

УТВЕРЖДАЮ

Ректор ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»  
доктор физико-математических наук,  
профессор В. Беспалова



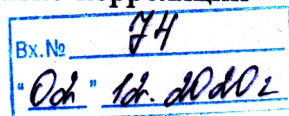
### ОТЗЫВ

ведущей организации о диссертации Свиридовой Екатерины Антоновны на тему: «Эволюция структуры и свойств сплавов на основе алюминия и железа в аморфном и нанокompозитном состояниях в процессе нагрева», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 - физика конденсированного состояния.

#### Актуальность для науки и практики

Актуальность темы диссертации определяется тем, что развитие современных технологий опирается на разработку принципов получения новых материалов, которые базируются на знаниях фундаментальных основ процессов, обуславливающих формирование того или иного материала, а также корреляции структуры и определяемых ею физико-химических свойств. Прогресс в создании новых материалов с заданными свойствами (механическими, электрическими, магнитными) зависит от уровня понимания процессов, лежащих в основе формирования определенной структуры. Открытие и разработка новых материалов определяет и новые физические свойства, что, в свою очередь, приводит к созданию новых приборов и устройств. К таким новым материалам, несомненно, относятся металлические стекла и формирующиеся на их основе нанокристаллические сплавы. Интерес к металлическим стеклам обусловлен как их необычной структурой, совершенно нетипичной для сплавов, так и целым комплексом выдающихся физико-химических свойств.

Большинство физических свойств твердых тел являются структурно-чувствительными. Частично закристаллизованные металлические стекла (своеобразные композиты, состоящие из аморфной и кристаллических фаз) также обладают рядом очень хороших свойств, отличающихся от свойств и аморфных и кристаллических материалов. Важно отметить, что аморфное состояние для металлических стекол является состоянием нестабильным, при нагреве или вылеживании в них может происходить распад аморфной фазы с естественной деградацией свойств. Поэтому и с точки зрения фундаментальной науки, и с точки зрения перспективы промышленного использования новых материалов чрезвычайно важно исследование как собственно структуры аморфной фазы в металлических сплавах, так и ее стабильности, перехода в частично-кристаллическое или полностью кристаллическое состояние, а также корреляции



структуры и свойств материала.

В работе Свиридовой Е.А. приведен обзор литературы по теме диссертации, касающийся структуры и свойств металлических стекол, а также наночастиц композитов, полученных на их основе. Рассмотрены основные механизмы кристаллизации металлических стекол и теоретические модели, описывающие данные процессы. Подробно описаны экспериментальные методы, использованные в работе, и обоснован выбор объектов исследования.

Основное внимание в работе уделено как экспериментальному исследованию механизмов термически индуцированного охрупчивания ряда аморфных металлических стекол на основе алюминия, установлению связи между структурными параметрами металлических стекол при температурах начала кристаллизации и пороговыми значениями эффективных коэффициентов диффузии, так и их анализа в рамках теоретических моделей.

Еще одной важной частью работы является исследование кинетики и механизмов второй стадии кристаллизации в аморфных сплавах  $Al_{90}Y_{10}$ ,  $Al_{87}Ni_2Gd_5$ ,  $Al_{86}Ni_6Co_2Gd_6$  и установление связи между термической устойчивостью нанокompозитных структур и механизмами их распада.

Выводы диссертационной работы отражают важнейшие факторы, определяющие термическую устойчивость структуры и изменений механических свойств сплавов на основе алюминия и железа в аморфном и нанокompозитном состояниях.

### **Основные научные результаты и их значимость для науки и производства**

1. Для группы металлических стекол на основе алюминия установлена эмпирическая корреляция между температурой нагрева, при которой структурные изменения приводят к потере пластичности, и отношением средневзвешенных значений модуля сдвига к объемному модулю упругости, рассчитанных по номинальному составу аморфных сплавов.
2. Экспериментально показано, что процессом структурной релаксации, приводящим к потере пластичности металлических стекол на основе алюминия, является снижение концентрации свободного объема в аморфной фазе.
3. Показано, что доля закристаллизованного объема при температурах начала кристаллизации МС зависит от механизма процесса и различна в сплавах, кристаллизующихся по первичному и эвтектическому механизмам.
4. Установлено, что при температурах начала кристаллизации металлических стекол значения эффективных коэффициентов диффузии, контролирующей зарождение и рост кристаллов, лежат в диапазоне  $10^{-18}$ – $10^{-20}$  м<sup>2</sup>/с и зависят от механизма превращения и вклада процесса зарождения.
5. Получены соотношения, связывающие пороговые значения эффективных коэффициентов диффузии и объемную плотность кристаллов при температурах начала кристаллизации металлических стекол, кристаллизующихся по различным механизмам, и установлено определяющее влияние эффективных коэффициентов диффузии на термическую устойчивость стекол и их структурные параметры на начальных стадиях кристаллизации.

6. Показано, что температурные диапазоны существования нанокompозитных структур в металлических стеклах на основе алюминия и энергии активации их распада коррелируют друг с другом и существенно выше в сплавах, в которых вторые стадии кристаллизации являются завершающими и включают в себя процессы зарождения.

Полученные в работе результаты расширяют существующие представления о факторах, контролирующих термическую устойчивость структуры и свойств металлических стекол и формирующихся в них нанокompозитов. Это открывает новые подходы как в фундаментальных исследованиях процессов структурной релаксации и неравновесной кристаллизации, так в прогнозировании уровней термической устойчивости, структуры и свойств новых металлических стекол и нанокompозитов. Более того, полученные результаты применимы к широкому кругу аморфных металлических стекол и могут быть использованы для разработки новых как аморфных, так и нанокompозитных материалов с повышенными уровнями физических свойств и термической устойчивости при различных режимах термического воздействия. Это позволит расширить область практического применения сплавов на основе алюминия с аморфной и нанокompозитной структурой в качестве конструкционных материалов, пригодных для изготовления деталей, способных сохранять высокий уровень прочности при повышенных температурах, или для использования в качестве упрочняющих компонентов в композитных материалах с пластичной матрицей.

#### **Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации.**

1. Полученные результаты являются интересными в промышленном плане, т.к. позволяют предопределять параметры структуры, которая может быть сформирована путем направленного воздействия на металлические стекла.
2. Результаты работы применимы к широкому кругу аморфных металлических стекол и могут быть использованы для разработки новых как аморфных, так и нанокompозитных материалов с повышенными уровнями физических свойств и термической устойчивости, что позволит расширить область практического применения таких сплавов в качестве высокопрочных конструкционных материалов.
3. Результаты данных исследований могут быть использованы в научных организациях, занимающихся изучением металлических сплавов с неравновесными структурами, и в лекционных курсах учреждений высшего профессионального образования.

Считаем целесообразным продолжить экспериментальные исследования кинетики, температурной устойчивости и особенностей механизмов процессов структурной релаксации и кристаллизации аморфных металлических стекол, т.к. эти результаты важны для глубокого понимания фундаментальных закономерностей эволюции структуры в неравновесных системах. Кроме того, это позволит расширить представления как о последовательности фазовых превращений в неравновесных системах, так и о процессах структурной перестройки, происходящих в металлических стеклах, что, в свою очередь, откроет новые возможности применения металлических стекол и частично-кристаллических материалов.

### Общие замечания

1. В подразделе 2.1 «Выбор объектов исследования» представлено обоснование выбора составов группы сплавов  $Al_{88-86}(Ni, Co, Fe)_{6-8}(Y, Gd, Nd, La)_{5-6}$  для решения конкретных задач исследования, однако не указана причина выбора именно этой группы.
2. Как указано в подразделе 2.2 толщины быстроохлажденных лент сплавов на основе алюминия лежат в диапазоне 20–60 мкм. Было бы желательно привести литературные оценки диапазона скоростей охлаждения для лент в приведенном диапазоне толщин и указать, учитывалось ли влияние термической предыстории на термическую устойчивость и кинетику процесса нанокристаллизации.
3. Обсуждение связи пороговых значений  $D_{eff}$  и вклада процесса зарождения было бы нагляднее, если бы значения плотности кристаллитов в закристаллизованных образцах были бы приведены в табл. 4.1.
4. В диссертационной работе приводятся результаты экспериментального исследования процессов структурной релаксации и кристаллизации металлических стекол на основе Al и Fe, изменений их структуры и механических свойств, термической устойчивости структуры и свойств сплавов в аморфном и нанокompозитном состояниях. Существенным дополнением к работе могло бы быть рассмотрение изменений не только механических, но и магнитных свойств аморфных лент. Интересным также являлось бы рассмотрение влияния добавок переходных и редкоземельных металлов на магнитные свойства и термическую стабильность аморфных лент.
5. Следует отметить некоторые неточности к оформлению работы, например:
  - рис.2.1 носит качественный характер, желательно указать погрешность;
  - в табл. 3.1 не указаны погрешности определения характеристических температур;
  - для характеристики скорости нагрева желательно использовать по всему тексту единую размерность К/с;
  - на стр. 95 приводится ссылка не на рис. 4.8, а на 4.11.

Результаты работы полностью и своевременно опубликованы в рецензируемых научных журналах, прошли апробацию в форме докладов и обсуждений на международных конференциях и семинарах. Автореферат правильно и полностью отражает содержание диссертации.

### Заключение

Все изложенное выше позволяет сделать вывод о том, что диссертационная работа Свиридовой Е.А. «Эволюция структуры и свойств сплавов на основе алюминия и железа в аморфном и нанокompозитном состояниях в процессе нагрева» представляет собой завершённую научно-исследовательскую работу, на актуальную тему. Новые научные результаты, полученные диссертантом, имеют существенное значение для науки в исследовании фундаментальных закономерностей эволюции структуры в неравновесных системах. Выводы и рекомендации достаточно обоснованы.

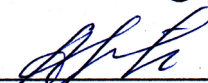
Профиль диссертации соответствует паспорту специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния, а сама работа по научному уровню, значению и достоверности новых результатов удовлетворяет требованиям ВАК

при Министерстве образования и науки ДНР, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Работа отвечает требованиям п.2.2 Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Свиридова Екатерина Антоновна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

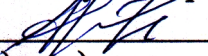
Отзыв обсужден и одобрен на заседании семинара кафедры общей физики и дидактики физики физико-технического факультета Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Донецкий национальный университет» (ГОУ ВПО ДонНУ) «19» ноября 2020 г., протокол № 8.

Кандидат физико-математических наук, зав. кафедрой  
«Общей физики и дидактики физики»  
Государственного образовательного  
учреждения высшего профессионального  
образования «Донецкий национальный  
университет» (ГОУ ВПО ДонНУ),  
283001, ДНР, г. Донецк, ул. Университетская, 24  
Телефон: 0713350561  
E-mail: a.bezus@donnu.ru

  
\_\_\_\_\_  
(подпись)

Безус Алексей Викторович

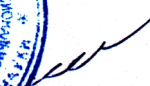
Я, Безус Алексей Викторович, полностью согласен на автоматизированную обработку персональных данных, приведенных в этом документе

  
\_\_\_\_\_  
(подпись)

Подпись Безус Алексея Викторовича заверено

Ученый секретарь  
ГОУ ВПО «Донецкий национальный  
университет»  
к.ф.н.



  
\_\_\_\_\_  
М.Н. Михальченко