых сплавов вид. Плотность сплавов резко уменьшается при температуре солидус, в двухфазной области имеет сложный вид и скачкообразно возрастает при температуре ликвидус. Подобный результат для сплавов на основе алюминия, склонных к аморфизации, был обнаружен впервые.

В *четвертой главе* основное внимание уделено исследованиям свойств аморфных сплавов и процессов их кристаллизации, в том числе режимам подготовки расплавов перед закалкой. Показано, что процесс кристаллизации аморфных сплавов $Al_{86}Ni_{8-x}Co_xR_6$ зависит от типа редкоземельного компонента и является многостадийным.

К числу наиболее интересных моментов работы следует отнести результаты исследования изменений плотности в широком температурном интервале (300 К – 1550 К), включающем области кристаллического и жидкого состояний. Измерение плотности является одной из сложнейших задач физики конденсированного состояния. Предложенный метод измерения и разработанная установка являются несомненным шагом вперед в этом направлении.

Следует отметить, что отличительной чертой обсуждаемой работы является ее комплексный характер, заключающийся в использовании большой группы исследовательских методик, включающих методы исследования как структуры, так и физических свойств, что обеспечивает *достоверность* полученных результатов. В работе использовано самое современное исследовательское оборудование и современные методы анализа структуры и состава материалов, распределение элементов в образце. *Новизна* полученных результатов не вызывает сомнений. *Практическая значимость* работы обусловлена тем, что автором определены составы $Al_{86}Ni_{8-x}Co_xR_6$, характеризующиеся высокой термической стабильностью, что указывает на возможность их использования в качестве перспективных функциональных материалов, а полученные данные о температурных зависимостях плотности и электрического сопротивления могут служить справочными данными. Результаты диссертационной работы опубликованы в авторитетных научных журналах (например, Journal of Alloys and Compounds – журнал

первого квартиля по базе цитирования Web of Science), а также прошли апробацию в ходе докладов на профильных российских и международных конференциях, что также подтверждает их *значимость*.

Диссертационная работа Б.А.Русанова не свободна от недостатков, в качестве замечаний необходимо отметить следующее.

1. В главе 2 при описании методов измерения плотности и электрического сопротивления основное внимание уделено принципам измерений и конструкциям экспериментальных установок, и практически отсутствуют сведения о процессах измерений (последовательностях нагревов и охлаждений, количестве циклов и др). Не всегда понятно, о каком материале идет речь (жидком, аморфном или кристаллическом). Данные о воспроизводимости кривых приведены на стр. 72 для одного сплава, но не вполне понятно, являются ли они типичными. Подготовка образцов для структурных исследований также не описана, упомянуто только использование метода ионной полировки и изменение ее параметров на конечной стадии приготовления электронно-микроскопических фольг. Между тем, эти данные могут быть важными при анализе электронно-микроскопических изображений.

2. Вывод 2 к главе 2 (стр.60) «освоен метод получения аморфных металлических лент....» не может являться выводом для любой исследовательской работы (в том числе и диссертационной).

3. В выводах к главе 3 (стр. 92) первый вывод «В широком интервале температур экспериментально исследованы плотность и электрическое сопротивление сплавов Al-Ni-Co-R с различным соотношением переходных металлов» собственно выводом не является, и может рассматриваться как вступление к последующим выводам.

4. В главе 4 подпись к рисунку 37, стр. 97 (и далее в тексте) является некорректной. Согласно подписи к рисункам на них представлены дифрактограммы аморфных сплавов..... На самом деле на рисунках показаны кривые рассеяния рентгеновских лучей аморфными сплавами. В аморфных материалах нет дифракции, и речь может идти только о рассеянии, поэтому корректной подписью является «рентгенограмма аморфных сплавов.....»

5. В таблице 4.4 приведены многочисленные рентгенограммы сплавов на разных стадиях превращений. Автор анализирует фазовый состав образцов и последовательность образования разных кристаллических фаз, однако никак не отмечает первый этап растекловывания аморфной фазы – образование гетерогенной аморфной структуры с областями, обогащенными и обедненными редкоземельным компонентом. Свидетельство этого превращения – формирование асимметричного диффузного

максимума - наиболее хорошо видно на рентгенограммах сплавов с Gd и Tb. Это явление в сплавах группы алюминий - переходный металл - редкоземельный металл довольно широко изучалось отечественными и зарубежными исследователями (например, N.Mattern, Leibniz Institute for Solid State and Materials Research, Dresden). Учет этой стадии превращений мог бы внести коррективы в заключение о местах зарождения нанокристаллов алюминия и последовательности фазовых превращений.

6. В работе встречаются некоторые небрежности. Например, ссылка [25] (стр. 121), указанная как статья, в действительности представляет собой справочник по тройным фазовым диаграммам.

Отмеченные недостатки не носят принципиального характера и не влияют на достоверность и значимость полученных результатов и сделанных выводов. Автореферат и опубликованные работы достаточно полно отражают содержание диссертации.

На мой взгляд, по актуальности тематики, обоснованности выводов, новизне положений и достоверности полученных результатов диссертационная работа Б.А.Русанова «Влияние редкоземельных металлов на теплофизические свойства и стеклообразующую способность сплавов Al-Ni-Co-R» полностью отвечает критериям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук в соответствии с п. 9 Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ, - а ее автор, Русанов Борис Андреевич, безусловно, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

Главный научный сотрудник лаборатории структурных исследований
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Институт физики твердого тела имени Ю. А.Осипьяна
Российской академии наук,
доктор физико-математических наук (специальность 01.04.07 –
Физика конденсированного состояния), доцент
Абросимова Галина Евгеньевна
142432 Черноголовка Московской обл., ул. Академика Осипьяна, д. 2
Тел.: +7 496 522 8462
E-mail: gea@issp.ac.ru

7 февраля 2022 г.

Согласна на передачу персональных данных

Абросимова Галина Евгеньевна

Подпись Г.Е.Абросимовой заверяю
Ученый секретарь ИФТТ РАН
Кандидат физико-математических наук
А.Н. Терещенко

