

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ЭКСПЕРТНОЙ КОМИССИИ

по защите диссертации Пархоменко Марка Сергеевича на тему «Эволюция структуры и свойств металлических стекол на основе циркония при интенсивной пластической деформации», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1. – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов», и состоявшейся в НИТУ МИСИС 27 июня 2025 года.

Диссертация принята к защите Диссертационным советом НИТУ МИСИС 14.04.2025, протокол № 28.

Диссертация выполнена на кафедре металловедения цветных металлов НИТУ МИСИС. Научный руководитель – Базлов Андрей Игоревич, кандидат технических наук, доцент кафедры металловедения цветных металлов НИТУ МИСИС.

Экспертная комиссия утверждена Диссертационным советом НИТУ МИСИС (протокол № 28 от 14.04.2025) в следующем составе:

- 1) Дубинский Сергей Михайлович - д.ф.-м.н., доцент кафедры обработки металлов давлением НИТУ МИСИС- председатель комиссии;
- 2) Беломытцев Михаил Юрьевич - д.т.н., профессор кафедры металловедения и физики прочности НИТУ МИСИС;
- 3) Ховайло Владимир Васильевич - д.ф.-м.н., профессор кафедры функциональных нано-систем и высокотемпературных материалов НИТУ МИСИС;
- 4) Сундеев Роман Вячеславович - д.ф.-м.н., профессор кафедры нанoeлектроники федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет»;
- 5) Рубаник Василий Васильевич - д.т.н., заведующий лабораторией физики металлов Института технической акустики НАН Беларуси;

В качестве ведущей организации утверждено федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики твердого тела имени Ю.А. Осипьяна РАН.

Экспертная комиссия отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- Показано, что компоненты интенсивной пластической деформации кручением (осадка и кручение) оказывают различный эффект на атомную структуру металлических стекол (МС). Осадка индуцирует появление высокой плотности полос сдвига, и как следствие, большего свободного объема, что ускоряет диффузию. Кручение индуцирует рост нанокристаллов, за счет нагрева вследствие трения бойков пресса о материал.

- Показано, что интенсивная деформация кручением (ИПДК) скачкообразно повышает микротвердость исследуемых сплавов на 10 %.

- Показано, что интенсивная пластическая деформация кручением сплава $Zr_{42,5}Cu_{42,5}Al_{10}Fe_5$ приводит к формированию в аморфной матрице нанокристаллов, при последующем нагреве наблюдается их рост без формирования новых зародышей кристаллических фаз, которые создают поля упругих напряжений в аморфной матрице.

- Установлено, что в сплаве $Zr_{62,5}Cu_{22,5}Al_{10}Fe_5$ при нагреве из переохлажденной жидкости кристаллизуются фазы $CuZr$ и $CuZr_2$ в результате эвтектической реакции, а обработка ИПДК до 0,5+2 оборотов приводит к последовательной кристаллизации фаз β -Zr и $CuZr$. При дальнейшем повышении температуры кристаллизация завершается в обоих случаях формированием фазы Zr_6FeAl_2 . Увеличение степени деформации при ИПДК 0,5+5

оборотов и аккумулирующей ИПДК (АК-ИПДК), приводит к кристаллизации стабильных фаз CuZr_2 , Zr_6FeAl_2 , Al_2Zr_3 за счет низкотемпературного эвтектического превращения.

Теоретическая значимость работы заключается в следующем:

- показано, что интенсивная пластическая деформация кручением с увеличением количества оборотов наковальни влияет на микроструктуру исследуемых сплавов системы Zr-Cu-Al-Fe в три этапа: 1 - разделение исходной аморфной матрицы на области бедные и богатые медью/цирконием, 2 - происходит образование нанокристаллов в этих областях, 3 - рост существующих кристаллов и продолжающийся распад остаточной аморфной матрицы на области с различным соотношением циркония и меди;

- продемонстрировано, что нанокристаллизация увеличивает микротвердость, в то время как фазовое расслоение не оказывает существенного влияния на микротвердость;

- продемонстрировано изменение процесса кристаллизации сплавов после деформации – после интенсивной пластической деформации на 5 оборотов наковальни, а так же, при дальнейшем увеличении степени деформации путем применения аккумулирующей ИПДК сплав $\text{Zr}_{62,5}\text{Cu}_{22,5}\text{Al}_{10}\text{Fe}_5$ из аморфной матрицы кристаллизуются стабильные фазы, минуя кристаллизацию через метастабильные фазы.

Практическая значимость заключается в следующем:

- показана возможность получения при помощи ИПДК объемного материала из аморфных лент систем Zr-Cu-Al-Fe и Zr-Cu , а именно, возможность сохранения аморфного состояния сплавов с низкой стеклообразующей способностью ($\text{Zr}_{42,5}\text{Cu}_{42,5}\text{Al}_{10}\text{Fe}_5$ и $\text{Zr}_{73}\text{Cu}_{27}$) и высокой стеклообразующей способностью ($\text{Zr}_{62,5}\text{Cu}_{22,5}\text{Al}_{10}\text{Fe}_5$) в виде объемных МС, а также, возможность влияния на микроструктуру, температуры фазовых переходов и механические свойства данных материалов;

- определены механизмы влияния ИПДК и АК-ИПДК на микроструктуру МС на основе циркония, показана взаимосвязь между структурными изменениями при деформации и изменением процессов кристаллизации сплава при нагреве, благодаря чему возможно воздействовать на микроструктуру МС, тем самым, регулируя механические свойства;

- продемонстрировано, что интенсивная пластическая деформация индуцирует появление в структуре областей химической неоднородности, с последующим образованием в данных областях нанокристаллов размером 2-5 нм, что существенно повышает микротвердость. В сплаве $\text{Zr}_{42,5}\text{Cu}_{42,5}\text{Al}_{10}\text{Fe}_5$ применение ИПДК на 0,5 оборотов наковальни обеспечивает скачкообразное повышение микротвердости с 555 ± 14 до 616 ± 24 HV0,1. В сплаве $\text{Zr}_{62,5}\text{Cu}_{22,5}\text{Al}_{10}\text{Fe}_5$ ИПДК 0,5+2 оборота наковальни обеспечивает скачкообразное повышение микротвердости с 436 ± 11 до 484 ± 11 HV0,1.

Личный вклад соискателя состоит в:

выборе объектов исследования, концептуализации исследования, проведения экспериментов, анализе полученных данных, установлении закономерностей и формулировании выводов. Совместно с научным руководителем диссертант оформлял полученные результаты исследований в виде научных публикаций и докладов на конференциях, совместно с научным руководителем участвовал в формулировании научной новизны и практической значимости, а также финализировал выводы диссертационной работы.

Результаты исследования опубликованы в 13 печатных работах, из которых 5 работ в рецензируемых научных изданиях, рекомендуемых ВАК Минобрнауки РФ.

Пункт 2.6 Положения о присуждении ученой степени кандидата наук не нарушен.

Диссертация Пархоменко Марка Сергеевича полностью соответствует критериям п.2 положения о присуждении ученых степеней НИТУ МИСИС. Она является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основе экспериментального изучения выявлены закономерности изменения структуры и свойств аморфных сплавов системы Zr-Cu-Al-Fe с различной стеклообразующей способностью.

Содержание диссертационной работы соответствует положению о порядке присуждения ученых степеней в НИТУ МИСИС и квалификационным требованиям пункта 5 паспорта специальности 2.6.1 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»: Теоретические и экспериментальные исследования механизмов деформации, влияния фазового состава и структуры на зарождение и распространение трещин при различных видах внешних воздействий, их моделирование и прогнозирование.

Экспертная комиссия приняла решение о возможности присуждения Пархоменко Марку Сергеевичу ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Результаты голосования: при проведении тайного голосования экспертная комиссия в составе 5 человек, участвовавших в заседании, из 5 человек, входящих в состав комиссии, проголосовала: за – 4 чел.; против - 1 чел.; воздержались - 0 чел.

Председатель Экспертной комиссии



Дубинский С.М.

27.06.2025 г.