

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Ершова Николая Владимировича «Закономерности формирования атомной структуры магнитомягких железокремнистых сплавов», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

Одним из принципиальных условий развития специального машиностроения является разработка и производство магнитомягких сплавов. Особое место в ряду магнитных материалов имеют сплавы на железокремнистой основе. В результате легирования железа кремнием были получены выдающиеся магнитомягкие свойства: высокие магнитная проницаемость и индукция насыщения при повышении удельного электросопротивления, уменьшении магнитокристаллической анизотропии и магнитострикции.

Железокремнистые сплавы на протяжении многих лет являются объектом исследований зависимости магнитных свойств доменной структуры от условий приготовления и специальных обработок. В ходе этих исследований были получены косвенные доказательства того, что магнитомягкие свойства сплавов в значительной степени определяются особенностями их атомной структуры. На момент начала работ по теме диссертации не было прямых хорошо обоснованных данных об их структуре и закономерностях ее формирования. Поэтому начатое двадцать лет назад исследование атомной структуры магнитомягких железокремнистых сплавов методами рентгеновской дифракции и ядерной гамма-резонансной спектроскопии является актуальным. Обобщение полученных результатов исследований в виде диссертации является задачей нужной, полезной и важной.

В диссертации приводятся результаты экспериментальных исследований атомной структуры магнитомягких железокремнистых сплавов, которые дополнены теоретическим первопринципным моделированием локального упорядочения кремния в альфа-железе. Особый интерес представляет обнаружение B2 фазы, состоящей из двух ОЦК ячеек, центрированных атомами кремния или парой Si-Si, которые являются вторыми соседями в решетке альфа-железа. Показано, что при отжиге в ферромагнитном состоянии в постоянном магнитном поле или под растягивающей нагрузкой формируется

анизотропное пространственное распределение В2 кластеров. Полученный результат подтверждает гипотезу Неля и др. о направленном упорядочении атомов кремния, как о причине формирования наведенной магнитной анизотропии. Теоретическими методами исследован механизм формирования ближнего порядка в железокремнистых сплавах, установлена определяющая роль магнитного состояния сплава на характер локального упорядочения. Теоретические расчеты получили подтверждение в экспериментальной части работы.

Самостоятельный интерес представляют результаты исследований структуры нанокристаллов α -FeSi в предварительно подвергнутых пластической деформации при отжиге под растягивающим напряжением ленточных образцах сплава Fe-Si-Nb-Cu-B. Методом рентгеновской дифракции показано, что ОЦК решетка нанокристаллов растянута вдоль ленты и сжата поперек нее. Остаточные деформации характеризуются острой кристаллографической анизотропией, их величина вдоль оси $[h\ k\ l]$ тем больше, чем больше угол между ней и ближайшей осью $\langle 111 \rangle$, что соответствует представлениям упругих деформаций с учетом кубической симметрии.

В целом полученные автором результаты позволяют сделать практически важные выводы о закономерностях формирования ближнего порядка в расположении атомов в зависимости от концентрации и условий термической обработки в корреляции с магнитными свойствами. Результаты исследований могут быть использованы разработчиками магнитомягких материалов, что отмечено автором в части практической значимости. В частности, указаны возможности развития предложенных методов и подходов в отношении сплавов с большой (Fe-Al) и гигантской (Fe-Ga и Fe-Ge) магнитострикцией.

Специально хотелось бы отметить высокий профессиональный методический уровень работы, сочетающий в себе современный комплексный подход, развитую феноменологию и теоретические *ab initio* расчеты.

Автореферат диссертации дает достаточно полное представление об основных направлениях исследования и полученных результатах. Результаты работы опубликованы в ведущих журналах, многократно докладывались на конференциях, хорошо известны специалистам.

В качестве замечания отмечу отсутствие в автореферате пояснений по алгоритму расчета ближнего атомного порядка с использованием

мессбауэровской спектроскопии в Fe-Si сплавах и, в частности, возможности выделения анизотропного вклада в магнитную сверхтонкую структуру мессбауэровских спектров, формирующегося при упорядочении кремния.

Не сомневаюсь, что диссертация по актуальности, новизне, комплексу проведенных исследований и по совокупности полученных результатов полностью соответствует профилю диссертационного совета, паспорту заявленной специальности и всем требованиям, предъявляемым ВАК министерства образования и науки РФ к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук (пп. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней» в редакции, утвержденной постановлением правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842 с изменениями от 21.04.2016 г. № 335), а ее автор Ершов Николай Владимирович, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

Главный научный сотрудник лаборатории механических свойств
федерального государственного бюджетного учреждения науки Института
физики металлов имени М. Н. Михеева Уральского отделения Российской
академии наук, доктор физико-математических наук
Шабашов Валерий Александрович

Дата подписания отзыва: «30» января 2020 г.

Адрес: 620108, г. Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, 18
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики
металлов имени М. Н. Михеева Уральского отделения Российской академии
наук
Тел: +7 (343) 378-38-21, e-mail: shabashov@imp.uran.ru

Подпись Шабашова В.А.
Ученый секретарь ИФМ



Арапова И.Ю.

С отзывом ознакомлен
(Н. В. Ершов)
30 января 2020 года