

ДОСЛІДЖЕННЯ КРИСТАЛІЧНОЇ СТРУКТУРИ ТА ФАЗОВОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ В СУБМІКРОННОМУ ПОРОШКУ СПЛАВУ $\text{Ni}_{48.3}\text{Mn}_{30.7}\text{Ga}_{21}$

Б. Д. Денисюк^{1,2, a}, П. К. Горбач², Н. І. Главацька²

¹Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

²Інститут металофізики ім. Г.В.Курдюмова НАН України

Анотація

В роботі представлені результати дослідження структурних змін в порошках Ni-Mn-Ga методом рентгенівської дифракції $\text{CuK}\alpha$.

Ключові слова: Ni-Mn-Ga, порошки, мартенсит, пам'ять форми

Вступ

В останні роки науковому світі інтенсивно досліджуються сплави Ni-Mn-Ga, які мають мартенсит в феромагнітному стані, завдяки комплексу функціональних властивостей які вони демонструють, а саме: магнітопластичність, великий магнітокалоричний ефект, суперпружність, термопружність, пам'ять форми, особливі транспортні властивості. Особлива увага до феромагнітних мартенситів системи Ni-Mn-Ga, зумовлена відкриттям в них явища велетенської (до 10%) магнітопластичності – деформації під дією магнітного поля [1]. Функціональні властивості обумовлюються структурним станом сплаву (гетеро- чи монофазністю, ступенем впорядкування, характером двійникової структури мартенситу, наявністю дефектів та ін.). Особливістю мартенситів інтерметалідів Гейслера є сильна залежність температур мартенситних перетворень і типа кристалічної ґратки мартенситу від співвідношення компонент у складі сплаву [2, 3]. В залежності від співвідношення компонент в нестехіометричних сплавах Ni-Mn-Ga спостерігаються основні типи кристалічної ґратки: немодульована тетрагональна НТ, модульована 5-ти шарова (5R₁) та 7-ми шарова (7R) в рамках уявлень про хвилі зміщень в модульованих структурах [4]. Магнітопластичність спостерігається тільки в «модульованих мартенсітах. Визначальною особливістю кристалічної структури 5R та 7R мартенситів, є домінування нанодвійникової структури, яка спостерігалась неодноразово за допомогою атомної мікроскопії високої роздільної здатності [5, 6]. Нанодвійникова структура феромагнітних мартенситів визначає велику перспективу застосування цих матеріалів для нанорозмірних об'єктів для функціональних магнітопластичних матеріалів нового покоління.

1. Методика створення зразків

В даній роботі подрібненням в планетарному млині в різних режимах та з використанням ручного помелу отримано порошки з розміром часток 5 – 25 мкм. Показано, що режим виготовлення порошків, а саме умови подрібнення і наступні термообробки, суттєво впливають на структурний стан часток порошків. Вплив відпалу на кристалічну структуру порошку ілюструє рис. 1. Порошок, отриманий в найменш жорстких умовах із дво-етапним розмеленням (розмелений вручну), після подрібнення та низькотемпературного відпалу містить мартенситну фазу при кімнатній температурі і не потребує високотемпературного відпалу для впорядкування (рис. 1). В порошках з розміром частинок 5 – 25 мкм із сплаву $\text{Ni}_{48.3}\text{Mn}_{30.7}\text{Ga}_{21}$, виготовлених подрібненням в планетарному млині з наступним відпалом і з дво-етапним розмеленням, отримано мартенсит з нанодвійниковою структурою при кімнатній температурі (рис.1а).

Після помелу і низькотемпературного відпалу в порошку №1 (рис. 1а) сформувалась мартенситна гранецентрована тетрагональна структура (ГЦТ) з параметрами $a = b = 5.95 \text{ \AA}$, $c = 5.59 \text{ \AA}$ з моноклінним відхиленням з кутом $\varphi = 90.3^\circ$. Відпал, який в ряді робіт застосовували для впорядкування кристалічної структури порошку [7] в нашому випадку для порошку, в якому і після помелу сформувався мартенсит, привів до дещо несподіваного результату (рис. 1б). Мартенсит має більш складну структуру, порівняно с рис. 1а. Структура порошку після відпалу являє собою при кімнатній температурі суміш двох мартенситів, а саме тетрагонального і нанодвійникового орторомбічного з параметрами ґратки $= 4, 226$, $b = 5, 595$, $c = 21, 292 \text{ \AA}$, $\varphi = 100, 02^\circ$. Закономірне розташування надструктурних піків на рис. 1а відповідає нанодвійникової структурі високої щільності [8], що типово для масивного зразку цієї композиції.

^akotuchi0203@gmail.com

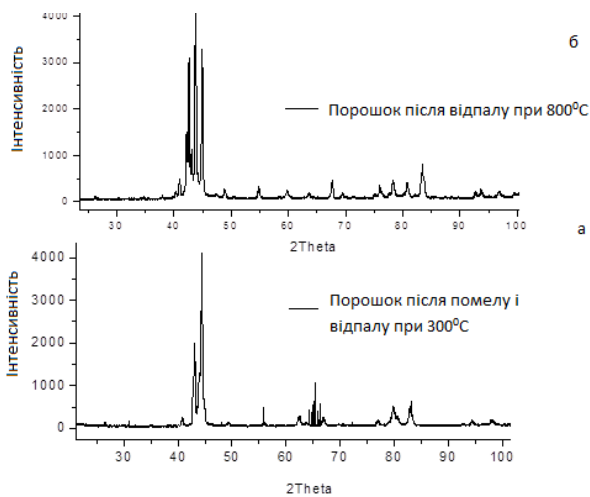


Рис. 1. Дифрактограми, отримані методом рентгенівської дифракції (CuKa) при кімнатній температурі для порошку Ni_{48,3}Mn_{30,7}Ga₂₁ після помелу і низькотемпературного відпалу при 3000С №1 (а) та після відпалу при T=8000С на протязі 6 годин (б) №2.

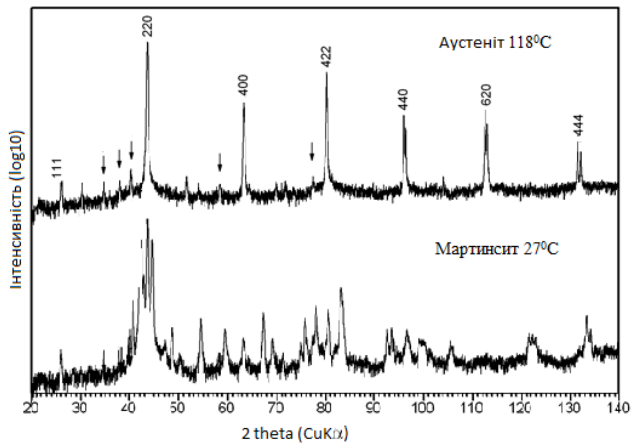


Рис. 2. Дифрактограми порошку 2 в аустенітному і мартенсітному станах

2. Результати досліджень

Методом дифракції рентгенівських променів досліджено пряме і зворотнє мартенсітне перетворення в порошок №2 шляхом нагріву та охолодження безпосередньо під час проведення дифракційного

експерименту (рис. 2). Дослідження структури аустеніту при нагріві цього порошку на рис. 1б безпосередньо в дифрактометрі виявило незвичні особливості рис. 2. Наявність надструктурних рефлексів на дифрактограммі аустеніту (рис. 2) при температурі (1180°C), яка є значно вища за температури кінця мартенсіт-аустенітного перетворення (450°C) для цієї композиції, свідчить про існування в аустенітній фазі частково впорядкованих дефектів пакування.

Висновки

Отримані в роботі порошки з нанодвінікованою структурою мартенсіту Ni-Mn-Ga при кімнатній температурі є перспективними для реалізації ефекту магнітопластичних деформацій, магнітної, термічної і термомеханічної пам'яті форми в мікро і нанорозмірних об'єктах в разі створення на їх базі метал-полімерних композитів. Можливість виготовлення порошкових нанорозмірних систем з феромагнітних інтерметалідів Ni-Mn-Ga суттєво розширює коло застосування цих матеріалів в різних галузях спінтроніки, наноактуторів, наносенсорів, систем точкового магнітного охолодження приладів мікроелектроніки та ін.

Перелік використаних джерел

1. Ullakko K., Huang J.K. та ін. *Appl.Phys. Let.* — 1996. — с. 1968–1971.
2. Chernenko V.A. Compositional instability of β -phase in Ni-Mn-Ga alloys. — *Scripta Materialia* (1999) — с. 523–527.
3. Pons J., Chernenko V.A., Santamarta R., Cesari E. *Acta Mater.* 48. — (2000) — с. 3027–3038.
4. J. Pons, V. A. Chernenko, R. Santamarta and E. Cesari. *Acta Mater.* 48. — (2000) — с. 3027–3038.
5. J.Pons та ін. *Mat.Sci.Engi.*. — (2006) — с. 438–440.
6. Y.Ge та ін. *Mat. Sci. Engineering A.* — (2006) — с. 438–440.
7. B. Tian та ін. *Journal of Alloys and Compounds*, Volume 509, Issue 13, 31 March. — (2011) — с. 4563–4568.
8. A. Ustinov, L. Olikhovska, N. Glavatska, I. Glavatskyu. *J. Phys.: Conf. Ser.* 226 012016. — 2010.