

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Чирковой Валентины Владимировны
«Формирование нанокристаллической структуры в гетерогенных аморфных сплавах на
основе кобальта, железа и алюминия», представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – «Физика
конденсированного состояния».

Актуальность темы

Создание новых технологий невозможно без разработки и внедрения материалов с требуемым комплексом физических свойств (например, магнитных, механических и др.). Одним из многообещающих классов материалов, обладающих рядом уникальных свойств, являются аморфные металлические сплавы. При наличии внешних воздействий, например, при нагреве или пластической деформации, в аморфных сплавах происходит образование нанокристаллов, что способствует улучшению ряда свойств. Так, формирование аморфно-нанокристаллической структуры в аморфных сплавах на основе железа и кобальта приводит к улучшению некоторых магнитных свойств, а в сплавах на основе алюминия – к увеличению прочности. Состояние аморфной фазы до начала кристаллизации может сильно влиять на параметры формирующейся кристаллической структуры, от которых, в свою очередь, сильно зависят физические свойства материала. Аморфная фаза может быть как однородной, так и неоднородной (гетерогенной), и нанокристаллическая структура, сформированная в однородной и неоднородной аморфной фазе, может существенно отличаться. При исследовании формирования нанокристаллической структуры необходимо учитывать изменения, которые происходят в аморфной фазе до начала кристаллизации. Без этого становится невозможным понимание причин, приводящих к формированию той или иной структуры, и, в результате, невозможно получение материалов с различными структурными параметрами и свойствами. Поэтому исследование формирования нанокристаллической структуры в гетерогенных аморфных сплавах различного состава, и, таким образом, тема диссертации, несомненно, является **актуальной**.

Цель работы поставлена четко и заключается в исследовании механизмов формирования нанокристаллической структуры в гетерогенных аморфных сплавах с гетерогенной аморфной структурой, содержащей неоднородности химического состава и/или атомной плотности.

Для достижения этой цели потребовалось решить ряд экспериментальных задач, в частности, исследовать структуру, формирующуюся на начальных стадиях кристаллизации при термической обработке аморфных сплавов, легированных компонентами с разной кристаллической структурой, а также исследовать структуру, формирующуюся на начальных стадиях кристаллизации аморфных сплавов с предварительной деформации при последующей термообработке. Эти задачи и способы их решения достаточно подробно отражены в содержании диссертации.

Структура диссертации

Диссертация построена по традиционному принципу и состоит из введения, четырех глав, включающих литературный обзор, экспериментальную часть, обсуждение результатов и выводы, а также списка цитируемой литературы (160 наименований). Диссертация изложена на 139 страницах, содержит 55 рисунков и 1 таблицу.

Во введении сформулирована цель и задачи работы, основные положения, выносимые на защиту, обоснована актуальность исследований и представлена научная новизна. Приведены сведения о структуре и объеме работы, о ее научной и практической

значимости, о личном вкладе автора, апробации, имеется список основных публикаций автора по теме диссертационной работы.

Первая глава содержит обзор актуальных теоретических и экспериментальных данных, касающихся моделей структуры аморфных металлических сплавов и их свойств, изменений структуры аморфных сплавов, происходящих в результате внешних воздействий. Из литературного обзора логичным образом обосновывается цель и задачи диссертационной работы.

Вторая глава объединяет данные об образцах аморфных сплавов и методе их получения, применяемых методах обработки образцов, а также об используемых методах исследования образцов.

Третья глава содержит результаты исследования формирования нанокристаллической структуры в аморфных сплавах, содержащих неоднородности химического состава. Исследована кристаллизация группы сплавов на основе кобальта, легированных компонентами с различным типом кристаллической решетки (Nb, Ti), размером элементарной ячейки (Mn), растворимостью в основном компоненте сплава (Ni). Было обнаружено, что введение легирующих компонентов в аморфные сплавы на основе кобальта существенно влияет на формирование наноструктуры; параметры образующейся наноструктуры зависят от типа кристаллической решетки легирующего компонента, его концентрации, а также растворимости в основном металлическом компоненте сплава. При легировании компонентами с большой элементарной ячейкой образование нанокристаллов затруднено.

Четвертая глава содержит результаты исследования формирования нанокристаллической структуры в аморфных сплавах, содержащих неоднородности атомной плотности. Исследована кристаллизация предварительно деформированных аморфных сплавов на основе кобальта, железа и алюминия при термической обработке. Исследовано влияние покрытия из тантала на кристаллизацию при термической обработке как исходных, так и предварительно деформированных аморфных сплавов. Было обнаружено, что предварительная деформация оказывает заметное влияние на формирование наноструктуры в аморфных сплавах при последующей термообработке; предварительная деформация способствует образованию большей доли нанокристаллов, увеличение степени деформации приводит к увеличению доли нанокристаллов, а нанесение покрытия с большей энергией образования вакансий по сравнению с энергией способствует увеличению доли нанокристаллов.

В заключении сформулированы основные результаты, полученные в диссертации.

Научная новизна диссертационной работы Чирковой Валентины Владимировны заключается в следующем:

- на основе полученных экспериментальных данных впервые проанализирован механизм образования нанокристаллов в гетерогенной аморфной фазе, базирующийся на родстве ближнего порядка в упорядоченных областях гетерогенной аморфной фазы и структуры первичной фазы, образующейся на начальной стадии кристаллизации;
- установлено влияние структуры легирующих компонентов (Fe, Nb, Mn – ОЦК, Ti – ГПУ, Ni – ГЦК) на кристаллизацию аморфных сплавов на основе кобальта (система Co-Si-B); изучена возможность образования нанокристаллов с кристаллической решеткой, родственной решетке легирующего компонента;
- определена зависимость параметров формирующейся кристаллической структуры (фазовый состав, доля и размер нанокристаллов) от типа кристаллической решетки легирующего компонента;

- исследовано влияние предварительной деформации на образование нанокристаллов при последующей термообработке и установлена зависимость доли формирующейся кристаллической фазы от степени деформации сплавов с разными упругими характеристиками (аморфные сплавы систем Co-Si-B-Fe-Nb, Al-Ni-Gd);
- определена роль покрытия (Ta) в процессах образования нанокристаллов в исходных и деформированных аморфных сплавах (аморфные сплавы систем Co-B-Fe-Nb, Fe-Si-B, Al-Ni-Gd).

Диссертация Чирковой В.В. является завершенным оригинальным научным исследованием, выполненным на высоком научном уровне, содержит новые экспериментальные результаты и обладает единой и цельной тематикой. Результаты, изложенные в диссертации Чирковой В.В., получены впервые и дают сведения о механизмах формирования нанокристаллической структуры в аморфных сплавах. Поэтому их новизна не вызывает сомнений, а научная и практическая значимость очевидна. Основные результаты диссертации опубликованы в 7 печатных работах, входящих в перечень ВАК.

К диссертационной работе возникли следующие вопросы и замечания

1. В главе 3 «Формирование нанокристаллической структуры в аморфной фазе с неоднородностями химического состава. Влияние легирующих компонентов» представлены результаты исследования кристаллизации аморфных сплавов на основе кобальта и в, частности, образования метастабильной фазы с ОЦК решеткой, при этом сказано, что ОЦК фаза представляет собой твердый раствор компонентов сплава в решетке, но не приведен химический состав. Проводилось ли определение химического состава такой фазы?
2. В диссертации (Глава 4, раздел 4.2.2) присутствуют рассуждения о появившемся плече на рентгенограммах. Поскольку в работе представлены рентгенограммы сплавов только после различных видов обработок (ультразвуковая обработка, прокатка, термическая обработка), об этом трудно судить без представления данных структуры исходно аморфных сплавов. Отсутствуют также электронно-микроскопические изображения структуры исходно аморфных сплавов.
3. В главе 4 «Формирование нанокристаллической структуры в аморфной фазе с неоднородностями атомной плотности. Влияние деформации» представлено электронно-микроскопическое изображение части образца с нанесенным покрытием из тантала. Является ли такое покрытие типичным для всех сплавов, исследуемых в данной работе?
4. В изложении работы присутствует противоречие. Например, в главе 4 (раздел 4.1.1) сказано, что «размер нанокристаллов в образце без защитного покрытия составляет 7 нм, а в образце с защитным покрытием из тантала он был несколько больше – 7.5 нм». Уже в разделе 4.2.2 сказано, что «Средний размер нанокристаллов составляет 8 нм. При увеличении продолжительности ультразвукового воздействия до 4.5 часов средний размер нанокристаллов практически не меняется (изменение находится в пределах ошибки) и составляет около 9 нм». К сожалению, не указана точность определения среднего размера нанокристаллов.

Указанные вопросы и замечания имеют уточняющий характер. Они не имеют принципиального значения и не снижают общей высокой оценки работы.

Заключение

Диссертационная работа Чирковой Валентины Владимировны представляет собой законченное научное исследование и содержит важные научные результаты. Полученные данные важны с точки зрения развития путей формирования нанокристаллической структуры в аморфных сплавах, а также с точки зрения разработки новых функциональных материалов с выдающимися физико-химическими свойствами. Автореферат и опубликованные работы достаточно полно и верно отражают основное содержание диссертации.

Диссертационная работа Чирковой Валентины Владимировны полностью соответствует всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук согласно «Положению о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года №842. На основании изложенного считаю, что автор работы, Чиркова Валентина Владимировна, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – «Физика конденсированного состояния».

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук по специальности 1.3.8 – «Физика конденсированного состояния», старший научный сотрудник Курчатовского комплекса кристаллографии и фотоники Федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»

16 сентября 2025 г.

Бузмаков Алексей Владимирович

Согласен на обработку персональных данных.

Подпись Бузмакова А.В. заверяю

Заместитель директора – главный ученый секретарь



О.А. Алексеева

Контактная информация:

Почтовый адрес: 119333 г. Москва, Ленинский проспект, д. 59

Телефон: +7 903 015-06-18

Адрес электронной почты: buzmakov@gmail.com