

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Макарова Андрея Сергеевича «Диаупругий эффект и термодинамика релаксационных явлений в металлических стеклах», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния

Диссертация Макарова А.С. посвящена исследованию физической природы релаксационных явлений в металлических стеклах и их связи с термодинамическими свойствами кристаллического, жидкого и стеклообразного состояний. **Актуальность темы** обусловлена несколькими факторами как фундаментального, так и прикладного характера. Во-первых, металлические стекла обладают уникальным комплексом механических свойств, что делает их привлекательными для конструкционного применения. Однако их широкое внедрение сдерживается рядом проблем, среди которых следует выделить локализацию пластической деформации в полосах сдвига, практически не затрагивающую основную часть аморфной матрицы, а также сложности получения массивных образцов аморфных сплавов без кристаллизации. Во-вторых, современные стратегии преодоления ряда ограничений практического использования связаны с восстановлением свойств металлических стекол при переводе стекла в состояние с повышенным структурным беспорядком, а также с получением наноструктурированных металлических стекол. В этом контексте понимание термодинамики релаксационных процессов и их связи с дефектной структурой является весьма важным для разработки управляемых методов восстановления.

В представленной работе А.С. Макаровым предлагается новый подход к решению проблемы выявления и количественного описания связи между релаксациями физических свойств металлических стекол. В отличие от широко используемых феноменологических моделей, автор развивает термодинамический подход для количественного описания релаксации физических свойств металлических стекол. Ключевым и наиболее сильным аспектом работы является учет свойств кристаллического и жидкого состояний при описании релаксации физических свойств стеклообразного состояния. Это позволяет не только описывать наблюдаемые эффекты, но и делать количественные прогнозы. **Наиболее значимыми новыми результатами**, на наш взгляд, являются:

1. Экспериментальное подтверждение на 31 сплавте теоретической гипотезы о равенстве температурных коэффициентов модуля сдвига для стеклообразного и кристаллического состояний при отсутствии интенсивной структурной релаксации.
2. Уравнения, позволяющие прогнозировать температурную зависимость модуля сдвига, тепловые эффекты и релаксационное изменение плотности, а также определять фрагильность. Весьма важно, что результаты расчетов по предложенным соотношениям дают количественное согласие с экспериментом (отклонение не превышает 7–10%), что подтверждает их работоспособность.
3. Введение на основе энтропийного подхода безразмерного параметра структурного порядка ξ . В работе установлена значимая корреляция параметра ξ в состоянии переохлажденной жидкости с критической скоростью охлаждения расплавов и с их эмпирическими критериями стеклообразующей способности, основанными на характеристических температурах. Введенный параметр ξ дает количественную меру структурной разупорядоченности стеклообразного сплава по сравнению с расплавом при температуре ликвидус.

Практическая значимость работы связана с тем, что предложенные методы позволяют прогнозировать температурные зависимости свойств металлических стекол без проведения трудоемких экспериментов. Расчет избыточных термодинамических функций и параметра структурного порядка может быть востребован как при поиске новых стеклообразующих составов и оптимизации режимов термической обработки, так и при общей систематизации металлических стеклообразователей в рамках термодинамического подхода.

Достоверность полученных результатов обеспечивается большим объемом экспериментальных данных, их сопоставлением с независимыми литературными данными, применением статистических методов корреляционного анализа, а также внутренней непротиворечивостью, согласованностью с теорией физики конденсированного состояния и фундаментальными началами термодинамики.

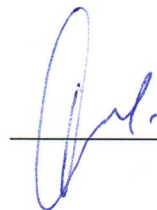
По теме диссертации автором опубликовано значительное количество статей в высокорейтинговых рецензируемых научных журналах, индексируемых в базах данных Web of Science, Scopus, РИНЦ, а также входящих в перечень ВАК РФ. Результаты работы были представлены на всероссийских и международных конференциях, научных школах и семинарах. Автореферат отличается структурированностью и хорошим иллюстративным материалом. Содержание работы полностью соответствует паспорту научной специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния (отрасль науки – физико-математические).

Вместе с тем по автореферату есть ряд замечаний:

1. Предложенный метод выделения избыточных термодинамических функций представляет значительный интерес, однако его корректное применение требует детального понимания как алгоритма вычислений, так и полного протокола ДСК-измерений для получения разностного теплового потока. Вместе с тем, в автореферате отсутствуют сведения о расчетной процедуре и технических параметрах calorиметрических экспериментов, таких как время выдержки, тип газа-носителя и скорость его подачи при продувке ячейки, масса образца, герметичность тигля и др.
2. В тексте работы упоминается наноструктурирование металлических стекол, однако нет пояснения как обеспечивается этот процесс.
3. В последние годы в научной литературе опубликован целый ряд исследований воздействия интенсивной пластической деформации на структуру аморфных тел, которые вызвали большой интерес. Эта тема близка к задачам настоящей работы, и важно узнать мнение диссертанта об этих результатах.

Однако в целом диссертация Макарова А.С. «Диаупругий эффект и термодинамика релаксационных явлений в металлических стеклах» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную на высоком уровне. Работа содержит новые научные результаты, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение, имеющее важное значение для физики конденсированного состояния. По своей актуальности, новизне, объему, теоретической и практической значимости работа вполне соответствует требованиям пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ №842 от 24 сентября 2013 г., предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор, **Макаров Андрей Сергеевич**, заслуживает присуждения ученой степени **доктора физико-математических наук** по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния.

Заслуженный деятель науки РФ и РБ,
директор Научно-исследовательского института
физики перспективных материалов (НИИ ФПМ),
профессор кафедры Материаловедения
и физики металлов ФГБОУ ВО
«Уфимский университет науки и технологий»,
доктор физико-математических наук,
профессор, академик АНРБ



Валиев Руслан Зуфарович

«24» 04 2026 г.

Докторская диссертация защищена по специальности 01.04.07 - Физика конденсированного состояния. Полное наименование организации: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский университет науки и технологий».

Почтовый адрес: 450076, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Заки Валиди, д. 32.

Тел.: +7 (347) 273-34-22, эл. почта: valievrz@uust.ru

Согласен на включение в аттестационное дело и дальнейшую обработку персональных данных, необходимых для процедуры защиты диссертации Макарова А.С.



Подпись Валиева Р.З.
Достоверно «24» 04 2026 г.
Начальник общего отдела УУНИТ Рахмеев Д.Р.