

## ОТЗЫВ

на диссертационную работу  
Пермяковой Инги Евгеньевны

«Эволюция структуры, свойства аморфных сплавов и аморфно-нанокристаллических композитных материалов при внешних воздействиях», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния

Работа посвящена установлению физических закономерностей формирования свойств, структурных превращений в аморфных сплавах (АС) при внешних воздействиях (термическая обработка, лазерное облучение, КВД) и разработке принципов создания аморфно-нанокристаллических композитов (АНК) с улучшенным комплексом физико-механических характеристик.

Возможность получения при определённых режимах и параметрах интенсивной пластической деформации (ИПД) структуры, способной обеспечить одновременно как высокую прочность, так и хорошую пластичность, делает развитие такой стратегии повышения механических свойств и разработку физико-механических принципов наноструктурирования чрезвычайно важными и интересными для последующего успешного внедрения полученных наноматериалов и аморфно-нанокристаллических композитов для конструкционных и функциональных применений. Глубокое понимание фундаментальных аспектов, управляющих структурными преобразованиями при КВД (формирование фаз *in situ*, переходы «кристалл ↔ аморфное состояние»), требуется для лучшего контроля над гибридными структурами. В связи с этим, актуальность и своевременность представленного в диссертационной работе исследования, не вызывает сомнений.

Диссертантом получен целый ряд научно-значимых и имеющих практические применения результатов.

- Выявлены закономерности эффектов охрупчивания, упрочнения, пластификации в АС на основе переходных металлов при отжиге и их взаимосвязь с химическим составом и особенностями структурных превращений при переходе из аморфного в нанокристаллическое состояние.

- Установлены на основе ПЭМ-исследований механизмы взаимодействия полос сдвига с нанокристаллическими частицами в АНК, полученных при термической обработке аморфных сплавов, и размерный эффект их реализации.

- Выявлены закономерности формирования микрокартин пластической деформации и трещинообразования АС, подвергнутых отжигу в широком интервале температур, при индентировании на эластичной подложке.

- Проведено численное моделирование температурных полей в быстроокалённых лентах АС систем Co-Fe-Cr-Si-B, Fe-Ni-B, Ti-Ni-Cu при облучении эксимерным УФ лазером.

- Выявлены морфологические особенности модификации поверхности, закономерности эволюции структуры и отклик свойств после импульсной лазерной

обработки АС в соответствии с выбранными параметрами облучения и вариантами пространственного распределения зон лазерного воздействия.

- Обнаружен эффект неоднородного травления быстрозакалённых лент  $\text{Co}_{70.5}\text{Fe}_{0.5}\text{Cr}_4\text{Si}_7\text{B}_{18}$  с учётом рассмотренной связи дефектов атомного уровня локализации с неоднородной пластической деформацией. Интенсивное химическое травление сильнолокализованных полос сдвига обусловлено сегрегацией атомов металлоидов (бора и кремния) на неконтактной поверхности ленты.

- На основе полученных экспериментальных данных по трансформации структуры АС  $\text{Co}_{70.5}\text{Fe}_{0.5}\text{Cr}_4\text{Si}_7\text{B}_{18}$ , подвергнутого КВД в камере Бриджмена, проведён сравнительный анализ степени проявления и природы эффектов упрочнения, изменения коррозионной стойкости и магнитных характеристик АС  $\text{Co}_{70.5}\text{Fe}_{0.5}\text{Cr}_4\text{Si}_7\text{B}_{18}$  при различных видах внешнего воздействия (КВД, отжиг, лазерное облучение) в сопоставлении со структурными превращениями.

- С помощью времяпролётной масс-спектрометрии, РСА и ПЭМ-исследований результаты обнаружен синергичный эффект упрочнения (твёрдость композита выше твёрдости его отдельных составляющих) многослойных АНК, консолидированных из разных АС ( $\text{Fe}_{53.9}\text{Ni}_{26.5}\text{B}_{20.2}$  и  $\text{Co}_{28.2}\text{Fe}_{38.9}\text{Cr}_{15.4}\text{Si}_{0.3}\text{B}_{17.2}$ ) в процессе КВД, при трёхстадийной эволюции их структуры.

- Методами ПЭМ высокого разрешения и РСА обнаружено явление аморфизации после КВД в приграничных областях межфазных границ в наноламинатах  $\text{Cu-Nb}$  и их существенное упрочнение в процессе КВД (тремякратное увеличение микротвёрдости):  $\text{HV}_{\text{Init}} = 2.28$  ГПа до обработки ( $N = 0$ ),  $\text{HV}_{\text{SPD}} = 6.84$  ГПа (после  $N = 4$  оборотов).

- Разработаны методические подходы и режимы получения АНК с улучшенными свойствами, основанные на возможности создания уникальных структурных состояний путём экстремальных внешних воздействий на твёрдое тело (закалка из расплава, отжиг, большие пластические деформации, лазерного облучения).

Степень обоснованности научных положений и достоверности полученных результатов не вызывает сомнений, поскольку определяется всесторонним анализом выполненных ранее работ на тему исследования, использованием современных методов исследования, применением сертифицированного аналитического и прецизионного научно-исследовательского оборудования, проведением статистической обработки экспериментальных данных, воспроизводимостью и апробацией результатов исследований. Предложенные решения научной проблемы, выводы не противоречат известным положениям и принципам физики конденсированного состояния и материаловедения

Считаем, что работа «Эволюция структуры, свойства аморфных сплавов и аморфно-нанокристаллических композитных материалов при внешних воздействиях» является законченным научным исследованием, выполнена на актуальную тему и содержит новые результаты. По содержанию и объёму

исследований, новизне, научной и практической значимости диссертационная работа соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г. (в редакции от 18.03.2023 № 415). Автор работы – Пермякова Инга Евгеньевна заслуживает присуждения степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния.

Дата: 02.08.2023 г.

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Томский государственный архитектурно-  
строительный университет»**

Заведующий кафедрой физики, химии и теоретической механики,  
доктор физико-математических наук

Соловьева Юлия Владимировна

Старший научный сотрудник лаборатории «Наноматериалы и нанотехнологии»,  
кандидат физико-математических наук

Черепанов Дмитрий Николаевич

Адрес организации: 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования «Томский государственный  
архитектурно-строительный университет»  
Тел: +7(3822) 65-39-30,  
E-mail: [rector@tsuab.ru](mailto:rector@tsuab.ru)

На обработку персональных данных согласны.

Подписи Ю.В. Соловьевой и Д.Н. Черепанова заверяю  
Проректор по научной работе ФГБОУ ВО ТГАСУ

Д.Т.Н.



С. В. Ефименко