

**ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРОВАНИЯ Cu НА ФАЗОВО-СТРУКТУРНОЕ  
СОСТОЯНИЕ И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА  
СПЛАВОВ  $Mn_{55-x}Al_{36}Ga_9Cu_x$  ( $x = 0, 1, 2, 3, 4, 5$ )**

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

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

Магнитные сплавы Mn-Al-Ga представляют большой интерес как потенциальная альтернатива высокопроизводительным, но дорогим редкоземельным магнитам и малопроизводительным, но дешевым ферритам. В настоящее время ключевой задачей является разработка методов обработки и легирования для достижения оптимальных магнитных свойств сплавов на основе Mn-Al-Ga. Теоретические расчеты показывают высокую перспективу этих сплавов, однако на практике эти свойства пока не реализованы. Известно, что добавление меди в сплавы системы Mn-Al повышает их обрабатываемость, что важно для оптимизации магнитных свойств. Однако на сегодняшний день отсутствуют данные о влиянии меди на фазово-структурное состояние и магнитные свойства сплавов Mn-Al-Ga. Целью данной работы является исследование зависимости свойств и структуры сплавов Mn-Al-Ga от концентрации добавки меди.

Сплавы с номинальным составом  $Mn_{55-x}Al_{36}Ga_9Cu_x$  (где  $x = 0, 1, 2, 3, 4, 5$ ) были получены методом индукционной плавки. В сплаве  $Mn_{51}Al_{36}Ga_9Cu_4$  литьем удалось добиться около 98% объема ферромагнитной фазы. После гомогенизационного отжига и закалки с критической скоростью образцы состояли преимущественно из ферромагнитной  $\tau$ -фазы и фазы  $\gamma_2$ . Анализ методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) показал смещение пиков фазовых превращений в сторону более низких температур с увеличением концентрации меди. В результате отжига в сплавах с содержанием меди до 3 ат.% удалось получить высокую концентрацию  $\tau$ -фазы (до 93,9 % по объему). В сплавах с содержанием меди 4 и 5 ат.% превращение из  $\gamma_2$  в  $\tau$ -фазу происходило неактивно из-за образования химической неоднородности внутри фазы  $\gamma_2$ . Анализ магнитных свойств сплавов

$Mn_{55-x}Al_{36}Ga_9Cu_x$  (где  $x = 1, 2, 3, 4, 5$ ) в отожженном состоянии показал высокие значения максимальной намагниченности (до 369 кА/м), сравнимые с максимальной намагниченностью, наблюдаемой в тройных сплавах Mn-Al-Ga. Исследования микроструктуры подтвердили образование немагнитной прослойки  $\gamma_2$  по границам зерен ферромагнитной фазы при содержании меди 4 и 5 ат.%.

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