**Исследование стабильности ферромагнитной фазы сплава Mn-Al-Ga в зависимости от времени измельчения**

***Нечаев К.С., Важинский Н.М., Горшенков М.В., Фортуна А.С.***

*Студент, 1 курс магистратуры*

*Национальный исследовательский технологический университет МИСИС, институт новых материалов, Москва, Россия*

*E-mail: kosta.neshaev@gmail.com*

Ферромагнитная τ-фаза L10 (P4/mmm) системы Mn-Al является перспективным магнитотвердым материалом с относительно высоким теоретическим значением поля анизотропии (около 5,7 Тл). Данный показатель позволяет использовать τ-фазу в качестве материала для производства элементов электромеханических машин ввиду отсутствия требований к миниатюризации. Использование магнитных сплавов MnAl осложняется низкой термической стабильностью τ-фазы. Исследования показали, что легирование сплавов Mn-Al небольшим количеством Ga позволяет повысить термодинамическую стабильность τ-фазы, замедляя процесс распада [1]. На данный момент зависимость стабильности τ-фазы от механических воздействий не установлена. Целью работы является исследование стабильности ферромагнитной τ-фазы в условиях механической обработки в планетарной шаровой мельнице в течение 1, 3 и 6 часов.

В результате работы было установлено, что фазовый состав порошкового материала не претерпел значимых изменений, что говорит о его механической стабильности при выбранных режимах обработки. Порошок после измельчения в ступке имел фазовый состав 88,9 % τ-фазы, 9,5 % γ2-фазы и 1,6 % фазы β-Mn по объемной доле. После измельчения в течение 6 часов – 85,2 % τ-фазы, 8,5 % γ2-фазы и 6,3 % фазы β-Mn по объемной доле. Изменение количества равновесной γ2-фазы находится в пределах ошибки. Рост количества фазы β-Mn может обуславливаться тем, что выделяющейся в процессе механического измельчения энергии достаточно для протекания процесса распада метастабильной τ-фазы системы Mn-Al.

Анализ изображений, полученных методом СЭМ, от порошка на разных стадиях помола показал, что размер частиц уменьшился с 50-300 мкм до 50-100 мкм. После измельчения частицы приобрели чешуйчатую форму, причем их количество с ростом продолжительности механического измельчения возрастало.

Перед исследованием магнитных свойств во внешнем поле величиной до 2 Тл порошки были намагничены в импульсном магнитном поле величиной 8 Тл, превышающем поле анизотропии. Анализ частных петель гистерезиса порошка на различных стадиях измельчения показал, что значение Hc возросло от 125 кА/м до 213 кА/м. Максимальная Imax и остаточная Ir намагниченности после помола в ступке равнялись 373 кА/м и 173 кА/м соответственно, а после 6 часового помола – 285 кА/м и 137 кА/м соответственно. В работе [2] подобная тенденция объясняется увеличением плотности дислокаций в теле зерна, что приводит к локальному изменению кристаллографических параметров решетки и, как следствие, к изменению расстояния между атомами Mn, находящимися в позициях [000] и [½ ½ ½]. Данный эффект затрудняет движение границ доменов при перемагничивании, увеличивая коэрцитивную силу и остаточную намагниченность. В свою очередь, изменение расстояния между атомами марганца приводит к увеличению антиферромагнитного взаимодействия между ними и уменьшению максимальной намагниченности.

*Работа выполнена при поддержке гранта РНФ 23-13-00161.*

**Литература**

1. Mix T. et al. Alloying with a few atomic percent of Ga makes MnAl thermodynamically stable //Acta Materialia. – 2017. – Т. 128. – С. 160-165.

2. Bittner F. et al. The impact of dislocations on coercivity in L10-MnAl //Journal of Alloys and Compounds. – 2017. – Т. 704. – С. 528-536.