

Отзыв

официального оппонента к.ф.-м.н. Петржик Е. А. на диссертационную работу **Пшонкина Данилы Евгеньевича** «**Влияние магнитных полей на механические свойства материалов, содержащих макроскопические включения**», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

Диссертация Д. Е. Пшонкина посвящена влиянию постоянного магнитного поля на механические свойства алюминиевых сплавов, в том числе с ферромагнитными включениями, а также магнитостимулированному поведению алюминиевых включений в системе металл-полупроводник.

Создание материалов с заданными физическими свойствами является перспективным направлением физики конденсированного состояния. Один из возможных методов модификации свойств заключается в применении различных внешних воздействий к уже готовому материалу. Давно и успешно используются термообработка и облучение. А вот технология изменения свойств промышленных материалов путем воздействия на них различных магнитных полей еще недостаточно развита. Другой метод создания материалов с нужными свойствами - варьирование их структуры и/или фазового состава. В диссертации Д. Е. Пшонкина рассмотрены оба метода, что и определяет ее **актуальность**.

Алюминиевые сплавы, которые исследовал Д. Е. Пшонкин, широко применяются в различных областях техники. Поэтому модификация их свойств, например, для оптимизации механической обработки, имеет несомненную **практическую значимость**.

Изучением влияния магнитных полей на структуру и свойства немагнитных материалов занималось довольно много научных групп и в нашей стране, и за рубежом. Больше всего работ посвящено магнитопластическому эффекту в ионных кристаллах, номинально чистых и с различными примесями невысоких концентраций. **Научная новизна** работы Д. Е. Пшонкина заключается в исследовании материалов, содержащих макроскопические включения второй фазы, изучении вклада этих частиц в динамику пластических свойств, выявлении условий и причин воздействия магнитного поля на механические свойства алюминиевых сплавов с железосодержащими включениями.

Диссертация Данилы Евгеньевича Пшонкина состоит из введения, пяти глав, выводов и списка использованной литературы.

Во введении дана общая характеристика работы, обоснована актуальность темы, сформулированы цели и задачи, указаны научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы и основные положения, выносимые на защиту, перечислены методы исследования, аргументирована достоверность полученных данных, дана информация об апробации и личном вкладе автора, описана структура диссертации.

В первой главе проведен анализ литературы по выбранной тематике исследования, представлены основные результаты, полученные в этой области за последние десятилетия. Особое внимание уделено магнитопластическому эффекту, его проявлениям и физической природе.

Вторая глава посвящена методике проведения экспериментов. Описаны основные установки и методы, используемые в данной работе. Дано подробное описание предварительной подготовки образцов к испытаниям, описаны методы термической обработки, измерения ползучести и микротвердости, а также продемонстрированы результаты

растровой электронной микроскопии изучаемой поверхности алюминиевого сплава.

Третья глава содержит результаты химического и микрорентгеновского анализов состава исследуемых образцов, подтверждающих присутствие в матрице Fe-содержащих включений. Приведены данные по выявлению магнитных свойств образцов. На их основании сделан вывод о наличии у включений ферромагнетизма.

В четвертой главе отражены экспериментальные результаты влияния магнитного поля на ползучесть и микротвердость образцов с железосодержащими включениями и без них. Показано, что предварительная экспозиция образцов в постоянном магнитном поле приводит к увеличению пластической деформации материала и уменьшению его микротвердости. Предложены механизмы наблюдаемых магнитостимулированных изменений механических свойств, основанные на магнитострикции магнитных включений и динамике дислокаций.

В пятой главе описаны результаты исследований образования и миграции жидких включений алюминия в монокристаллах кремния в процессе изотермического отжига. Показано, что постоянное магнитное поле влияет на скорость миграции расплавленной зоны в область структурной неоднородности кремния, а также на размер включения.

Можно отметить следующий наиболее значимые результаты, полученные в работе:

- установлено, что предварительная экспозиция алюминиевого сплава 6063 в магнитных полях индукцией до 1Тл способствует увеличению деформации в процессе ползучести, а также снижает микротвердость образцов.

- установлено, что время действия эффекта составляет ~ 25 часов после экспозиции образцов в магнитном поле.
- экспериментально обнаружена температура предварительного отжига ($T \geq 323$ K), при которой магнитоэластический эффект не возникает.
- Основным механизмом, усиливающим магнитоэластический эффект, является магнитоstriction ферромагнитных включений, которые обеспечивают дополнительные локальные напряжения на границе включения с матрицей до 560 МПа.

Достоверность результатов не вызывает сомнений и обеспечивается их воспроизводимостью, согласованностью данных, полученных разными методиками, и качественным согласием с литературными данными.

Диссертация оформлена аккуратно, автореферат достоверно отражает ее содержание. Опубликованные работы содержат основные результаты, полученные в диссертации.

По диссертации можно сделать следующие замечания:

- 1) Проведено сравнение влияния магнитного поля на ползучесть железосодержащего сплава алюминия и сплава без железа. К сожалению, магнитостимулированное изменение микротвердости исследовано только на сплавах с включениями. Хотя сравнение, аналогичное проведенному для ползучести, могло бы помочь отделить механизм спин-зависимых трансформаций дефектных комплексов, характерный для магнитоэластического эффекта, от магнитоstrictionного влияния ферромагнитных включений.
- 2) С помощью тестов на ползучесть построена зависимость величины эффекта от времени, прошедшего после магнитной экспозиции. Но так как магнитное поле вызывает изменения на всех этапах ползучести, пришлось

выбирать подобные по времени и нагрузке точки, что безусловно вносит определенную погрешность. Казалось бы, гораздо удобнее и точнее изучать процессы релаксации, измеряя микротвердость одного и того же образца через определенные временные интервалы до возврата к исходному значению. К тому же полезно было бы сравнить в какое время после магнитного воздействия достигается максимум пластичности в случае исследования ползучести и микротвердости.

3) Интересны исследования по влиянию температуры на магнитостимулированное поведение сплавов при ползучести. Показано, что при 40°C эффект влияния постоянного магнитного поля максимален, а при 100°C наблюдается его полное исчезновение. Высказано предположение о возможных структурных изменениях после отжига, но, к сожалению, не проведено никаких соответствующих экспериментальных исследований.

4) Некорректно использован термин контактное плавление, предполагающий, что жидкая фаза появляется при температуре ниже температур плавления контактирующих материалов. В главе же 5 применяли отжиг при температурах заметно выше температуры плавления алюминия.

Сделанные замечания во многом носят рекомендательный характер и существенно не влияют на положительную оценку работы.

Диссертационная работа Данилы Евгеньевича Пшонкина «Влияние магнитных полей на механические свойства материалов, содержащих макроскопические включения» является законченной научно-квалификационной работой, соответствующей всем критериям и требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от

24 сентября 2013 г. №842, а ее автор, Пшонкин Данила Евгеньевич, заслуживает присуждения ему степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Автор отзыва согласен на обработку персональных данных.

Официальный оппонент

кандидат физ.-мат. наук

старший научный сотрудник

лаборатории механических свойств кристаллов

Института кристаллографии им. А.В. Шубникова

ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН

Петржик Екатерина Александровна

Почтовый адрес: 119333, г. Москва, Ленинский проспект, д. 59.

Тел. 8 (499) 135-63-11

e-mail:office@crys.ras.ru

Подпись Петржик Е. А. заверяю:

Ученый секретарь
ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН
к.ф.-м.н.
Л.А. Дадинова

03.09.2020