**Изучение магнитокалорического эффекта в среднеэнтропийном сплаве GdTbDyY**

***Крот П.А.1, Панкратов Н.Ю.2, Вербецкий В.Н.1, Терёшина И.С 2***

*Аспирант, 3 год обучения*

*1Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,   
химический факультет, Москва, Россия*

*2 Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,   
физический факультет, Москва, Россия*

*E-mail:*[*pavelakrot@gmail.com*](mailto:pavelakrot@gmail.com)

Средне- и высокоэнтропийные сплавы (СЭС и ВЭС)  — смежные классы сплавов с большим числом основных элементов (~5-35 ат. % для каждого) в их составе. Обычно к ВЭС относят сплавы с 4, 5, 6, ... основными элементами, к СЭС  — 3-4 элементами. Рост числа основных элементов в твердом растворе влечет рост его энтропии смешения.

Активное изучение ВЭС/СЭС началось после 2004 года, когда Yeh et al. и Cantor et al. независимо опубликовали работы с описанием нового класса сплавов [1, 2].

В 2017 году Yuan et al. сообщили о «гигантском» магнитокалорическом эффекте (МКЭ), наблюдаемом в ряде СЭС и ВЭС на основе редкоземельных элементов (РЗЭ) [3]. МКЭ проявляется при помещении тела во внешнее магнитное поле и состоит в адиабатическом изменении температуры (ΔTad). Холодильные машины на основе МКЭ способны поддерживать температуры до нескольких К и отличаются экологичностью.

РЗЭ имеют близкие ионные радиусы и электроотрицательности, без труда образуют твердые растворы друг с другом. Для коммерческого использования (например, в медицине), холодильные машины должны работать при 150-250 К. Сильнее всего МКЭ проявляется в области магнитных фазовых переходов материала [4]. У РЗЭ Gd, Tb и Dy точки магнитных фазовых переходов лежат в этом диапазоне (см. таблицу 1).

В данной работе осуществлен синтез СЭС на основе РЗЭ номинального состава GdTbDyY методом электродуговой плавки. Проведен рентгенофазовый анализ сплава (ARLX’TRA™), поверхность и элементный состав исследованы при помощи сканирующей электронной микроскопии с энергодисперсионной рентгеновской спектроскопией (LEO EVO 50 XVP™). На оригинальном вибрационном магнетометре измерялась намагниченность сплава в различных магнитных полях. Далее по формулам (2) и (3) рассчитывались кривые зависимости величины МКЭ от температуры в различных полях. Проведено сравнение магнитных свойств полученного сплава и составляющих его РЗЭ.

(2), (3),

- изменение магнитной энтропии рабочего тела, М - намагниченность, H - напряженность магнитного поля, C - теплоемкость, - для магнитного перехода.

Таблица 1. Параметры решетки и температуры переходов РЗЭ и изученного сплава

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Материал | a, Å | с, Å | c/a | V, Å3 | Θ1, K | Θ2, K |
| GdTbDyY | 3.594 | 5.670 | 1.58 | 63.17 | 140 | 201 |
| Gd | 3.636 | 5.782 | 1.59 | 65.93 | 293 (Тс) | / |
| Tb | 3.601 | 5.694 | 1.58 | 63.68 | 222 | 230 |
| Dy | 3.593 | 5.654 | 1.57 | 62.95 | 87 | 180 |

**Литература**

1. 1. Yeh, J.-W.; Chen, S.-K.; Lin, S.-J.; Gan, J.-Y.; Chin, T.-S.; Shun, T.-T.; Tsau, C.-H.; Chang, S.-Y. Advanced Engineering Materials. **6** (5): 299–303.

2. Cantor B, Chang I, Knight P, Vincent A. Microstructural development in equiatomic multicomponent alloys. Mater Sci Eng 2004;375–377:213–8.

3. Y. Yuan, Y. Wu, X. Tong, et al, Acta Mater. v. 125, 2017, p. 481-489.

4. A.S. Andreenko, K.P. Belov, S.A. Nikitin, A.M. Tishin. Sov. Phys. VSP. 1989, 32, p. 649-664.