

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Могильникова Павла Сергеевича "Закономерности влияния процессов структурной релаксации на магнитные свойства, и механическое поведение аморфных сплавов на основе кобальта с очень низкой магнитострикцией (λ_s)", представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – "Физика конденсированного состояния"

Скоростная закалка из жидкого состояния дает принципиально новые возможности получения перспективных металлических материалов с уникальным сочетанием различных физических свойств. Несмотря на то, что эти материалы массово появились около сорока лет назад, изучают их уже начиная с 1959 года (работы И.С.Мирошниченко). Основной метод получения аморфных сплавов состоит в обеспечении очень быстрого отвода тепла через твердую подложку с целью реализовать скорость снижения температуры до 10^{10} град.сек., что в свою очередь приводит к получению различных структурных состояний сплава в зависимости от его химического состава и характера метастабильности выбранного состояния. Метод скоростной закалки расплава на вращающийся массивный металлический диск является самым распространенным и процессы, протекающие вследствие нагрева в полученных таким способом аморфных сплавах изучены достаточно хорошо. В то же время, аморфное состояние твердого тела - одна из наименее изученных областей физики конденсированного состояния. Важная особенность аморфных сплавов - наличие топологического и химического ближнего порядка в расположении атомов и в этой сфере, несмотря на обилие теорий, достаточно многое не подтверждено экспериментально. Между тем, проблема стабильности эксплуатационных свойств металлов и сплавов всегда стоит весьма остро и в особенности это касается функциональных магнитных материалов. Интерес к этой теме определяется, прежде всего, исключительной ролью наноматериалов и нанотехнологий в современной технике, в которых роль

релаксационных структурных процессов необычайно велика по сравнению с обычными, крупнозерненными поликристаллами.

В свете вышеизложенного тема диссертационной работы П.С.Могильникова представляется актуальной.

Автор диссертационной работы поставил цель разобраться в закономерностях влияния процессов, происходящих при термическом воздействии в кобальтовых магнитных сплавах с очень низкой магнитострикцией. Выбор объекта исследования на мой взгляд сделан очень грамотно. Такие сплавы, благодаря очень высокому уровню магнитных свойств, очень давно и успешно применяются в различных устройствах. В особенности широкое применение нашли магнитомягкие кобальтовые и железокобальтовые сплавы с высоким уровнем магнитной проницаемости. Они позволили решить важную техническую проблему - найти альтернативу пермаллою, огромные значения магнитной проницаемости которого драматичным образом падают при механических напряжениях, т.е. при изготовлении из пермаллоя каких-либо деталей и устройств. Для восстановления характеристик требуется сложная и дорогостоящая термообработка в атмосфере водорода. Аморфные магнитомягкие сплавы не требуют такой обработки, уровень их свойств в значительно меньшей степени зависит от напряжений. Однако, несмотря на значительный объем экспериментальных данных по магнитным свойствам аморфных лент на основе кобальта с небольшими добавками железа, сплавы с очень низкой магнитострикцией (10^{-7}) остались неизученными.

Автор диссертации подробно проанализировал основные теоретические модели, разработанные за последние полсотни лет, начиная с эмпирических корреляций и кончая работами 2013 года. Рассмотрены экспериментальные данные о релаксационных процессах, происходящих при нагреве магнитных аморфных сплавов, влияние изгибных напряжений. Интересен проведенный автором анализ факторов, определяющих гистерезисные свойства этих материалов. Особое внимание в этом анализе уделено специфике аморфных сплавов в плане магнитно-обратимой

деградации не только магнитной проницаемости, но и коэрцитивной силы, а также связь этих проявлений с образованием локальных структурно-композиционных неоднородностей. В данной работе подобно рассмотрены результаты исследования магнитных шумов аморфных сплавов на основе железа и кобальта, а также влияние макроскопической магнитной анизотропии на гистерезисные свойства. На основе собранной из литературных источников информации автор обосновано и логично выбрал методы исследования закономерностей влияния процессов структурной релаксации на магнитные свойства, и механическое поведение аморфных сплавов на основе кобальта с очень низкой магнитострикцией (λ_s). П.С.Могильников продемонстрировал владение различными методиками анализа магнитных свойств как в статическом, так и в динамическом режиме, при этом в динамическом режиме методы измерения проницаемости и коэрцитивной силы измерялись с очень небольшой погрешностью и однозначно вызывают доверие. Помимо методов изучения магнитных свойств, автор пользовался методом термического анализа и по известным методикам измерял механические свойства сплавов. Особый интерес представляет примененный в диссертационной работе анализ интенсивности малоуглового рассеяния, который дал возможность автору объяснить вклад изотропного ближнего порядка в формирование гистерезисных магнитных свойств сплава с очень низкой магнитострикцией.

Несомненным достоинством работы является тот факт, что в работе определены оптимальные режимы термомагнитной обработки, позволяющие повысить уровень магнитной проницаемости, в том числе и для высокочастотных применений.

Несмотря на перечисленные достоинства, работа П.С.Могильникова не лишена некоторых недостатков.

1. Вывод девятый о влиянии исходных изгибных напряжений на энергию активации и раздел диссертации, посвященный этим расчетам, очень интересен, но на мой взгляд не доработан и требует объяснения или модели, в которой энергия активации является характеристикой сплава.

2. Раздел 8 по исследованию влияния условий спинингования полезно было бы либо углубить, расширив интервал скоростей и варьируя ширину ленты, либо не выделять в отдельную главу, так как результаты, полученные в этом разделе, интереса на мой взгляд не представляют.

3. Обзор литературы содержит очень большое количество источников, в том числе достаточно старых. На мой взгляд, в рассуждениях о применении аморфных сплавов в современном приборостроении ссылаться на работы конца восьмидесятих годов прошлого века недопустимо. Самая свежая ссылка - одна статья 2013 года. При 173 источниках не упомянуты статьи и книги признанных авторитетов в области исследования свойств и структуры аморфных сплавов из ЦНИИчермета им.И.П.Бардина, ИФТТ РАН, ЦНИИ "Прометей". Также следует отметить, что оформление работы в плане размещения рисунков оставляет желать лучшего.

4. На мой взгляд, количество выводов можно было бы сократить объединив, например первый, который кажется вполне тривиальным перечислением, и третий, конкретизировав формулировку тезиса.

Указанные недостатки не снижают общей положительной оценки диссертационной работы. Работа доложена на представительных международных конференциях и опубликована в журналах с достаточно высоким (для материаловедческих журналов) импакт-фактором.

В целом диссертация П.С.Могильникова удовлетворяет требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским работам, а диссертант заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико – математических наук по специальности 01.04.07 – “Физика конденсированного состояния”.

Заместитель Генерального директора АО «Центральное конструкторское бюро специальных радиоматериалов», кандидат физико-математических наук

Подпись Е.Н.Хандогиной заверяю, Ученый секретарь АО "ЦКБ РМ"



Е.Н. Хандогина

З.В.Корякова