

чивши вищезазначені параметри та місце, де такий пристрій буде встановлено, можна прорахувати його максимальні розміри з метою дотримання значення мінімального проміжку між, наприклад, кристалізаторами МБЛЗ.

Не дивлячись на складність наведених факторів, у нинішній час існує можливість математичного дослідження особливостей процесу електромагнітного впливу на розплав, що є подальшим етапом дослідження.

Список літератури

1. Furumai K., Matsui Y., Murai T., Y. Miki. Evaluation of Defect Distribution in Continuously-Cast Slabs by Using Ultrasonic Defect Detection System and Effect of Electromagnetic Brake on Decreasing Unbalanced Flow in Mold // ISIJ Int. 2015. Vol. 55. No. 10. P. 2135–2141.

2. Vdovin, K.N., Shahov, S.I. Electromagnetic mixing of metal for CCM // The theory and process engineering of metallurgical production. 2019, vol. 28, no. 1, pp. 4-8.

УДК 669.018.72:539.213

Р. А. Сергієнко, О. А. Щерецький, А. М. Верховлюк, Д. С. Каніболоцький

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів

НАН України, м. Київ

Тел.: +38044 424-10-65, e-mail: rsruslan17@gmail.com

ОДЕРЖАННЯ НАНОСТРУКТУРНИХ МАТЕРІАЛІВ ШЛЯХОМ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ АМОРФНИХ СПЛАВІВ

Створення матеріалів з аморфно-нанокристалічною структурою є перспективним напрямком на сьогоднішній день і може вирішити проблему, пов'язану з низькою пластичністю аморфних сплавів [1]. Для формування аморфно-нанокристалічної структури використовують різні методи впливу на аморфні сплави - це тепловий або деформаційний впливи; імпульсна фотонна і лазерна обробки; плазмова обробка; іонна імплантація; височастотне (ультразвукове) механічне навантаження і ряд інших [2, 3]. Відомо, що за допомогою термічної обробки аморфні сплави, які кристалізуються у кілька стадій, можна перевести в змішаний (аморфно-нанокристалічній)

стан. У даній роботі ізотермічну обробку аморфного сплаву $Zr_{65}Cu_{17,5}Ni_{10}Al_{7,5}$ у вигляді прутків та стрічок, проводили у вакуумі в температурному інтервалі – між температурою склування (T_g) і кристалізації (T_x), при різних режимах обробки: 370 °C – 1 год., 2 год.; 400 °C – 5 хв., 40 хв., 2 год.; 410 °C – 1 год.; 420 °C – 1 хв., 30 хв., 1 год.; 430 °C – 1 год.; 440 °C – 0,5 год.; 450 °C – 20 хв. Встановлено, що витримка аморфних сплавів при температурі вище температури склування (T_g) зменшує частку аморфної фази в матеріалі. Для отримання аморфно-нанокристалічної стану, час витримки аморфного сплаву при низькій температурі (близько T_g) повинен бути значним (кілька годин), так як дифузійна рухливість атомів при цій температурі досить низька. Термообробка в інтервалі температур між T_g і T_x не повинна тривати більше ніж 0,5 год. Термообробка вище температури кристалізації (T_x) повинна тривати не більше хвилини, а швидкість нагріву і охолодження зразку повинні бути максимальними, щоб частинки, які виділяються при кристалізації, були нанорозмірні. Кінетику кристалізації аморфного сплаву вивчали рентгенофазовим методом на аналізаторі ДРОН-3 з кобальтовим випромінюванням ($\lambda = 0.17902$ нм), для аналізу результатів вимірювання використовували модель Колмогорова-Джонсона-Мейла-Аврамі (КДМА) [4]. З побудованих графіків (рис. 1) визначали кінетичний показник Аврамі n , що

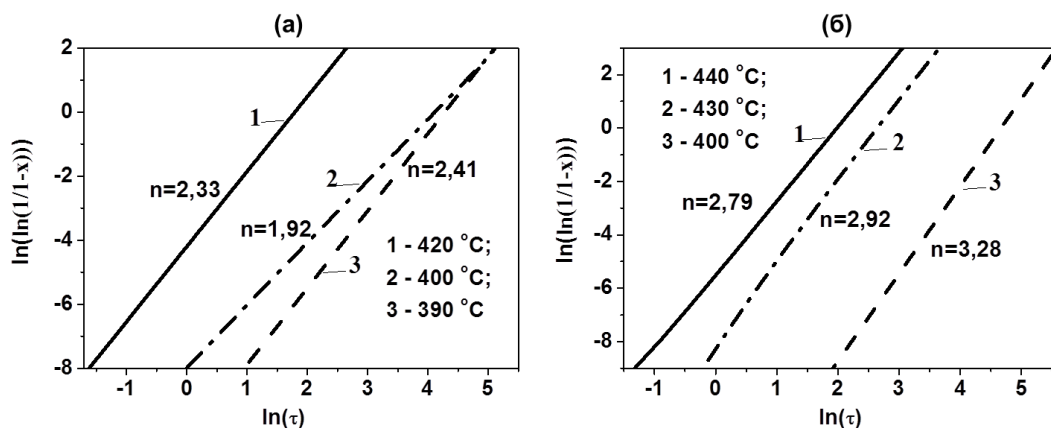


Рис. 1 – Залежність зростання кристалічної фази в аморфній матриці, яка представлена моделлю кінетики кристалізації КДМА: а) пруток, б) стрічка. Об'ємна частка x кристалічної фази в різні моменти часу □.

відповідає за розмірність зростаючих кристалів і частоту появи кристалічних зародків. Значення показника Аврамі $n = 1,92; 2,33; 2,41$ для пруткових зразків (рис. 1а) згідно з моделлю КДМА відповідає випадку зародження нової фази на межах зерен і зростанням кристалів в двох напрямках, при цьому кристалізація лімітується дифузійними процесами. А для стрічкових зразків (рис. 1б), так як показник n ближче до значення 3 ($n = 2,79; 2,92; 3,28$), то зростання кристалів відбувається в трьох напрямках при

нульовій або зменшуваній швидкості зародження нових кристалів. У даній роботі методом просвічувальної електронної мікроскопії вивчали мікроструктуру аморфних стрічок із сплаву $Zr_{65}Cu_{17.5}Al_{10}Ni_{7.5}$ після ізотермічної витримки при 420 °С протягом 30 хв. Зразки для дослідження виготовляли електрополіровкою з подальшим іонним потоншуванням стрічок. Виявлено, що після термообробки в аморфній матриці виділяються частинки двох типів: нанокристали розміром, що не перевищують кілька десятків нанометрів та більші кристалічні частинки, розміром близько 1 мкм. Розшифровка електронограм показала, що нанокристали відносяться до фази Zr_2Cu з тетрагональною об'ємно-центрованою решіткою (S.G. I4/mmm (139)), а великі частинки Zr_2Ni з тетрагональною об'ємно-центрованою решіткою (S.G. I4/mcm (140)). Встановлений фазовий склад відповідає даним отриманим методом рентгенівського фазового аналізу. Не виключається також присутність потрійних фаз $ZrNi_{0,48}Al_{2,52}$ з кубічною примітивною решіткою (S.G. Pm-3m (221)), та Zr_6NiAl_2 з гексагональною примітивною решіткою (S.G. P62m (189)).

Перелік літератури

1. Глезер А. М., Шурьгина Н. А. Аморфно-нанокристаллические сплавы. – М.: Физматлит, 2013. - 452 с.
2. Inoue A., Fan C., Saida J., Zhang T. High-strength Zr-based bulk amorphous alloys containing nanocrystalline and nanoquasicrystalline particles// Sci. Technol. Adv. Mat.- 2000.- vol.1, №2.- P. 73-86.
3. Bakai S.O., Scheretskiy O.A., Bakai K.S., Gorbatenko V.M., Volchok O.I. Effect of high frequency preload on mechanical and thermo-physical properties of bulk metallic glass ($Zr_{55}Cu_{30}Al_{10}Ni_5$)₉₉Y₁// PAST.- 2016.- № 2(102).- P. 78-85.
4. Алексеечкин Н. В. О вычислении объёмных долей конкурирующих фаз// Физика твёрдого тела - 2000. - т. 42, № 7. - С. 1316-1321.