

Порошок для 3D-печати «умных» устройств



Сплавы с эффектом памяти формы, управляемым магнитным полем, могут сделать робототехнические актуаторы и сенсоры быстрее и точнее. Однако широкому применению таких материалов, в частности системы Co-Ni-Al, мешают две проблемы: высокая стоимость сферических порошков для аддитивных технологий и непредсказуемое изменение магнитных свойств при высокотемпературной обработке.

Исследователи Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого совместно с коллегами из Научного парка СПбГУ и Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе РАН нашли способ обойти оба ограничения. В статье, опубликованной в журнале *Materials Chemistry and Physics* (Q1), они представили технологию получения порошка $\text{Co}_{37}\text{Ni}_{36}\text{Al}_{27}$ с регулируемыми магнитными характеристиками, пригодного для экструзионной 3D-печати.

Вместо дорогого газового распыления ученые применили механическое легирование (МА) — интенсивную обработку смеси элементарных порошков кобальта, никеля и алюминия в аттриторе. После 15 часов МА формируется неравновесная пересыщенная FCC-структура.

Последующий отжиг превращает ее в нанокристаллическую смесь фаз β и γ , и именно этот переход позволяет управлять свойствами.

Авторы систематически исследовали влияние температуры (от 270 до 900°C) и времени выдержки на структуру и магнетизм. Главные результаты:

- Коэрцитивная сила H_c растет с увеличением температуры отжига, достигает пика вблизи 700°C (207 Э) и снижается при дальнейшем нагреве. Это напрямую связано с объемной кристаллизацией в интервале 637-664°C, зафиксированной на DSC-кривых.
- Размер областей когерентного рассеяния (CSR) для β -фазы увеличивается с 4 ± 1 нм в исходном состоянии до 67 ± 5 нм после отжига при 700°C. Температура влияет на рост кристаллитов сильнее, чем время выдержки.
- Насыщенная намагниченность M_s , напротив, снижается при формировании двухфазной структуры, а затем начинает расти при 900°C из-за уменьшения доли β -фазы.

Таким образом, изменяя параметры отжига, можно предсказуемо получать состояния с коэрцитивностью от 40 до 207 Э. Порошок после механического легирования имеет неправильную форму — для экструзионной печати это не препятствие, а в ряде случаев, как показано в литературе, позволяет достичь более высокой относительной плотности по сравнению со сферическими частицами.

Оригинал статьи: *Effect of heat treatment on structure and magnetic properties of Co-Ni-Al powder produced by mechanical alloying for extrusion-based 3D-printing. Materials Chemistry and Physics, 2026, Volume 349, 131857.*