

Отзыв

Официального оппонента на диссертацию Е.А. Голыгина «Влияние температуры на ΔE -эффект в аморфных металлических сплавах на основе переходных металлов», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.11- физика магнитных явлений

Сочетание высокой магнитострикции с малыми потерями на перемагничивание делает аморфные сплавы на основе железа привлекательными для приложений, например, для функциональных элементов датчиков деформаций. Для фундаментальной науки накопление и анализ фактического материала по композиционным и температурным зависимостям магнитострикции важно для формирования представлений о структуре и магнетизме аморфных металлических сплавов. Поэтому диссертационная работа Голыгина Е.А., посвященная изучению магнитоупругих свойств лент и проволок аморфных металлических сплавов на основе железа, полученных методом быстрой закалки из расплава, а также исследованию влияния термомагнитной обработки данных сплавов на комплекс их магнитных и магнитомеханических свойств – весьма актуальна.

Диссертация изложена на 134 страницах, содержит 40 рисунков. Библиография включает 180 наименований.

Первая глава посвящена аналитическому обзору работ по исследованию доменной структуры аморфных металлических сплавов в виде лент и проволок, процессов ее перестройки под действием магнитного поля и упругих механических напряжений, а также в результате различных тепловых обработок. Также рассмотрено для магнитоупругих свойств аморфных металлических сплавов. Описаны результаты модели однородного вращения намагниченности в ситуации, когда внешнее поле ортогонально оси легкого намагничивания. Рассмотрено влияние особенностей структуры аморфных сплавов на основе железа на их магнитные свойства. На основе проведенного аналитического обзора литературы автор приходит к выводу об актуальности поставленных перед ним исследовательских задач.

Во второй главе приведены сведения об использованных образцах, методах и режимах их термомагнитной обработки. Также приводятся описания стандартных экспериментальных методик, используемых в работе, для измерения магнитных (баллистический метод), магнитоупругих (метод резонанса-антирезонанса) характеристик

исследуемых образцов. Здесь же приведены описания соответствующих экспериментальных установок.

Третья глава содержит результаты исследований полевых и температурных зависимостей ΔE - эффекта, а также кривых намагничивания аморфных сплавов $\text{Fe}_{67}\text{Co}_{10}\text{Cr}_3\text{Si}_5\text{B}_{15}$ и $\text{Fe}_{64}\text{Co}_{21}\text{B}_{15}$, прошедших предварительную термомагнитную обработку. В этой главе также обсуждаются особенности структуры исследуемых лент приводящие к наблюдаемому поведению ΔE - эффекта.

На мой взгляд, постановка задач и маршрут исследований выбраны верно. Аморфные сплавы, являясь нестабильными, в принципе, должны необратимо изменять свои свойства при любой конечной температуре. Однако, если характерные времена релаксации, либо кристаллизации много больше времени измерения (для научных исследований) или времени эксплуатации (для приложений) свойства аморфного сплава можно считать обратимыми по отношению к температуре и внешним воздействиям. Процессы кристаллизации происходят очень медленно в области температур на $100\div 200$ градусов выше комнатной, поскольку эти температуры все еще значительно ниже температуры стеклования. Однако процессы релаксации упругих напряжений, композиционных и структурных дефектов различного масштаба, могут протекать достаточно быстро для того, чтобы отразиться на свойствах. В этом смысле предварительная термообработка нужна для того, чтобы активировать процессы структурной релаксации. Это позволяет получать практически обратимые изменения свойств при нагреве и последующем охлаждении, а также приводит к достижению необходимой для практики термической стабильности свойств. Кроме того, конкретные теоретические выражения, описывающие полевые зависимости ΔE -эффекта имеются только для ситуации, когда в образце существует хорошо определенная ось легкого намагничивания, а внешнее магнитное поле направлено перпендикулярно ей. Поэтому, одна из целей отжига исследуемых лент в магнитном поле состоит в формировании одноосной магнитной анизотропии. Контроль получившейся магнитной анизотропии осуществляется по характерной форме кривых намагничивания.

Предсказываемый моделью вращения отрицательный ΔE - эффект наблюдается в лентах $\text{Fe}_{64}\text{Co}_{21}\text{B}_{15}$ и не наблюдается в лентах $\text{Fe}_{67}\text{Co}_{10}\text{Cr}_3\text{Si}_5\text{B}_{15}$. Автор связывает это с тем, что в случае лент $\text{Fe}_{64}\text{Co}_{21}\text{B}_{15}$ используемые режимы термомагнитной обработки достаточны для формирования одноосной магнитной анизотропии, а в случае лент $\text{Fe}_{67}\text{Co}_{10}\text{Cr}_3\text{Si}_5\text{B}_{15}$ нет. Этот вывод подтверждается формой петли гистерезиса данных лент.

Кроме того, обнаружено, что используемая предварительная термообработка недостаточна для полной термической стабилизации свойств. Это выражается в том, что полевые зависимости ΔE -эффекта продолжают изменяться при первом цикле нагрева-охлаждения. Для лент $\text{Fe}_{64}\text{Co}_{21}\text{B}_{15}$ нагрев выше определенной температуры даже разрушает наведенную термомагнитной обработкой одноосную магнитную анизотропию.

Помимо стандартного отжига в однородном магнитном поле, автор иногда применяет обработку постоянным электрическим током. Этот вариант обработки сочетает тепловое воздействие с воздействием циркулярного магнитного поля.

В четвертой главе приводятся и обсуждаются результаты исследования полевых зависимостей ΔE -эффекта аморфных металлических проволок состава $\text{Fe}_{75}\text{Si}_{10}\text{B}_{15}$ при различных температурах. Также как и в случае лент, образцы проволок подвергали предварительной термомагнитной обработке постоянным электрическим током с одновременным приложением растягивающих напряжений, либо отжигу в магнитном поле. Автор показывает, что при обработке электрическим током с одновременным приложением растягивающих напряжений, полевые зависимости ΔE -эффекта качественно изменяются с ростом тока и величины растягивающих напряжений. Первоначально наблюдавшийся отрицательный ΔE -эффект сменяется полностью положительным. Похожая тенденция сохраняется в случае обычной термомагнитной обработки, однако отрицательный ΔE -эффект здесь сохраняется. Наблюдаемые явления автор обсуждает в рамках неоднородного распределения напряжений в микропроводах полученных методом вытягивания из расплава. Эта неоднородность приводит к специфической доменной структуре, а ее релаксация при термообработке является причиной наблюдаемой эволюции полевых зависимостей ΔE -эффекта.

Важным результатом данной работы мне представляется сбор и обобщение значительного фактического материала по влиянию термомагнитных обработок на ΔE -эффект и кривые намагничивания исследуемых аморфных сплавов железа. В результате показано что, варьируя условиями термомагнитной обработки аморфных сплавов железа, в них можно получать:

- термостабильность полевых зависимостей ΔE -эффекта
- различную величину и даже знак ΔE -эффекта.
- управляемую температурную зависимость поля экстремума на полевых зависимостях ΔE -эффекта.

В качестве замечаний можно отметить следующее. При прочтении работы возникают вопросы, ответов на которые в тексте не содержится. Например:

1. Автор обсуждает ΔE -эффект в тесной связи с доменной структурой и кривой намагничивания. Почему на кривых намагничивания присутствует магнитный гистерезис, а на полевых зависимостях ΔE -эффекта гистерезиса нет?

2. В качестве образцов лент вырезались полоски шириной 1 мм. В результате вырезания на краях отреза должны остаться пластические деформации, способные значительно повлиять на свойства исследуемого образца. Поскольку это не упоминается в тексте, очевидно автор считает, что такие деформации несущественны. Контролировалось ли это?

3. Как температуры термообработки соотносятся с температурой начала кристаллизации и температурой Кюри исследуемых сплавов?

Третий вопрос связан со следующим. В целом в работе, варьируя условиями тепловой обработки и последующего нагрева лент, автор управляет кинетикой релаксационных процессов в исследуемых сплавах. В рамках существующих количественных теорий кинетики релаксации основными параметрами являются время и температура. В этой связи важнейшими характерными температурами, с которыми следует соотносить температуры термомагнитных обработок, являются, температура начала кристаллизации и температура Кюри сплава.

В качестве пожелания для дальнейшей работы автора, либо группы в которой эти исследования будут продолжаться, хочется отметить, что исследование временных зависимостей релаксационных процессов протекающих в данных сплавах может дать полезную количественную информацию, касающуюся кинетики релаксации различных структурных дефектов.

Отмеченные замечания, ни в коей мере не снижают ценности диссертационной работы Е.А. Гольгина.

В целом диссертация Е.А. Гольгина представляет собой законченное исследование, в ней получено значительное количество ценных экспериментальных результатов, представляющих интерес для металловедов, занимающихся аморфными ферромагнитными сплавами (ИФМ УрО РАН, г.Екатеринбург, ИМЕТ РАН, ЦНИИ ЧерМет, МГУ г.Москва, ИФ СО РАН, г. Красноярск и др.).

Автореферат соответствует содержанию диссертации. Основные результаты работы опубликованы в центральных российских журналах, докладывались на международных конференциях.

Работа Е.А. Голыгина удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 01.04.11- физика магнитных явлений, а ее автор заслуживает присуждения ему искомой степени кандидата физико-математических наук.

кандидат физ.-мат. наук, доцент

старший научный сотрудник

ФГБУН Институт физики им. Л.В. Киренского

Сибирского отделения Российской академии наук (ИФ СО РАН),

660036 г. Красноярск, Академгородок 50, стр.38

Тел.+73912494556,

email: komogor@iph.krasn.ru

С.В. Комогорцев

Подпись С.В. Комогорцева подтверждаю

ученый секретарь ИФ СО РАН

к.ф.-м.н.



С.И. Попков