

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию
Свиридовой Екатерины Антоновны на тему «Эволюция структуры и свойств сплавов на основе алюминия и железа в аморфном и нанокompозитном состояниях в процессе нагрева», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 - физика конденсированного состояния.

Металлические сплавы с термодинамически неравновесными аморфными и нанокристаллическими структурами и закономерности их формирования являются объектами исследований, которые активно ведутся в развитых странах мира на протяжении последних нескольких десятилетий. Большой интерес к этим материалам обусловлен преимущественно тем, что они обладают высоким уровнем структурно-зависящих свойств и/или уникальными их сочетаниями. Благодаря этому обстоятельству целый ряд сплавов с аморфной и нанокристаллической структурами нашли широкое практическое применение и производятся в промышленных масштабах, прежде всего в качестве функциональных (магнитно-мягких и магнитно-твердых) материалов. Однако потенциал использования высоких прочностных свойств, характерный для аморфных и нанокристаллических сплавов, получаемых закалкой из жидкого состояния, в качестве конструкционных материалов остается до настоящего времени практически не реализованным. Основными причинами, тормозящими практическую реализацию прочностных свойств быстроохлажденных сплавов, являются относительно низкая склонность к аморфизации наиболее перспективных для этих целей сплавов на основе железа и алюминия, неравновесный характер структур и явление термически индуцированного охрупчивания, которое наблюдается практически во всех металлических стеклах в процессе термической обработки. Поэтому тематика диссертационной работы Е.А. Свиридовой, посвященной изучению процессов структурной релаксации и диффузионно-контролируемой кристаллизации аморфных сплавов, определяющих термическую устойчивость структуры и свойств сплавов на основе алюминия и железа в аморфном и нанокompозитном состояниях, является **актуальной** и важной с научной и прикладной точек зрения.

Диссертация Е.А. Свиридовой носит экспериментальный характер, однако для анализа результатов измерений автором широко используются аналитические модели, как известные из литературы, так и оригинальные, что позволило получить ряд новых и важных в научном аспекте результатов.

Из представленных в работе новых результатов, наиболее интересными и ценными, имеющими несомненную **научную новизну**, являются:

1. Автор установила связь между температурой нагрева, при которой происходит потеря пластичности ряда стекол системы Al-РЗМ-ПМ и расчетным отношением средневзвешенных значений модуля сдвига к объемному модулю упругости. Ввиду того, что отношение этих модулей обратно пропорционально пластичности металлических стекол, полученный результат означает, что пластичность и сопротивление охрупчиванию аморфных сплавов контролируются

Bx. № 90
18. 12 2020.

одними и теми факторами.

2. Экспериментально установлено, что максимальный уровень микротвердости частично или полностью закристаллизованных металлических стекол определяется наномасштабными (≤ 90 нм) размерами кристаллитов, а не природой фаз.

3. Впервые определен диапазон значений эффективных коэффициентов диффузии, контролирующей скорости зарождения и роста кристаллов в стеклах при температурах начала кристаллизации, которые лежат в диапазоне 10^{-18} – 10^{-20} м²/с. Установлено, что кристаллизация стекол на верхнем пределе диапазона происходит по механизму зарождения и роста с формированием структур с объемной плотностью кристаллитов порядка 10^{18} м⁻³, в то время как термическая устойчивость стекол с минимальными пороговыми уровнями эффективной диффузии лимитируется процессами роста и формирующиеся при этом структуры состоят из нанокристаллов с объемной плотностью до 10^{24} м⁻³. Установленная в работе корреляция между объемной плотностью кристаллов и пороговыми значениями эффективной диффузии для первично кристаллизующихся стекол на основе Al и Fe в двойных логарифмических координатах аппроксимируется прямой линией с наклоном $-1,43$, близким к значению $-1,5$, рассчитанному в предположении определяющего вклада эффективных коэффициентов диффузии в термическую устойчивость аморфной фазы.

4. Определены механизмы распада остаточной аморфной матрицы в нанофазных композитах и установлена корреляция, согласно которой температурные диапазоны существования высокопрочных нанокompозитных структур в первично закристаллизованных стеклах максимальны, если механизмы их распада включают процесс зарождения.

Практическая значимость работы определяется тем, что исследованные в работе нанофазные композиты на основе алюминия с высоким уровнем прочностных характеристик и термической устойчивостью перспективны для использования в качестве упрочняющих компонентов в объемных композитных образцах с малым удельным весом, получаемых консолидацией дисперсных материалов. Процессы консолидации, как правило, осуществляются при повышенных температурах, поэтому закономерности и режимы формирования нанокристаллических структур, установленные в работе, могут использоваться в качестве рекомендаций. Следует также отметить, что большинство результатов анализа термической устойчивости, установленных для исследованных в работе групп металлических стекол и нанофазных композитов, являются корректными для широкого круга аморфных металлических сплавов.

Достоверность и обоснованность основных результатов и выводов диссертации обеспечивается использованием широкого набора взаимодополняющих современных методов исследования структуры (рентгенофазовый анализ, малоугловое рассеяние рентгеновских лучей, просвечивающая электронная микроскопия), кинетики фазовых превращений (дифференциальная сканирующая калориметрия и измерения электросопротивления) и измерения механических характеристик

(микротвердость и испытания на изгиб), которые широко применяются для исследования быстроохлажденных материалов. Результаты измерений обрабатывались с помощью стандартных методов математической статистики. Значения параметров, определенных в рамках использованных аналитических моделей, физически разумны и согласуются с известными из литературы оценками.

В критической части отзыва в качестве **замечаний** можно отметить следующие:

1. Представление в таблице 4.1 значений предэкспоненциальных множителей в форме логарифма размерной величины является неудачным. Представляется также желательным обсудить возможные физические причины широкого диапазона значений предэкспоненциальных множителей (от 10^{-11} до почти 10^{17} м²/с) в уравнениях описывающих температурные зависимости эффективных коэффициентов диффузии.

2. Приведенная на рисунке 4.16 методика анализа кинетики начальных стадий превращения позволяет определить не долю превращенного объема при температуре начала превращения, как указано в работе, а ее прирост в процессе нагрева. Это означает, что при наличии некоторой доли кристалличности, сформированной в лентах в процессе закалки, рассчитанные по уравнениям 4.7 и 4.10 значения плотности кристаллитов будут заниженными.

3. Как следует из рис. 5.1в, в сплаве $Al_{86}Ni_6Co_2Gd_6$ наибольшая микротвердость 5410 МПа достигается после второй стадии кристаллизации, а не первой, как указано в тексте.

4. В работе имеется ряд других более мелких погрешностей и опечаток: рисунки 4.13 и 4.15а одинаковы, в выводе 6 к четвертой главе плотность кристаллитов при температуре начала кристаллизации должна быть 10^{24} м⁻³, а не 10^{-20} м⁻³, в ряде случаев размерность скорости нагрева приведена в К/мин.

Отмеченные недостатки не носят принципиального характера и не влияют на основные результаты диссертации и общую положительную оценку.

Рассматривая диссертационную работу Е.А. Свиридовой в целом, следует отметить, что она является научно-исследовательской работой, которая содержит новые решения ряда актуальных задач, связанных с условиями формирования высокопрочных нанокompозитных структур и повышением их механических свойств и термической устойчивости. Основные результаты диссертации достаточно полно опубликованы в 10 статьях, семь из которых напечатаны в реферируемых научных изданиях (в том числе 5 статей в журналах, входящих в международные наукометрические базы данных SCOPUS и Web of Science) и 25 тезисах научных конференций. Содержание автореферата достаточно полно отражает основные результаты диссертации. Профиль диссертации соответствует паспорту специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Диссертационная работа Е.А. Свиридовой «Эволюция структуры и свойств сплавов на основе алюминия и железа в аморфном и нанокompозитном состояниях в процессе нагрева» выполнена на высоком научном уровне и по

объему полученных результатов, их актуальности и степени обоснованности удовлетворяет требованиям ВАК Донецкой Народной Республики, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Екатерина Антоновна Свиридова заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Официальный оппонент, профессор
кафедры физики твердого тела
Воронежского государственного
технического университета,
д. ф.-м. н. (специальность 01.04.07),
профессор

Юрий Егорович Калинин

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Воронежский государственный технический университет»

Почтовый адрес: 394026, г. Воронеж, Московский проспект, 14
тел.: +7(473) 246-66-47
e-mail: kalinin48@mail.ru

Я, Калинин Юрий Егорович, полностью согласен на автоматизированную обработку персональных данных, приведенных в этом документе

Подпись профессора кафедры физики твердого тела
факультета радиотехники и электроники ВГТУ
Ю.Е. Калинина удостоверяю

Ученый секретарь



В.П. Трофимов