REPORTS OF NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
ISSN 2224-5227
Volume 5, Number 5 (2014), 27 – 33

SEARCH FOR WAYS TO CREATE OPTIMAL STRUCTURAL STATES IN FERROMAGNETIC ALLOYS OF HIGH DAMPING

Vintaykin B.E[1], Chudakov I.B[1]., Turmambekov TA[2], Saidahmetov P.A.[3], Nurullayev M.A.[3], Kozybakova G.N.[3]
raha_ukgu@mail.ru
[1]Moscow State Technical University named after Bauman, Moscow, Russian Federation,
[2]International Kazakh-Turkish University. Ahmet Yasavi, Turkestan, Kazakhstan
[3]M.Auezov South-Kazakhstan State University, Shymkent, Republic of Kazakhstan

Key words: Thermodynamic modeling, solid solution alloys of high damping, the spinodal region.

Abstract. The ways of creating the optimum structural states in the high damping alloys on the basis of solid solutions with a bcc structure of Fe-Cr and Fe-Cr-Co. The physical mechanisms of dissipation of mechanical energy in ferromagnetic nanostructures with areas of different types having different shapes and areas of mutual arrangement of phases and different compositions nanoregions and associated saturation magnetization. Predicting compositions performed using thermodynamic modeling processes exsolution on ferro and paramagnetic phases in alloys based on bcc solid solutions based systems Fe-Cr and Fe-Cr-Co. The calculations take into account the contributions to the free energy of the alloy - solid solution: chemical, magnetic ordering, the elastic strain fields of atomic ordering of phases, the magnetization in an external magnetic field and a number of others. The possibilities for the application of process modeling to predict the collapse of the optimum composition and heat treatment of alloys with high damping properties. Calculated promising areas of alloy compositions and temperatures of heat treatments to obtain high damping properties of these alloys in two schemes. The first heat treatment scheme aimed at getting the structure of the ferromagnetic type sponge consisting of paramagnetic nanoparticles in the ferromagnetic matrix, the second is aimed at obtaining a small difference in namagnichennostyachh saturation of ferromagnetic and weak ferromagnetic phase obtained in the initial stages of decomposition of the solid solution.

УДК 577.11

ПОИСК ПУТЕЙ СОЗДАНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ СТРУКТУРНЫХ СОСТОЯНИЙ В ФЕРРОМАГНИТНЫХ СПЛАВАХ ВЫСОКОГО ДЕМПФИРОВАНИЯ

Винтайкин Б.Е[1], Чудаков И.Б[1]., Турмамбеков Т.А.[2], Саидахметов П.А.[3], Нуруллаев М.А.[3], Козыбакова Г.Н.[3]

[1] Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана, Москва, РФ,
[2]Международный Казахско-Турецкий Университет им. Ахмета Ясави, Туркестан, Республика Казахстан
[3]Южно-Казахстанский университет им. М. Ауезова, Шымкент, Республика Казахстан

Ключевые слова: термодинамическое моделирование, твердый раствор, сплавы высокого демпфирования, спинодальная область.

Аннотация. Рассмотрены пути создания оптимальных структурных состояний в высоко демпфирующих сплавах на основе твердых растворов с ОЦК структурой в системах Fe-Cr и Fe-Cr-Co. Проанализированы физические механизмы диссипации механической энергии в ферромагнитных наноструктурах с областями разного типа, обладающих разной формой и взаимным расположением областей фаз и различными составами нанообластей и связанных с ними намагниченностями насыщения. Прогнозирование составов проводилось с использованием термодинамического моделирования процессов распада твердого раствора на ферро и парамагнитную фазы в сплавах на основе ОЦК твердых растворов на основе систем Fe-Cr и Fe-Cr-Co. В расчетах учитывались вклады в свободную энергию сплава - твердого раствора: химический, магнитного упорядочения, упругих деформаций областей фаз атомного упорядочения, намагничивания во

внешем магнитном поле и ряд других. Рассмотрены возможности применения методик моделирования процессов распада с целью прогнозирования оптимальных составов и термообработок сплавов с высокими демпфирующими свойствами. Рассчитаны перспективные области составов сплавов и температур термообработок, направленных на получение высоких демпфирующих свойств этих сплавов по двум схемам. Первая схема термообработки нацелена на получение структуры типа ферромагнитной губки, состоящей из парамагнитных наночастиц в ферромагнитной матрице, вторая направлена на получение малой разности в намагниченностячх насыщения ферро- и слабоферромагнитной фаз, получаемых на начальных стадиях распада твердого раствора.

Тірек сөздер: Термодинамикалық моделдеу, қатты ертінді, жоғары демфирлі қортпалар, спинодальді аймақ.

Введение. В современной технике для уменьшения шумов и вибраций станков, машин и других конструкций используются сплавы высокого демпфирования. Изготовление даже нескольких деталей машины из таких сплавов позволяет значительно уменьшить уровень шума и вибрации реальных машин, механизмов или элементов конструкции. Для достижения высокого уровня демпфирующей способности сплавов требуется сформировать в них специальную структуру. Согласно модельным представлениям [1, 2, 3], для перехода ферромагнитных сплавов на основе системы Fe – Cr в высокодемпфирующее состояние требуется одновременное выполнение двух условий. Одно из них заключается в формировании специфической дисперсной магнитной доменной структуры с повышенной плотностью подвижных 90-градусных границ доменов, способных к гистерезисному перемещению в поле внешних знакопеременных напряжений. Второе условие — реализация структуры, обеспечивающей оптимальные (не слишком малые) значения коэрцитивной силы и потерь на перемагничивание. В сплавах на основе системы Fe – Cr структура оптимизируется путем достижения необходимой степени расслоения твердого раствора при термической обработке. При этом специфическая дисперсная структура с повышенной долей 90-градусных границ доменов образуется в ходе термообработки при достаточно медленном охлаждении вследствие того, что обеспечивается более полная аккомодация упругих напряжений магнитострикционной природы в системе магнитных доменов при комнатной температуре. Также в сплавах высокого демпфирования необходим механизм преобразования механической энергии колебаний в энергию, связанную с перемагничиванием материала, в первую очередь, за счет обратного магнитострикционного эффекта. [1,3].

Перечисленным условиям удовлетворяют сплавы на основе систем Fe-Cr и Fe-Cr-Co с ОЦК решеткой, в этих сплавах за счет проведения термообработки по различным режимам возможно формирование различных структурных состояний с различными формой, взаимным расположением и составами нанообластей фаз, на которые распадается изначально однородный твердый раствор [4,5,6]. Несколько типов структуры способны в принципе обеспечить незначительные препятствия для движения доменных стенок. Такой структурой может быть так называемая ферромагнитная губка [7], в которой в матрице – ферромагнитной фазы имеются мелкие изолированные частицы парамагнитной фазы. Другими типами структуры могут быть системы наночастиц со слегка отличающимися составами частиц и их окружающей фазы, такие области являются ферромагнитными со слегка отличающимися намагниченностями, что также является препятствием для движения доменных стенок сквозь такую структуру [8]. Таких структур может быть получено много типов – 12 основных и множество переходных. Они систематизированы в работе [6]. В частности, можно использовать оптимальные для постоянных магнитов наноструктуры, в которых вытянутые по одному направлению наночастицы фазы изолированы тонкими прослойками ферромагнитной фазы с меньшей намагниченностью насыщения или же оптимальные для полужестких магнитных сплавов структуры с взаимнопроникающими области фаз, в которой наночастицы ни ферро- ни ферромагнитной фазы с меньшей намагниченностью насыщения нельзя считать ни матрицей, ни выделениями [8].

Постановка задачи. Создание перечисленных выше структур и связанных с ними демпфирующих свойств возможно в результате оптимально подобранных термообработки и состава сплава – твердого раствора на основе железа. Для решения этой задачи весьма эффективным оказался метод, основанный на моделировании процессов формирования наноструктур в магнитно упорядоченных сплавах на основе железа, никеля и хрома [9-11]. При

таком подходе огромное множество натурных экспериментов заменяется экспериментами вычислительными, с помощью которых ищется оптимальное решение задачи. По результатам расчетов выбираются оптимальные составы сплавов и их термообработки, с ними и проводится небольшое число экспериментов. Такой подход значительно экономит время и средства по сравнению с методом экспериментального поиска, состоящим в подборе составов и термообработок, который оказывается очень длительным и дорогостоящим, и он не позволяет найти оптимальное, истинное решение.

Данный метод был успешно применен для моделирования формирования наноструктур для случая разработки высококоэрцитивных и полужестких сплавов на основе системы Fe-Cr-Co. В данной работе рассмотрены перспективы применения этого подхода для процессов формирования наноструктур для случая разработки на его основе схем термообработок сплавов высокого демпфирования.

Основные типы структуры в сплавах на основе Fe-Cr-Co. В системе Fe-Cr-Co за счет проведения термообработки при разных температурах даже на сплаве одного состава можно сформировать 12 основных и множество переходных типов структуры, они систематизированы в работе [6]. При высокой температуре (700-500 °C) в этой системе происходит распад твердого альфа раствора с ОЦК решеткой на две фазы – ферромагнитную 1, состоящую в основном из Fe Co, и парамагнитную 2, состоящую в основном из хрома [4,5]. Асимметричная форма области расслоения с острым гребнем (см. рис. 1) позволяет даже на сплаве одного состава получать три типа наноструктур: 1) изолированные выделения ферромагнитной фазы в парамагнитной матрице, 2) взимнопроникающие области фаз, 3) изолированные выделения парамагнитной фазы в ферромагнитной матрице. Поверхность раздела областей фаз и связанная с ней поверхностная энергия минимальны, если в виде изолированных выделений выпадает фаза с меньшей объемной долей.

В сплавах на основе Fe-Cr-Co образовавшиеся фазы 1 и 2 обладают близкими значениями параметров решетки, из-за чего они когерентно связаны с другом, так что кристаллическая решетка не нарушается на границе раздела фаз. Изменять разность параметров решетки фаз и связанную с ней энергию упругих деформаций их кристаллических решеток возможно путем легирования сплавов Fe-Cr-Co четвертым элементом. Молибден и вольфрам, распределяющиеся в парамагнитную фазу с большим параметром решетки, увеличивают разность параметров решетки. Al, Nb, Ti, V и ряд других распределяются в ферромагнитную фазу с меньшим параметром решетки и уменьшают разность параметров решетки фаз. При увеличении энергии упругих деформаций кристаллических решеток фаз происходит формирование более неравноосных областей фаз, длинные оси которых направлены вдоль направлений с минимальным модулем Юнга (в случае ОЦК сплавов Fe-Cr-Co - <100>). В каждом из трех основных типов структуры появляются два подтипа – с равноосными и неравноосными областями фаз, а число типов структуры становится равным 6.