

ЭВОЛЮЦИЯ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ АМОРФНЫХ СПЛАВОВ В УСЛОВИЯХ ЛАЗЕРНОГО ОБЛУЧЕНИЯ

Пермякова И.Е.¹, Иванов А.А.², Черногорова О.П.³, Шеляков А.В.²

¹ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина», ²НИЯУ «МИФИ»,

³ИМЕТ им. А.А. Байкова РАН, Москва, Россия

inga_perm@mail.ru

В настоящее время лазерная обработка является востребованной технологией применительно к аморфным сплавам (АС). Так, например, селективное лазерное плавление – перспективный метод аддитивного производства, позволяющий изготавливать объемные АС сложной геометрии и больших размеров за счет прецизионного технологического процесса, а также высокой стеклообразующей способности, обусловленной высокими скоростями охлаждения (10^3 - 10^8 К/мин). Использование лазеров привлекательно с точки зрения их высокой точности, скорости, плотности энергии и низкой стоимости. Кроме того, импульсный лазер лучше, чем непрерывной, поскольку он сокращает время взаимодействия при высокой температуре, снижая риск кристаллизации. Актуальным направлением исследований является изучение физических закономерностей формирования свойств АС и фазовых превращений, происходящих в них при лазерном облучении.

В данной работе объектами изучения выбраны быстрозакаленные ленты АС систем Co-Fe-Cr-Si-B, Fe-Ni-B. Лазерная обработка проводилась в импульсном режиме эксимерным ультрафиолетовым KrF-лазером ($\lambda = 248$ нм, $\tau = 20$ нс).

Проведено численное моделирование тепловых полей в АС при лазерном нагреве для оптимизации режимов лазерной обработки с целью создания новых композиционных материалов с управляемым комплексом свойств. По подобранным вариантам облучения (при варьировании числа импульсов, их энергии, частоты следования и др.) удалось получить двух-, трехслойные аморфно-нанокристаллические структуры, а также композитные материалы (плотно покрытые, полосовые, "шахматные"), представляющие собой аморфную матрицу, армированную кристаллическими областями, которые сформированы в строго заданных технологических позициях по поверхности и в объеме лент АС за счет селективного воздействия лазера.

Установлено, что после лазерного облучения может изменяться порядок фазообразования и тип кристаллизации АС (при сопоставлении с обычным отжигом в электропечи). Обработка малым количеством импульсов эффективна для улучшения качества поверхности АС (снижения шероховатости, залечивания пор, снятия остаточных напряжений, возникших при получении лент). Обработка при $200 < n \leq 500$ имп. перспективна с точки зрения повышения прочности, упругости (до 25%) и сохранения ненулевой пластичности АС. Упрочняющий эффект в АС от используемого эксимерного лазера более выражен, чем при печном отжиге, но уступает технологии КВД (в частности, для АС $\text{Co}_{70.5}\text{Fe}_{0.5}\text{Cr}_4\text{Si}_7\text{B}_{18}$ максимальная достигаемая твердость по Виккерсу при отжиге $HV = 13.7$ ГПа, при лазерном облучении – 15 ГПа, при КВД – 20 ГПа).

Показано, что в ходе лазерного воздействия, вызывающего частичную кристаллизацию АС, индуцируемые напряжения определяют вид доменной структуры и вносят вклад в распределение намагниченности и процессы перемагничивания в ленте. Подбор оптимального энерговклада от лазерного нагрева очень важен для улучшения магнитных свойств и снижения магнитных потерь в АС.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 20-08-00341 "А")