

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ СТАБИЛЬНОСТИ
И МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ ФЕРРОМАГНИТНОЙ ФАЗЫ
СПЛАВА ТРОЙНОЙ СИСТЕМЫ Mn-Al-Ga
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВРЕМЕНИ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ**

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

Увеличение производства ветроэлектрических установок и электрокаров приводит к росту потребления высокопроизводительных постоянных магнитов, подавляющая часть которых – магниты на основе редкоземельных материалов (РЗМ). Однако, РЗМ магниты ввиду многих недостатков, связанных с их производством и переработкой, требуют нахождения альтернативы. В частности, производство РЗМ магнитов в России сильно зависит от импорта прекурсоров, поэтому данное направление исследований является крайне перспективным.

τ -фаза L1.0 (P4/mmm) MnAl является перспективным магнитотвердым материалом за счет высокого значения поля анизотропии H_a (~5,7 Тл), а низкая стоимость компонентов и высокая распространенность месторождений элементов в мире делает применение магнитов Mn-Al экономически выгодным. Недостаток данной фазы – ее метастабильность, однако, легирование сплавов MnAl небольшим количеством Ga решает данную проблему, сохраняя высокий уровень магнитных свойств. Более того, рост температуры Кюри является преимуществом по сравнению с легированием С, что позволяет использовать магниты системы Mn-Al-Ga в большем рабочем диапазоне температур. На данный момент нет работ, исследующих структуру и магнитные свойства сплавов Mn-Al-Ga полученными различными методами формирования высококоэрцитивного состояния. Целью данной работы является исследование термодинамической стабильности и магнитных свойств ферромагнитной τ -фазы в условиях механического воздействия в планетарной шаровой мельнице и последующих отжигов.

Установлены закономерности изменения магнитных свойств, фазового состава, размера и формы частиц, параметров решетки и отношения c/a τ -фазы. Продемонстрирована высокая стабильность τ -фазы. Установлено, что «сухой» низкоэнергетический помол приводит к ингибированию процесса холодной сварки, способствуя формированию высокоанизотропных чешуйчатых частиц, чего ранее не наблюдалось. Измельчение длительностью > 3 часов приводит к изменению параметров решетки и отношения c/a за счет механического разупорядочения τ -фазы, приводящей к росту антиферромагнитного взаимодействия между атомами Mn и снижению значений максимальной I_{\max} и остаточной I_r намагниченностей. Отжиг, снимая внутренние напряжения и способствуя химическому перераспределению компонентов между фазами уменьшает вклад антиферромагнитного взаимодействия атомов Mn, что приводит к повышению значений I_{\max} и I_r до близких к состоянию перед помолом, без значимого падения H_c .

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