

УТВЕРЖДАЮ

Зам. проректора по науке Уральского
федерального университета имени
первого Президента России Б.Н. Ельцина
д.ф.-м.н. профессор А.О.Иванов



09 декабря 2013 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Карпенкова Дмитрия Юрьевича «Влияние термических и механических воздействий на величину магнитокалорического эффекта в соединениях 3d- и 4f-металлов», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.11 -Физика магнитных явлений.

В последние годы значительно возрос интерес к энергосберегающим технологиям, одной из которых является технология магнитного охлаждения, базирующая на физическом явлении, называемом «магнитокалорический эффект (МКЭ)». По оценкам специалистов, разрабатываемый на основе данного эффекта новый класс магнитных рефрижераторов может работать более эффективно, не будет содержать экологически опасных фреонов и может обеспечивать быструю передачу тепла от охлаждаемого тела к горячему теплообменнику.

Холодопроизводительность магнитного рефрижератора зависит от рабочей частоты и от количества и качества магнитного хладагента. До настоящего времени основные усилия специалистов были направлены на поиск и улучшение свойств магнитокалорических материалов, как по эффективности охлаждения, так и экономическим параметрам. Следующим этапом является увеличение на несколько порядков рабочей частоты рефрижератора за счет оптимизации формы и размеров рабочего тела (теплообменника), позволяющее значительно повысить холодопроизводительность. Таким образом, для того, чтобы найти применение в технологии магнитного охлаждения, магнитокалорические материалы должны быть адаптированы к производству теплообменников на их основе.

Формирование теплообменников из интерметаллических соединений, которые считаются лучшими на сегодня магнитокалорическими материалами, является сложной задачей. В частности, недостаточно изучен вопрос о влиянии термических и механических воздействий на магнитокалорический материал в процессе изготовления теплообменника. Поэтому для дальнейшего развития технологии магнитного охлаждения необходимо найти простой и надежный способ производства лент, пластин или стержней из таких материалов, который бы обеспечил сохранение значений МКЭ исходного материала хладагента.

Отсюда, по постановке задачи, выбору объектов исследования, возможностям практического использования полученных результатов тематика диссертационной работы Карпенкова Дмитрия Юрьевича «Влияние термических и механических воздействий на величину магнитокалорического эффекта в соединениях 3d- и 4f-металлов», несомненно, является актуальной.

Наиболее важными, интересными и новыми научными результатами диссертационной работы Карпенкова Д.Ю. являются:

1. Полученные впервые данные прямых измерений МКЭ для микро- и нанокристаллических образцов соединений R_2Fe_{17} ($R=Y$), $RFe_{11}Ti$ ($R=Tb, Gd, Ho$), RCo_2 ($R=Tb, Gd$), $Mn_{5-x}Fe_xGe_3$ ($x=0;1$), позволяющие установить зависимости МКЭ от структурного состояния и размерного фактора фазовых составляющих образцов.
2. Измеренные температурные зависимости $\Delta T_{ад}(T)$ и $\square S_M(T)$ для образцов гадолиния, подвергнутых интенсивной холодной прокатке и обнаруженный эффект появления гигантской наведенной анизотропии.
3. Полученные зависимости МКЭ, теплопроводности и теплоемкости на компактированных с различными по составу эпоксидными смолами порошковых образцах гидридов $La(Fe_{1-x}Mn_x)_{13-y}Si_yH$ от размера частиц, прикладываемого давления и весового содержания наполнителей.
4. Данные измерений транспортных свойств, теплопроводности и эффекта Зеебека компактированных в полимерном связующем образцов серии интерметаллидов $La(Fe_{1-x}Co_x)_{13-y}Si_y$ и их гидридов, а также расчет эффективности работы термоэлектрических холодильников на их основе.
5. Разработанные методы создания высокоэффективных теплообменников на основе быстрозакаленных (БЗК) лент и стержней интерметаллических соединений и пластин гадолиния, подвергнутых холодной прокатке, а также на основе компактированных в полимерном связующем порошков гидридов интерметаллических соединений.

Достоверность положений и выводов диссертационной работы Карпенкова Д.Ю. обусловлена тем, что в работе на тщательно аттестованных современными методами образцах соединений R_2Fe_{17} , $RFe_{11}Ti$, RCo_2 , $Mn_{5-x}Fe_xGe_3$, $LaFe_{13-x}Si_xH$

выполнено комплексное исследование магнитокалорического, магнитообъемного эффектов, магнитных характеристик и транспортных свойств в широком интервале магнитных полей и температур. Однофазность полученных образцов подтверждена металлографическими исследованиями на сканирующем электронном микроскопе JEOL JSM-6610LV, а их химический состав определен с помощью EDS анализа. Кроме того, дополнительно выполнен рентгеноструктурный анализ на дифрактометрах ДРОН-6 и Philips X'Pert. Измерения намагниченности выполнялись на СКВИД-магнитометре MPMS-XL5. Оценка размера зерен фазовых компонент в нанокристаллических образцах проводилась методами атомно-силовой микроскопии на 3СМ Solver Р47. Прямые измерения адиабатического изменения температуры $\Delta T_{ад}$ были выполнены на экспериментальной установке, разработанной при участии автора. Конструкция универсальной вставки кроме измерения адиабатического изменения температуры позволяла исследовать полевые и температурные зависимости магнитострикции и терморасширения (тензометрическим методом), эффекта Зеебека и теплопроводности (методом продольного теплового потока), электросопротивления и эффекта Холла (шестиконтактный методом).

Выводы диссертационной работы Карпенкова Д.Ю. хорошо аргументированы, имеют не только научное, но и практическое значение. Практическая значимость работы Карпенкова Д.Ю. обусловлена тем, что полученные результаты могут быть использованы при разработке высокоэффективных теплообменников для магнитных рефрижераторов. В частности, разработанные в работе методы создания высокоэффективных теплообменников на основе быстрозакаленных (БЗК) лент и стержней интерметаллических соединений и пластин гадолиния, подвергнутых холодной прокатке, а также на основе компактированных в полимерном связующем порошков гидридов интерметаллических соединений, могут найти применение при оптимизации формы и размеров рабочих тел магнитных холодильников.

Все вышеизложенное позволяет сделать вывод о значимости полученных Карпенковым Д.Ю. результатов для развития физики магнитокалорических материалов.

Автореферат полностью отражает содержание диссертационной работы, а ее результаты являются хорошо апробированными. Они докладывались на всероссийских и международных научных конференциях самого высокого уровня и известны специалистам.

Вместе с тем по диссертационной работе Карпенкова Д.Ю. можно сделать следующие замечания:

1. Во второй главе работы автором предложен новый параметр для оценки эффективности использования магнитокалорического материала в магнитных холодильниках - наклон зависимости $\square T_{\text{макс}}(H^{2/3})$. Однако в работе не приведены результаты расчета данного параметра для большинства исследуемых материалов, в которых наблюдается фазовый переход второго рода. Было бы полезным сравнить эффективность литых и быстрозакаленных образцов рассмотренных соединений, используя этот параметр.
2. При изучении МКЭ нанокompозитов на основе бинарных сплавов Y-Fe сохранение отношения количества входящих в литой и быстрозакаленный образцы фаз подтверждается металлографическими исследованиями и термомагнитным анализом. Необходимо дополнительно провести рентгеноструктурный анализ полученных микро- и нанокристаллических образцов для уточнения их фазового состава.
3. В третьей главе сообщается, что при быстрой закалке в соединениях HoCo_2 и ErCo_2 наблюдается резкое уменьшение МКЭ, что объясняется изменением рода фазового перехода от первого ко второму. Это изменение объясняется в работе уменьшением параметров кристаллической решетки, однако физическая природа влияния величины параметров решетки на род фазового перехода не рассматривается.
4. К сожалению, в тексте работы встречаются отдельные стилистические ошибки. Например, «...подобного устройства охлаждения, изготовленных из фольг...» (стр.5) и др.

Отмеченные недостатки не снижают общего хорошего впечатления от работы и носят скорее характер пожеланий, которые следует учесть при проведении дальнейших исследований.

Результаты и выводы диссертационной работы Карпенкова Д.Ю. могут быть использованы в работе научных коллективов предприятий и организаций, занимающихся проблемами физического материаловедения и разработкой новых магнитокалорических материалов, таких как Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова (г. Москва), Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН (г. Москва), Государственный институт редких металлов (Гиредмет) (г. Москва), НПО «Композит» (г. Королев), ФГУП «Спецмагнит» (г. Москва), Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Челябинский государственный университет, и др.

В целом диссертационная работа Карпенкова Д.Ю. оставляет хорошее впечатление, по объему и оригинальности экспериментальных результатов, достоверности, научной и практической значимости выводов она соответствует

критериям, установленным Положением ВАК для диссертаций на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.11 - физика магнитных явлений, а ее автор Карпенков Д.Ю. заслуживает присуждения искомой ученой степени.

Отзыв обсужден и одобрен на объединённом научном семинаре кафедры магнетизма и магнитных наноматериалов и отдела магнетизма твёрдых тел НИИ ФПМ Института естественных наук Уральского федерального университета.

(протокол № 42 от 06.12.2013)

Зав. кафедрой магнетизма и магнитных

наноматериалов, доктор физ.-мат. наук., проф.

В.О. Васьюковский

Зав. отделом магнетизма твердых тел

НИИ ФПМ, доктор физ.-мат. наук

Н.В. Кудреватых

Ученый секретарь, к.ф.-м.н., доцент

Е.А. Степанова