

## О Т З Ы В

на автореферат диссертации Пархоменко Марка Сергеевича  
«Эволюция структуры и свойств металлических стёкол на основе циркония  
при интенсивной пластической деформации», представленной на соискание  
учёной степени кандидата технических наук по специальности  
2.6.1 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»

С момента получения в 1960-х годах первых металлических стекол (МС) и по сей день этот материал постоянно привлекает большой интерес учёных, работающих в областях металловедения и физики конденсированных сред. Благодаря структурному разупорядочению МС обладают многочисленными превосходными характеристиками – улучшенными механическими, магнитными, химическими свойствами и биосовместимостью. Тем не менее, крайне плохая пластичность при растяжении, возникающая из-за локализованной деформации внутри полос сдвига, считается «ахиллесовой пятой» МС и ограничивает их широкое применение. Поэтому значительные усилия направлены на преодоление этой проблемы с помощью термической обработки, ионного, лазерного облучения и т.д. К сожалению, эти методы постобработки имеют свои недостатки, например: слишком сложно избежать кристаллизации при высоких температурах при обычном и лазерном отжиге; ионное облучение влияет только на поверхность образцов. В настоящее время для улучшения пластичности МС перспективными является методики, использующие потенциал больших пластических деформаций: аккумулярующая прокатка, кручение под высоким давлением. В связи с этим, представленная диссертационная работа весьма актуальна, поскольку посвящена установлению закономерностей влияния интенсивной пластической деформации на микроструктуру и свойства как объемных, так и ленточных МС на основе циркония.

В работе детализировано, с привлечением обширного арсенала современного экспериментального оборудования и программного обеспечения изучены особенности структурно-фазовых превращений МС  $Zr_{42.5}Cu_{42.5}Al_{10}Fe_5$ ,  $Zr_{62.5}Cu_{22.5}Al_{10}Fe_5$ ,  $Zr_{73}Cu_{27}$  при интенсивной пластической деформации кручением (ИПДК) и аккумулярующей интенсивной пластической деформации кручением (АК-ИПДК). Установлено влияние режимов этих обработок на характеристические температуры (например,  $T_g$ ,  $T_{crys}$ ) и процессы термической кристаллизации исследованных МС. Показано, что изменения в структуре МС  $Zr_{42.5}Cu_{42.5}Al_{10}Fe_5$ ,  $Zr_{62.5}Cu_{22.5}Al_{10}Fe_5$  при ИПДК приводят к увеличению микротвёрдости на 10%. Для данных составов МС установлены три этапа эволюции структуры при ИПДК: I – разделение исходной аморфной матрицы на области бедные и богатые Cu/Zr; II – формирование нанокристаллов в данных областях; III – рост кристаллов и дальнейший распад аморфного состояния на области с различным соотношением Cu/Zr. Доказано, что применение ИПДК изменяет процесс кристаллизации сплава  $Zr_{73}Cu_{27}$  – деформация, проходящая путём зарождения и распространения полос сдвига, создаёт области химической неоднородности, что приводит к формированию при нагреве эвтектической смеси  $\beta$ -Zr + CuZr<sub>2</sub>, в то время как кристаллизованная лента имеет фазовый состав  $\alpha$ -Zr + CuZr<sub>2</sub>.

Работа имеет как научную, так и практическую значимость. Полученные результаты дополняют накопленные знания в области физики аморфного и аморфно-кристаллического состояния МС, способствуют лучшему пониманию процессов, протекающих в них при больших пластических деформациях. А это, в свою очередь, позволит в будущем более осознанно управлять структурой и свойствами МС на основе циркония, с целью расширению их внедрения в различных инженерных приложениях.

Результаты хорошо апробированы на российских, международных конференциях и опубликованы в 13 печатных работах, из них 5 – в высокорейтинговых журналах, входящих в реферативные базы WoS и Scopus.

Текст автореферата изложен последовательно, хорошо структурирован и содержит достаточное количество иллюстративного материала, отражающего суть исследований. Сформулированные выводы логично вытекают из содержаний работы и хорошо обоснованы.

Тем не менее, по автореферату можно сделать следующие замечания:

1. Автор, увы, не провёл должного изучения свойств МС в комплексе (например, механических, электрохимических и т.д.), а оценил лишь одну микротвёрдость. Можно было провести испытания на изгиб, растяжение для определения прочности, пластичности, трещиностойкости материала, а не ограничиваться микроиндентированием. Таким образом, название диссертации «Эволюция структуры и СВОЙСТВ...», на мой взгляд, слишком общее и вводит в некоторое заблуждение по поводу исследования именно свойств МС.
2. При работе с выбранными областями на ПЭМ-изображениях структуры высокого разрешения (в частности, на рис. 3,4,6,7,12 автореферата) следовало осуществить быстрое преобразование Фурье (FFT) для подтверждения их аморфности или кристалличности. Получение FFT от кристаллических и аморфных областей является тривиальной задачей, а их включение даёт много преимуществ при минимальных усилиях.

Сделанные замечания не ставят под сомнение достоверность и научную значимость результатов и выводов и не снижают положительную оценку представленной работы.

Диссертационная работа Пархоменко М.С. является законченным квалификационным научным исследованием, соответствует всем требованиям Положения о порядке присуждения учёных степеней в НИТУ МИСИС, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Считаю, что, автор Марк Сергеевич Пархоменко заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Пермякова Инга Евгеньевна

доктор физико-математических наук  
(специальность 1.3.8 – Физика конденсированного состояния),  
ведущий научный сотрудник  
лаборатории физикохимии и механики металлических материалов

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН  
(ИМЕТ РАН)

Адрес: 119334, г. Москва, Ленинский проспект, 49

Раб. тел.: +7(499)135-44-14

E-mail: inga\_perm@mail.ru

Я, Пермякова Инга Евгеньевна, даю согласие на обработку моих персональных данных и включение их в аттестационное дело М.С. Пархоменко

« 10 » июня 2025 г.

Подпись Пермяковой Инги Евгеньевны заверяю

Учёный секретарь ИМЕТ РАН,  
кандидат технических наук

МП



Фомина Ольга Николаевна