

М.В. Марич
Г.А. Баглюк
Т.Л. Кузнецова
Г.М. Молчановська
О.А. Голубенко

ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ОТРИМАННЯ СПЕЧЕНОГО ЖАРОМІЦНОГО СПЛАВУ СИСТЕМИ Nb-Ti-Al-Cr-Mo

Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України

Анотація. В роботі наведені результати оцінки можливості використання методів порошкової металургії для отримання гомогенного жароміцного сплаву системи 57Nb-10Cr-5Al-21Ti-7Mo (ат. %) із суміші елементарних порошків. Показано, що розмел вихідної порошкової суміші призводить до підвищення величини поруватості пресовок, отриманих із такої шихти, із збільшенням тривалості розмелу, однак сприяє значній інтенсифікації усадки при спіканні. Особливо помітне зменшення пористості спостерігається для зразків, спресованих із порошків розмелених протягом 30 та 60 хв. Після спікання пресовок з суміші елементарних порошків при 1600 °C формується гомогенний однофазний сплав з ОЦК структурою.

Ключові слова: жароміцний сплав, ніобій, порошкова металургія, механоактивація, спікання, структура..

Одним із шляхів підвищення ефективності використання палива і коефіцієнта корисної дії газотурбінних двигунів є використання в гарячій секції двигунів новітніх матеріалів, які мають нижчу густину, можуть витримувати більш високі робочі температури, ніж широко використовувані сьогодні суперсплави на основі нікелю, та відповідати вимогам щодо рівня міцності, повзучості при високих температурах та стійкості до окислення [1-2].

До такого класу матеріалів, здатних значною мірою забезпечувати задекларовані вище вимоги, відносяться сплави на основі ніобію, зокрема - сплави або *in situ* композити на основі силіциду ніобію [2]. Але наявність значного вмісту силіцидних фаз в складі сплавів на основі системи Nb-Si, які забезпечують підвищений рівень їх високотемпературних характеристик, призводить, однак, до критичного падіння значень в'язкості руйнування при кімнатній температурі.

Це обумовило доцільність пошуку шляхів отримання безкремнистих (або -малокремнистих) ніобієвих сплавів, які, за умов забезпечення високого рівня високотемпературних механічних характеристик, мали б достатню міцність та в'язкість руйнування і при кімнатній температурі.

Метою даної роботи була оцінка можливості використання методів порошкової металургії для отримання гомогенного жароміцного сплаву системи 57Nb-10Cr-5Al-21Ti-7Mo (ат. %) із суміші елементарних порошків та оцінка механічних характеристик спеченого сплаву.

Як вихідні матеріали для виготовлення сплаву використовувалися комерційні порошки ніобію, титану, алюмінію молібдену та електролітичного хрому. Вихідну порошкову шихту готували шляхом змішування суміші порошків у барабанному змішувачі з діагональною віссю протягом 60 хв. з додаванням до суміші етилового спирту. З метою механоактивації порошків частину їх піддавали розмелу у планетарному млині варіюючи тривалість процесу в діапазоні 15 - 60 хв. при співвідношенні маси шихти до маси розмельних тіл 1:8. Технологічна схема отримання матеріалу включала пресування порошкових сумішей під тиском 700 МПа та їх наступне спікання спресованих заготовок у вакуумі при температурі 1600 °C.

Як показали дослідження, збільшення тривалості розмелу призводить до монотонного підвищення величини поруватості заготовок отриманих пресуванням при 700 МПа: поруватість пресовок із порошкої суміші, що не піддавалася розмелу, складає ~18 %, тоді як після розмелу на протязі 30 та 60 хв. поруватість збільшується до 30-31 % (рис. 1). Відзначений ефект пояснюється як зміною морфології частинок порошку, так і їх значним деформаційним зміцненням, набутим в процесі розмелу. Збільшення тиску пресування понад 700 МПа призводить до розшарування пресовок.

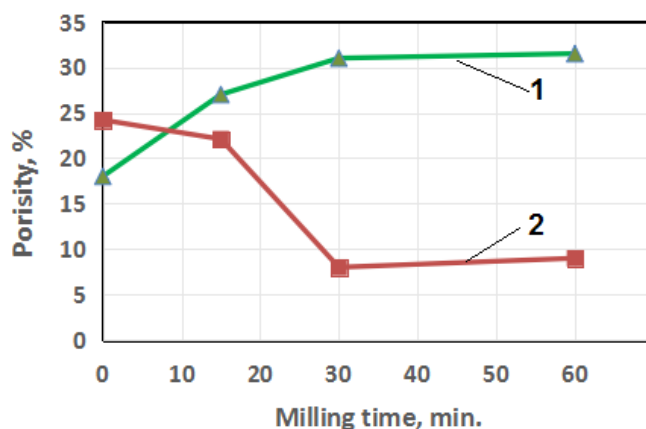


Рис. 1. Вплив тривалості розмелу на пористість заготовок після пресування (1) та наступного спікання при 1600 °C (2)

Враховуючи те, що спіканням нерозмеленої шихти не вдалося отримати матеріал відносно високої щільності, в подальшому розглядався лише сплав, отриманий із шихти, що піддавалася розмолу на протязі 30 хв.

Як показали результати досліджень, структура спечених зразків відзначається високою ступінню гомогенності та складається із зерен головним чином рівновісної форми. Переважний розмір зерен сплаву складає від 25 до 50 мкм. Висока ступінь гомогенності спечених сплавів підтверджується також результатами рентгенофазового аналізу досліджуваних матеріалів. Як можна бачити з рис. 5,а, фазовий склад вихідної порошкової суміші очікувано включає лише лінії елементарних хімічних елементів - складових шихти, тоді як після спікання при 1600 °C формується однофазний сплав з ОЦК структурою, що свідчить про досягнення практично повної гомогенізації матеріалу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Tsakiroopoulos P. Alloys for application at ultra-high temperatures: Nb-silicide in situ composites: Challenges, breakthroughs and opportunities. *Progress in Materials Science*. **123**, 100714 (2022).
2. Graham S.J., Gallagher E., Baxter G.J. et al. Powder production, FAST processing and properties of a Nb-silicide based alloy for high temperature aerospace applications. *Journal of Materials Research and Technology*. **28**, 3217-3224 (2024).

Марич Мирослав Васильович, кандидат технічних наук, старший дослідник, старший науковий співробітник Інституту проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, м. Київ, myroslavmv@ukr.net.

PHYSICAL AND CHEMICAL FEATURES OF OBTAINING SINTERED HEAT-RESISTANT ALLOY OF THE Nb-Ti-Al-Cr-Mo SYSTEM

Abstract. The paper presents the results of the assessment of the possibility of using powder metallurgy methods to obtain a homogeneous heat-resistant alloy of the 57Nb-10Cr-5Al-21Ti-7Mo (at. %) system from a mixture of elementary powders. It is shown that grinding of the initial powder mixture leads to an increase in the porosity of compacts obtained from such a charge with an increase in the grinding duration, but contributes to a significant intensification of shrinkage during sintering. A particularly noticeable decrease in porosity is observed for samples pressed from powders ground for 30 and 60 minutes. After sintering of compacts from a mixture of elementary powders at 1600 °C, a homogeneous single-phase alloy with a bcc structure is formed.

Keywords: heat-resistant alloy, niobium, powder metallurgy, mechanical activation, sintering, structure.

Myroslav Marych, PhD, Senior Researcher, Senior Research Fellow at the I.M. Frantsevych Institute for Problems of Materials Science NAS of Ukraine, Kyiv, myroslavmv@ukr.net.