

SCOPE OF PAPER IN ENGLISH

PACS numbers: 52.80.Mg, 61.66.Dk, 64.75.Nx, 68.35.Dv, 81.40.Cd, 81.40.Ef

Зміни в структурі ступу Co–15% W після електроіскрового легування та відпалу

Ю. О. Вронська, Н. В. Зайцева, О. А. Шматко

*Інститут металофізики ім. Г. В. Курдюмова НАН України,
бульв. Академіка Вернадського, 36,
03142 Київ, Україна*

Методами рентгеноструктурного аналізу з використанням FeK_α -випромінення вивчено структуру ступу Co–W. Встановлено, що вихідна структура литого ступу на третину складається з твердого розчину β -Co з ГЦК-ґратницею та на 2/3 з α -Co з ГЦУ-ґратницею. Відпал ступу призводить до розпаду твердого розчину з випаданням інтерметаліду Co_3W і перерозподілом об'ємних часток твердих розчинів на користь α -Co. Електроіскрове легування поверхні вольфрамовим електродом призводить до збільшення вмісту вольфраму у твердому розчині і, як наслідок, до підвищення інтенсивності коміркової реакції.

Ключові слова: комірковий розпад, електроіскрове легування, відпал, структура ступу Co–W.

The structures of Co–W alloys in the region of solid solutions (0–13.06 at.% W) and intermetallic compound Co_3W are studied by the methods of X-ray diffraction analysis using FeK_α -radiation. As found, the initial structure of the cast alloy consists of 1/3 of a solid solution of β -Co with f.c.c. lattice and 2/3 of α -Co with hexagonal close-packed crystal lattice. Annealing of the alloy leads to the decomposition of the solid solution with the precipitation of intermetallic Co_3W , and the redistribution of the amount of solid solutions in favour of α -Co. Electrospark doping of the surface with a tungsten electrode leads to an increase the tungsten in the solid solution and as a consequence to

Corresponding author: Yuliya Vronska
E-mail: vronska@ukr.net

*G. V. Kurdyumov Institute for Metal Physics, N.A.S. of Ukraine,
36 Academician Vernadsky Blvd., UA-03142 Kyiv, Ukraine*

Citation: Yu. Vronska, N. Zaitseva, and O. Shmatko, Changes in the Structure of the Co–15% W Alloy After Electrospark Alloying and Annealing, *Metallofiz. Noveishie Tekhnol.*, 43, No. 7: 985–993 (2021) (in Ukrainian), DOI: [10.15407/mfint.43.07.0985](https://doi.org/10.15407/mfint.43.07.0985).

increase the intensity of the cellular reaction.

Key words: cellular precipitation, electrosparck alloying, annealing, structure of Co–W alloy.

(Отримано 12 травня 2021 р.; остаточн. варіант — 28 травня 2021 р.)

1. ВСТУП

Кобальт як основна складова стопів даного дослідження є сам по собі цікавим своїми технологічними якостями. Відомо, що в ньому у доволі великих об'ємах розчиняються інші перехідні метали, а також вуглець. Йому притаманні висока міцність, пластичність, опір корозії та окисленню, він поліморфний і феромагнітний. Тому кобальт давно слугує основою багатьох промислових конструкційних, інструментальних стопів, більшою мірою призначених для експлуатації за високих температур.

Прикладом є стопи серії «Хайнес», які окрім таких складових як хром, нікель, молібден містять також і вольфрам. Не зупиняючись на ролі решти складових розглянемо бінарні стопи кобальт–вольфрам.

Стопами цієї системи дослідники зацікавилися ще у 30-х роках ХХ століття. Зокрема привертала увагу їх висока твердість (понад 770 НВ за Брінеллем) після відпуску за температур 873–973 К. Такої твердості, близької до сталей швидкорізів, не просто досягти для не залізних стопів.

Окрім того стопи Co–W виявляють високі властивості міцності, цікаві як конструкційні, інструментальні матеріали з оригінальними феромагнітними властивостями, підвищеною стійкістю проти окислення.

Стопи на кобальт-вольфрамовій основі активно використовують як конструкційні матеріали для виробництва лопаток турбін [1, 2], авіаційних та ракетних рушіїв [3–5], як основи ряду захисних покриттів [4, 6]. Тверді розчини вольфраму у кобальті є складовою низки поширених металокерамічних стопів [7].

Галузі використання стопів системи кобальт–вольфрам потребують досягнення максимально можливих механічних характеристик та жаростійкості. В цьому аспекті застосування електроіскрового оброблення поверхні виглядає дуже перспективно.

2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА МЕТОДИКА

Стопи витоплено з електролітичного кобальту та металокерамічного вольфраму в індукційній печі під аргоном, гомогенізовано впродовж 16 год за температури 1470 К з наступним гартуванням у воду.

Структуру стопу Co–15% W (тут і надалі вказані масові відсотки речовини) вивчено методами рентгеноструктурного аналізу на установці ДРОН з використанням FeK_{α} -випромінення.

Металографічні дослідження проведено на металографічному мікроскопі МИМ-8М.

Для досліджень мікротвердості використовували прилад ПМТ-3. Електроіскрове покриття наносили на установці «Елітрон 22».

3. РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

3.1. Вплив відпалу на структуру кобальтового стопу

З експериментальних даних [8, 9] відомо, що стопи Co–W, загартовані від 1470 К, що містять до 20% мас. (7,4 ат.%) W складаються із суміші твердих розчинів вольфраму в кобальті: низькотемпературної модифікації з ГЦУ-гратницею та високотемпературної з ГЦК-гратницею. Тоді, як у випадку підвищення концентрації вольфраму загартовані стопи складаються лише з твердого розчину на основі β -Co з ГЦК-гратницею.

У випадку відпалу в інтервалі 870–1070 К стопи Co–W старіють за комірковим механізмом [10]. Даний процес характеризується утворенням на висококутових межах зерен і поступовим ростом з часом ізотермічного відпалу евтектоїдоподібних колоній. Ці колонії або комірки складаються з платівок фази випадання Co_3W та збідненого вихідного твердого розчину. Структура вихідного та відпаленого стопу Co–W наведено на рис. 1.

За даними рентгенівських досліджень за співвідношенням інтенсивності піків вихідна структура литого стопу Co–15% W містить

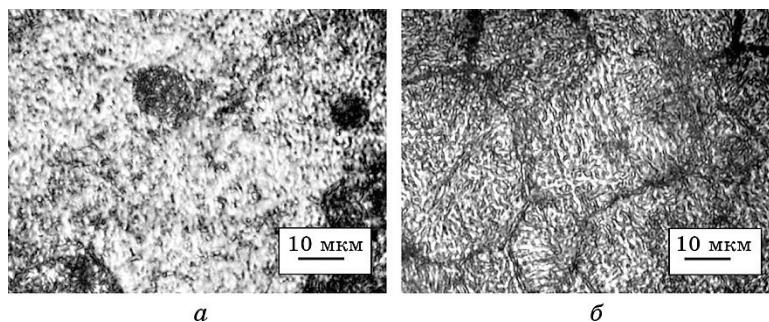


Рис. 1. Структура кобальт–15% вольфрамового стопу у вихідному (а) та відпаленому (б) станах.

Fig. 1. Structure of cobalt–15% tungsten alloy in the initial (a) and annealed (b) states.

дві третини твердого ГЦУ-розчину на основі α -кобальту та третину ГЦК-розчину на основі β -кобальту (рис. 2, а).

Відпал зразків литого стопу Co–15% W за температури 1473 К протягом 10 годин змінює його фазовий склад та структуру.

На рентгенограмі (рис. 2, б) спостерігається поява інтерференційних ліній сполуки Co_3W , яка характерною фазою випадання за коміркового розпаду, та зростання інтенсивності ліній α -кобальту. Вірогідно це пов'язано із розпадом β -кобальту на більш стабільний за нижчої температури α -кобальту та інтерметалід Co_3W .

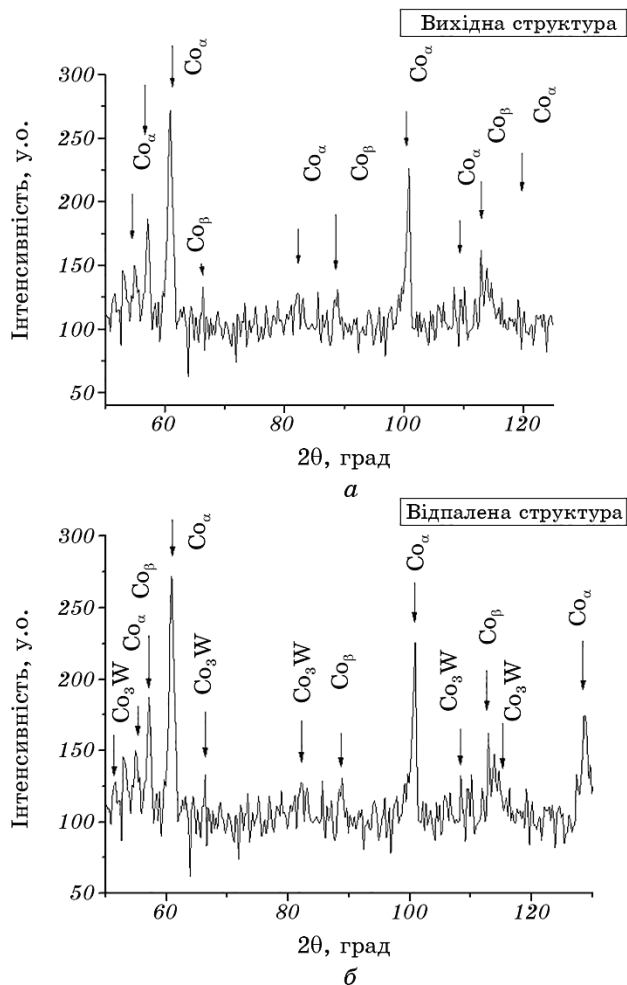


Рис. 2. Дифрактограми вихідної та відпаленої структур стопу Co–15% W.

Fig. 2. Diffractograms of the initial and annealed structures of the alloy Co–15% W.

3.2. Залежність формування електроіскрового легованого шару від вихідної структури кобальтового ступу

У дослідженнях, пов'язаних з вивченням параметрів коміркового розпаду, зокрема швидкості перебігу коміркової реакції та дисперсності комірок, не останнім завданням постає питання контролюваного керування їх величинами. На те запроваджують різноманітні зовнішні впливи як то легування, лазерне та нуклонне опромінення, всебічне гідростатичне стиснення, пружна й пластична деформація тощо.

Застосоване у даній роботі електроіскрове оброблення поверхні

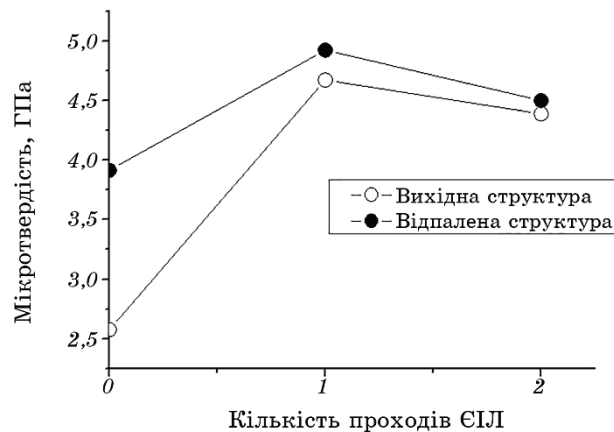


Рис. 3. Мікротвердість зразків ступу Co-W після електроіскрового оброблення.

Fig. 3. Microhardness of Co-W alloy's specimen after electrospark treatment.

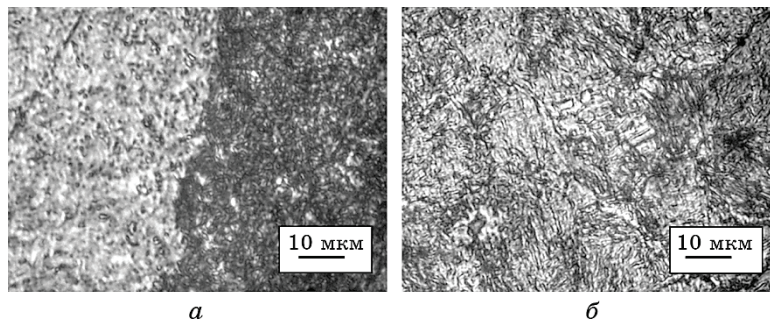


Рис. 4. Структура перехідного легованого вольфрамом шару електроіскрових покриттів на ступі Co-W: а — вихідна, б — відпалена.

Fig. 4. The structure of the transitional tungsten-doped layer of electrospark coatings on the alloy Co-W: а—initial, б—annealed.

досліджуваного ступу дало ефект помітного її зміцнення (рис. 3). Цей очікуваний ефект, не пов'язаний безпосередньо з розпадом твердого розчину, ґрунтується на утворенні у поверхневих шарах ступу структурних дефектів під дією електричної іскри.

Незначне зниження твердості після другого проходу ЕІЛ вірогідно пов'язане із процесами відпуску на поверхні, що могли бути

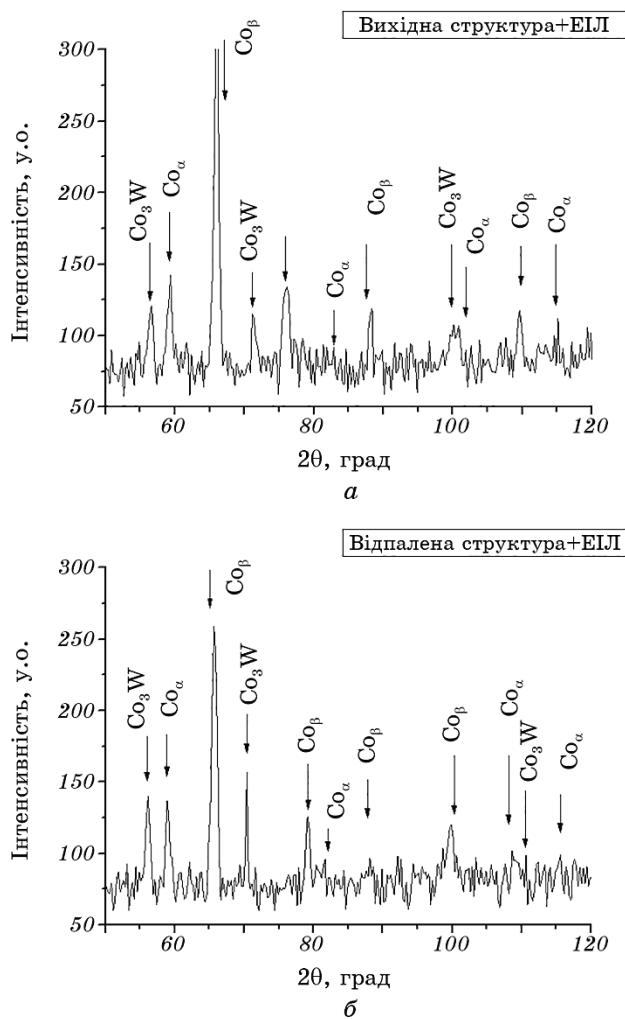


Рис. 5. Дифрактограми перехідного легovanого вольфрамом шару електроіскрових покриттів на ступі Co–15% W: *a* — вихідний стан, *б* — відпалений стан.

Fig. 5. Diffractograms of the transitional tungsten-doped layer of electro-spark coatings on the alloy Co–15% W: *a*—initial state, *б*—annealed state.

стимульованими повторним легуванням.

Разом з тим виявлено підвищення швидкості старіння ступу за комірковим механізмом внаслідок електроіскрового оброблення. Не відкидаючи певного впливу структурних дефектів на процес розпаду твердого розчину зазначимо, що застосування вольфрамового електроду для оброблення досліджуваного ступу сприяє підвищенню вмісту вольфраму у вихідному твердому розчині. Мікроструктури покриттів ступу Co–15% W представлено на рис. 4, відповідні рентгенівські дифрактограми — на рис. 5.

Структурний стан ступів Co–W визначається його поліморфізмом. Вольфрам виконує роль стабілізатора ГЦК-фази і його збільшення у розчині сприяє пониженню температури ГЦК–ГЦУ-перетворення [9].

Схематично вплив вихідної структури ступу Co–15% W на фазовий склад та структуру електроіскрового вольфрамового покриття представлено на рис. 6.

Імпульсні навантаження поверхні ступу під електричною іскрою спричиняють пришвидшене масоперенесення (у даному випадку атомів Вольфраму) на певні глибини. Внаслідок чого суттєво зростає об'ємна доля β-кобальту, також рентгенографічно спостеріга-

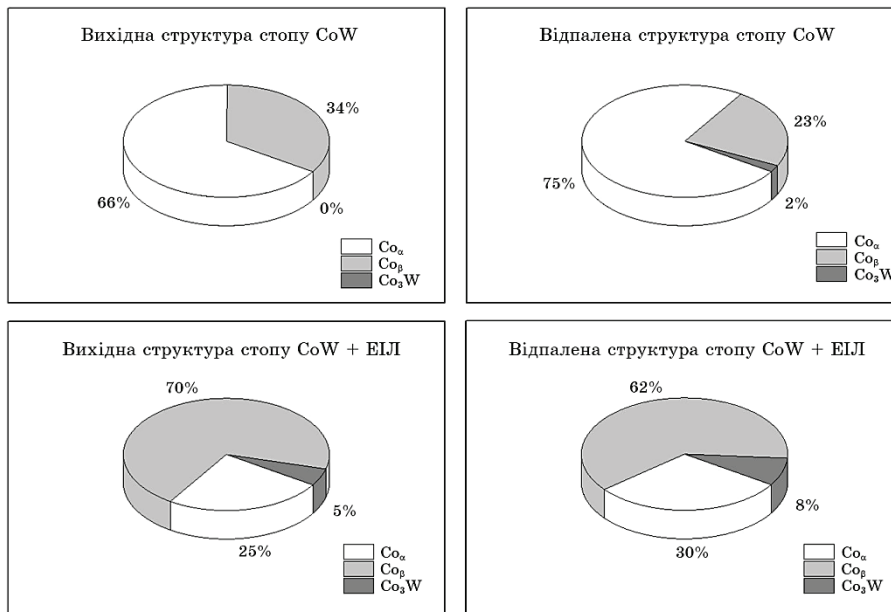


Рис. 6. Співвідношення фаз у ступі Co–W після різних обробок.

Fig. 6. Phase ratio in the Co–W alloy after different treatments.

ється збільшення частки сполуки Co_3W , що сприяє підвищенню стійкості бінарних стопів Co-W до окислення [11].

4. ВИСНОВКИ

Встановлено, що попередній відпал стопу Co-15\% W перед електроіскровим легуванням поверхні збільшує відсоток твердого розчину α -кобальту.

Після дії електричної іскри збільшується кількість інтерметалідної сполуки Co_3W , яка безпосередньо впливає на стійкість матеріалу до окислення.

ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. *Rare Metals Handbook* (London: Chapman and Hall Ltd.: 1961).
2. Ф. Ф. Химушин, *Жаропрочные стали и сплавы* (Москва: Металлургиздат: 1969).
3. J. C. Freche and R. W. Hall, *J. Aircraft*, **6**: 424 (1969).
4. C. L. Faust, *Metals for Supersonic Aircraft and Missiles* (Ohio, Cleveland: ASM: 1958).
5. J. C. Freche, R. L. Ashbrook, and S. J. Klima, *J. Metals*, **15**: 928 (1963).
6. Х. Ямамото, *Нихон киндзоку гаккайси*, **24**: 421 (1960) (in Japanese).
7. С. С. Кипарисов, Г. А. Либенсон, *Порошковая металлургия* (Москва: Металлургиздат: 1972).
8. Т. Д. Внукова, Н. Ф. Воронина, Н. В. Зайцева, В. В. Омеляненко, О. А. Шматко, *ФММ*, **96**, № 1: 82 (2003).
9. Л. Н. Лариков, О. А. Шматко, *Ячеистый распад пересыщенных твёрдых растворов* (Киев: Наукова думка: 1976).
10. Н. Ф. Воронина, П. Земба, А. Павловски, О. А. Шматко, *Металлофиз. новейшие технол.*, **20**, № 4: 20 (1998).
11. Н. В. Зайцева, С. М. Захаров, Є. О. Максименко, О. А. Шматко, *Проблеми корозії*, **8**: 797 (2010).

REFERENCES

1. *Rare Metals Handbook* (London: Chapman and Hall Ltd.: 1961).
2. F. F. Himushin, *Zharoprochnye Stali i Splavy* [Heat-Resisting Steels and Alloys] (Moscow: Metallurgizdat: 1969) (in Russian).
3. J. S. Freche and R. W. Hall, *J. Aircraft*, **6**: 424 (1969).
4. C. L. Faust, *Metals for Supersonic Aircraft and Missiles* (Ohio, Cleveland: ASM: 1958).
5. J. C. Freche, R. L. Ashbrook, and S. J. Klima, *J. Metals*, **15**: 928 (1963).
6. X. Jamamoto, *Nihon Kindzoku Gakkajsi*, **24**: 421: (1960) (in Japanese).
7. S. S. Kiparisov and G. A. Libenson, *Poroshkovaya Metallurgiya* [Powder Metallurgy] (Moscow: Metallurgizdat: 1972) (in Russian).
8. T. D. Vnukova, N. V. Voronina, N. V. Zaitseva, V. V. Omelianenko, and

- O. A. Shmatko, *FMM*, **96**, No. 1: 82 (2003) (in Russian).
9. L. N. Larikov and O. A. Shmatko, *Yacheisty Raspad Peresyshhennykh Tverdyykh Rastvorov* [Cellular Precipitation of Supersaturated Solid Solution] (Kyiv: Naukova Dumka: 1976) (in Russian).
 10. N. V. Voronina, P. Ziemba, A. Pavlovski, and O. A. Shmatko, *Metallofiz. Noveishie Tekhnol.*, **20**, No. 4: 20 (1998) (in Russian).
 11. N. V. Zajceva, S. M. Zaharov, Ye. O. Maksimenko, and O. A. Shmatko, *Problemy Koroziyi*, **8**: 797 (2010) (in Russian).