

УДК 668.045.18

В.І. Ковбашин¹ к.хім.н., доцент, І.Й. Бочар² к.т.н., доцент

¹Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

²Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка

ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ ТУГОПЛАВКИХ МЕТАЛІВ У ПОРОШКОВИХ СЕРЕДОВИЩАХ

Vasiliy Kovbashyn¹, Ph.D., Assoc. Prof.; Igor Bochar², Ph.D., Assoc. Prof.

TECHNOLOGICAL FEATURES OF HEAT TREATMENT OF REFRACTORY METALS IN POWDER MEDIA

Використання молібдену та вольфраму технічної чистоти продемонструвало їхню підвищену крихкість при звичайних та знижених температурах, особливо під час процесів зварювання та рекристалізації. Це значно обмежує їх застосування у високотемпературних технологіях і технічних процесах, таких як авіаційна промисловість, ракетно-космічна техніка та електронні пристрої. Основною причиною такої поведінки є присутність шкідливих домішок на межах зерен цих металів, зокрема, кисню, вуглецю та азоту.

Проведений детальний аналіз існуючих досліджень щодо підвищення пластичності молібдену та вольфраму шляхом їх відпалу в різних хімічно активних середовищах, а також власні попередні результати авторів свідчать про перспективність низькотемпературної обробки тугоплавких металів у вакуумних камерах, а також шляхом поглинання домішок порошковими середовищами, що містять активні хімічні компоненти, наприклад, алюміній, кремній або магній.

Було визначено, що при нагріванні та охолодженні різних металевих сплавів у їхніх поверхневих шарах відбуваються складні процеси перерозподілу хімічних елементів. Частина цих елементів мігрує на поверхню металу, що контактує з вакуумом, інша частина поглиблюється всередину, а решта залишається нерухомою. При охолодженні деякі елементи можуть повертатися на вихідні позиції, однак це відбувається не з усіма компонентами. Подібні процеси міграції домішок суттєво погіршують експлуатаційні характеристики матеріалів, знижуючи їхню пластичність, теплопровідність та стійкість до руйнувань. На підставі цього було детально досліджено поведінку домішок проникнення (вуглецю, кисню та азоту) при нагріванні молібдену та вольфраму до температури 800°C з подальшим охолодженням до кімнатної температури [1].

Результати досліджень показали, що під час першого нагрівання ($t=150^{\circ}\text{C}$) у тугоплавких металів концентрація домішок проникнення на поверхнях руйнування зростає, тоді як у глибших шарах металу їх вміст частково знижується. Цей процес обумовлюється дифузією домішок з глибини на поверхню, що може призводити до локальних змін фізико-хімічних характеристик.

Дослідження впливу температурних режимів на зміну питомої маси зразків молібдену і вольфраму під час дифузійного відпалу свідчать, що оптимальне видалення домішок проникнення з тугоплавких металів досягається за температури близько 500°C. При нагріванні молібденових зразків у діапазоні температур 100-290°C спостерігається максимальне зниження питомої маси на рівні 0,0075-0,0080 мг/см^2 , що на 1,1-1,15 (мас. %) для вуглецю і 0,8-0,9 (мас. %) для кисню менше порівняно з необробленими зразками. Для зразків вольфраму значення питомої маси зростає, починаючи з 277°C, досягаючи максимуму (0,0094-0,0098 мг/см^2) при 490°C, що на 1,63-1,69 (мас. %) для вуглецю та 0,87-0,99 (мас. %) для кисню нижче порівняно з необробленими зразками. Сам процес рафінування не чинить суттєвого впливу на структуру металів, оскільки температурні режими відпалу значно нижчі за температуру рекристалізації [2].

Вимірювання мікротвердості показали значення 1750 ± 30 МПа для молібдену та 2640 ± 70 МПа для вольфраму, що приблизно на 40 % і 30 % відповідно нижче мікротвердості необроблених металів. Подальше збільшення температури відпалу не впливало на зміну питомої маси зразків. Таким чином, оптимальний температурний діапазон дифузійного відпалу молібдену і вольфраму у порошкових середовищах знаходиться в межах 300-500°C, що є важливим аргументом для зниження температурних режимів їх обробки, а також для економії енергоресурсів та зменшення часу обробки.

Процес очищення тугоплавких металів можна значно прискорити, застосовуючи імпульсний режим нагрівання з періодами нагрівання-охолодження, що стимулює перенесення домішок з глибини металів на поверхню. Методом Оже-електронної спектроскопії під час циклічного нагрівання зразків до 800°C у вакуумі встановлено, що після першого циклу концентрації домішок зменшуються: вуглецю – у 1,80 разів, кисню – у 2,35 разів, азоту – у 1,55 разів. Другий цикл додатково знижує концентрації відповідно у 2,10; 2,80 та 1,70 разів. Максимальне видалення домішок досягається після трьох термічних циклів нагрівання-охолодження.

Проведені дослідження змін концентрацій елементів проникнення у молібдені та вольфрамі в залежності від температурних режимів термічної обробки виявили наступну особливість, суть якої полягала у тому, що при першому відпалюванні з поверхонь тугоплавких металів починають видалятися такі елементи як кисень і азот, а під час другого відпалювання починає видалятися вуглець [3].

Проаналізувавши величини питомої втрати маси зразків тугоплавких металів помічено, що технологічні процеси видалення таких елементів проникнення з молібдену та вольфраму будуть більш ефективніші за час першої термічної обробки.

Двохетапна обробка молібдену і вольфраму у вакуумі з використанням активних порошкових сумішей дозволяє ефективно видаляти шкідливі домішки проникнення, завдяки чому пластичність цих тугоплавких металів суттєво підвищується. Це забезпечує зменшення рівня бракованої продукції і розширює потенційні сфери застосування, зокрема у електронній, радіотехнічній та суміжних галузях промисловості.

Література

1. Kovbashyn V., Bochar I. Investigation of the change in technological properties of refractory metals after diffusion saturation. *Scientific Journal of the Ternopol National Technical University* ISSN 2522-4433. Web: visnyk.tntu.edu.ua. Вісник Тернопільського національного технічного університету. Тернопіль: В-во ТНТУ. №1 (109), 2023. С. 121–129.
2. Kovbashyn V., Bochar I. Method of reaction-sintered products processing based on silicon carbide and molybdenum disilicide. *Scientific Journal of the Ternopol National Technical University* ISSN 2522-4433. Web: visnyk.tntu.edu.ua. Вісник Тернопільського національного технічного університету. Тернопіль: В-во ТНТУ. №2 (94), 2019. С. 75–79.
3. Leonid G. Kozlov, Leonid K. Polishchuk, Oleh V. Piontkevych, Roman. M. Horbatiuk, Mykola P. Korinenko, Paweł Komada, Sandugash Orazalieva, Olga Ussatova. Experimental research characteristics of counterbalance valve for hydraulic drive control system of mobile machine. *Przegląd elektrotechniczny*. ISSN 0033-2097, R. 95. Vol 2019. No 4. pp. 104–109.