

**ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ,  
ФАЗОВОГО И ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА  
СПЛАВА ТРОЙНОЙ СИСТЕМЫ Mn-Al-Ga, ЛЕГИРОВАННОГО Ti,  
ПРИ ВАРЬИРОВАНИИ РЕЖИМА ТЕРМООБРАБОТКИ**

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

Национальный исследовательский технологический университет МИСиС  
119049, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 4, стр. 1

Магнитотвердые материалы применяют во многих отраслях промышленности и используются в: 1) генераторах для преобразования механической энергии в электрическую (ветряные турбины, гидроэлектростанции), 2) электродвигателях (электротранспорт, БПЛА); 3) магнитозаписи (MRAM); 4) медицинском оборудовании (МРТ); 5) ВПК (системы позиционирования, наведения и стабилизации). Наиболее востребованными постоянными магнитами являются ферромагнитные сплавы на основе редкоземельных металлов ( $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ ,  $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ ). Однако высокая стоимость прекурсоров, низкая эффективность переработки и неоднородность распределения месторождений в мире, сложность и многостадийность производства, а также экологический ущерб, оказываемый природе при добыче компонентов, подталкивают человечество к поиску альтернативных магнитотвердых материалов, лишенных данных недостатков.

$\tau$ -фаза L1.0 (P4/mmm) системы Mn-Al является перспективным магнитотвердым материалом за счет высокого значения поля анизотропии  $H_a$  ( $\sim 5,7$  Тл), определяющего возможное значение коэрцитивной силы. Данный аспект, низкая стоимость компонентов и высокая распространенность месторождений данных элементов в мире делает применение магнитов MnAl экономически выгодным. Основным недостатком  $\tau$ -фазы является ее метастабильность. Легирование сплавов MnAl небольшим количеством Ga решает данную проблему без снижения температуры Кюри  $T_c$ , как при легировании С, что позволяет использовать магниты Mn-Al-Ga в большем диапазоне рабочих температур. Известна информация, о том, что Ti уменьшает плотность антифазных границ, причем атомы Mn на данных границах связываются ферромагнитно, что приводит к росту намагниченности насыщения  $I_s$ , коэрцитивной силы  $H_c$  и максимального магнитного произведения  $BH_{\text{max}}$ . Целью данной работы является исследование магнитных свойств, фазового и химического состава сплава тройной системы Mn-Al-Ga, легированного Ti при варьировании режима термообработки.

Установлены закономерности изменения фазового и химического состава сплавов, параметров решетки и соотношения  $c/a$   $\tau$ -фазы, магнитных свойств и значений микротвердости  $\tau$ -фазы. Проведены серии изохронных отжига и отжига с переменной продолжительностью. Были чопределены подходящие режимы термообработки сплавов, при которых достигается наибольшая объемная доля ферромагнитной фазы. На основе совокупности полученных результатов были даны рекомендации для дальнейшего механического измельчения сплавов.

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