МЕТАЛЛУРГИЯ

УДК 669.018.684.41

Н. С. БЕКТУРГАНОВ, В. В. ВАВИЛОВА**,*
Б. Л. ЛЕВИНТОВ, С. К. НАМАЗБАЕВ*, М. О. АНОСОВА***

ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ НОВЫХ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ АМОРФНЫХ ФЕРРОФОСФОРНЫХ СПЛАВОВ

Приведены результаты исследований с использованием различных видов воздействия по созданию нанокристаллической структуры с уникальным сочетанием физико-химических свойств в процессе контролируемой кристаллизации аморфных сплавов, полученных на основе электротермического феррофосфора.

В последние годы внимание исследователей – материаловедов было обращено на создание аморфных магнитомягких материалов с нанокристаллической структурой [1]. Эти материалы отличаются необычным сочетанием свойств и превосходят по параметрам аморфные сплавы. Переход вещества в наносостояние, когда размер кристалла хотя бы в одном из направлений уменьшается до 100 нм, позволяет создать новые функциональные материалы и устройства с уникальными характеристиками. При этом нанокристаллическая структура создается в аморфном сплаве в процессе термического нагрева с контролируемой температурой кристаллизации. Для создания нанокристаллической структуры отжиг проводится так, чтобы возникло большое число центров кристаллизации, а скорость роста кристаллов была низкой [2]. Меняя соотношение числа центров кристаллизации и скорости их роста, можно задержать процесс кристаллизации на определенном этапе и получить необходимую нанокристаллическую структуру. По мере снижения размера зерна в магнитомягких аморфных материалах было отмечено повышение магнитной проницаемости [3]. На этом основано создание нового поколения магнитомягких аморфных нанокристаллических сплавов системы Fe-Si-B-Nb-Cu типа Finemet [4], уникальные магнитные свойства которых превосходят таковые для обычных аморфных ферромагнетиков.

Целью настоящего исследования являлось создание нанокристаллической структуры отжигом новых, более дешевых аморфных сплавов, полученных на основе феррофосфора, побочного продукта электротермического производства фосфора [5].

В результате доведения состава жидкого феррофосфора до необходимого соотношения компонентов с помощью сверхбыстрой закалки была изготовлена большая группа аморфных сплавов (АС) различных систем: тройных – Fe-P-M: (Si, Mn, V, Mo, Nb), четверных: Fe-P-Si-V, Fe-P-Mn-V, Fe-P-Si-Mn и шестикомпонентных: Fe-P-Mn-Si-V-C. Закалку сплавов производили на быстровращающемся медном диске (скорость вращения варьировалась от 2200 до 2800 об/мин в зависимости от состава сплавов) со скоростью охлаждения 10^5–10^6 К/сек. Быстрозакаленные сплавы получены в виде лент толщиной 20–35 мкм и шириной 2–10 мм.

Полученные сплавы исследовали в быстрозакаленном и отожженном состоянии. Отжиг проводили в интервале 250–550°С в течение 10 мин в вакуумированных кварцевых ампулах с последующей закалкой в воде.

Затем полученные сплавы исследовали методами: рентгеновской дифракции (CoK_α-излучение, оценку выделяющихся фаз проводили по формуле Селякова-Шерера), термической дериватографии (ДТА при скорости нагрева 20 К/мин) для определения температуры кристаллизации $T_{кр}$, мессбауэровской спектроскопии (съемку мессбауэровских спектров проводили на спектрометре с лазерной стабилизацией "Персей" и ЯГСР-4, обработку спектров осуществляли по программам Loren, Univem MS, Normos Dist), просвечивающей электронной микроскопии, резистометрии, магнитометрии, измерений пластичности и микротвердости.

В результате были изучены фазовые равновесия и области аморфизации в вышеуказанных многокомпонентных системах [6-8]. Интервалы кристаллизации тройных сплавов систем Fe-P-Mo (*а*), Fe-P-V (*б*), Fe-P-Nb (*в*), Fe-P-Mn (*г*), Fe-P-Si (*д*) представлены на рис. 1. Четверные