

Поліпшення фізико-механічних властивостей сплаву Ti – Al – Cr комплексним насиченням його поверхні алюмінієм та хромом

І. Я. Смокович

Т. В. Лоскутова, кандидат технічних наук

В. Г. Хижняк, доктор технічних наук

І. І. Статкевич*

Національний технічний університет України «КПІ», Київ

*Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України, Київ

Запропоновано спосіб поліпшення фізико-механічних властивостей титанового сплаву Ti – Al (22,5 %) – Cr (5,1 %) за допомогою дифузійного насичення його поверхні хромом і алюмінієм. Вивчено структуру, хімічний склад алітованих і комплексних хромоалітованих покриттів, виявлено фази $Al_3(Ti, Cr)$, Al_3Ti , $AlTi$, Al_2O_3 , AlN . Така композиція отриманих структурних складових передбачає підвищення жаростійкості і зносостійкості Ti – Al – Cr сплаву при експлуатації за умов підвищених температур і ерозійного зношування.

Сплави на основі титану вирізняються високими механічними властивостями, жароміцністю, жаростійкістю, корозійною стійкістю в багатьох агресивних середовищах [1 – 3]. Однак, з підвищенням вимог до довговічності машин і механізмів підвищились і вимоги до цих матеріалів з урахуванням умов експлуатації деталей машин: механічних навантажень, температури, агресивних середовищ. Вирішення цих завдань можливе методами поверхневого зміцнення хіміко-термічною обробкою [2, 4, 5], зокрема використанням процесу дифузійного насичення алюмінієм, хромом і алюмінієм [2 – 8]. У роботі [2] наведено результати досліджень дифузійного хромоалітування сплаву VT1. Встановлено, що при вмісті в насичуючій суміші алюмінію до 25 % (тут і далі – по масі) повинно протікати переважно дифузійне хромування, при 25 – 80 % – загальне насичення хромом і алюмінієм. Жаростійкість сплаву VT1 після хромоалітування збільшується в порівнянні з вихідним у кілька разів.

Метою даної роботи є розробка способу алітування і хромоалітування титанових сплавів, дослідження фазового та хімічного складу, структури, властивостей отриманих покриттів.

Хіміко-термічній обробці піддавали сплави на основі титану з алюмінієм (22,5 %) і хромом (5,1 %), отримані методом зонної плавки. Алітування і хромоалітування проводили в контейнерах з плавким затвором в умовах зниженого тиску при температурі 1050 °C протягом 2 годин. В якості вихідних компонентів використовували порошки хрому, алюмінію, оксиду алюмінію, хлористого амонію. Зразки з покриттям були досліджені рентгеноструктурним, мікрорентгеноспектральним, металографічним, дюрOMETричним методами.

Структура і фізико-механічні властивості

За даними рентгеноструктурного аналізу до складу вихідного сплаву входять сполуки на основі інтерметаліду Ti_3Al (62,0 %) і β -титан (38,0 %). На рис. 1 наведена мікроструктура вихідного сплаву, отриманого методом електронно-променевої плавки з проміжної ємності, що складається з витягнутих зерен (швидше за все це пластини) сіруватого кольору на світлому фоні.

Розмір зерен знаходиться в межах від декількох до сотень мікрометрів. Окремі дрібні зерна утворюють колонії, які розташовуються паралельно одне одному або під кутами, близькими до 45° , 135° . Ширина таких пластиноподібних зерен в площині шліфа досягає 30,0 – 50,0 мкм.

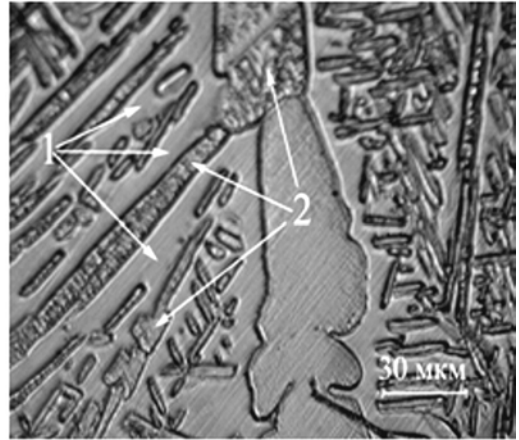


Рис. 1. Мікроструктура сплаву $Ti - Al - Cr$. 1 – β - Ti , 2 – Ti_3Al .

Вміст алюмінію в світлій основі структури сплаву і сірих пластинках фази Ti_3Al практично однаковий і становить 22,7 – 23,6 %. Виявлено наявність заліза в пластинчастих зернах, кількість якого досягає 0,14 %, а в світлих зернах – 0,03 %. Основна відмінність заключається в концентрації хрому – його вміст в пластинках близький до 8,2 %, у світлій основі – 2,7 %.

Аналіз діаграми стану системи $Ti - Al$ [9, 10] показав, що в сплавах з вмістом алюмінію 22,0 – 30,0 % при кімнатній температурі існує фаза Ti_3Al . У процесі охолодження відбуваються такі перетворення: β -титан $\rightarrow \alpha$ - $Ti \rightarrow Ti_3Al$. Запропонована схема перетворень не реалізується за присутності в сплаві хрому і заліза, які гальмують розпад β -титану. Встановлено, що період кристалічної решітки фази β -титан становить 0,31704 нм, фази Ti_3Al – $a = 0,57369$ нм, $c = 0,46133$ нм, що добре співпадає з результатами робіт [7, 8].

Після алітування $Ti - Al - Cr$ сплаву за вище наведеною технологією на поверхні зразка формується дифузійне покриття. Отриманий алітований шар за результатами рентгенофазового аналізу складається із зовнішньої і внутрішньої зон відповідно інтерметалідів Al_3Ti і $AlTi$. Кристалічні ґратки цих фаз тетрагональні і мають параметри $a = 0,38448$ нм, $c = 0,85773$ нм для Al_3Ti і $a = 0,40110$ нм, $c = 0,40710$ нм для $AlTi$ алюмініду. Мікрорентгеноспектрально встановлено, що на зовнішній стороні дифузійної зони вміст алюмінію досягає 62,8 % і практично не змінюється за товщиною покриття (рис. 2). Концентрація алюмінію в зоні на основі фази $AlTi$ становить 45,0 – 46,0 % на зовнішній стороні шару і зменшується до 37,0 – 38,0 % на внутрішній. Слід зазначити, що отримані результати узгоджуються з діаграмою стану $Ti - Al$. Сполука Al_3Ti формується в результаті перитектичного перетворення при температурі $1340^\circ C$ за реакцією $AlTi + \text{рідина} \rightarrow Al_3Ti$ стехіометричного складу. Область гомогенності даної сполуки практично відсутня. Фаза $AlTi$ утворюється при температурі $1050^\circ C$, і має досить широку область гомогенності. Згідно до діаграми стану $Ti - Al$, вміст в ній алюмінію коливається в межах 37,0 –

46,0 % Al, що добре узгоджується з отриманими нами даними. Присутності інтерметаліду Al_2Ti , який теоретично повинен утворюватися раніше фази Al_3Ti , в покритті не виявлено.

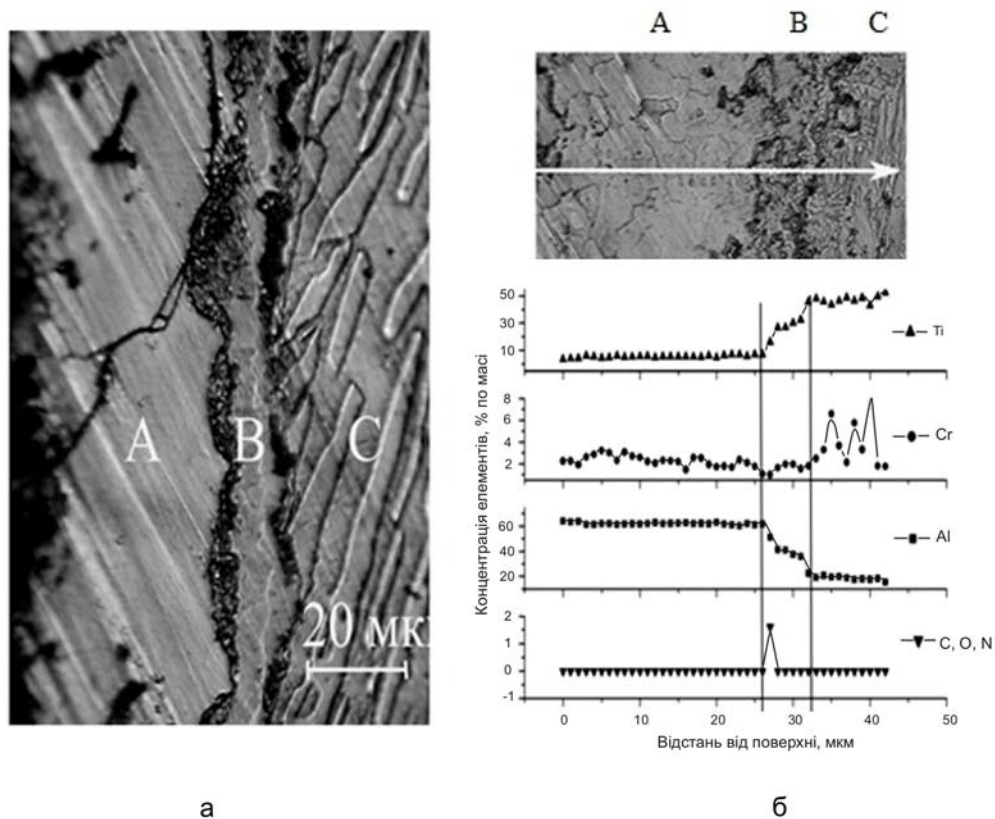


Рис. 2. Мікроструктура (а) і хімічний склад (б) дифузійного алітованого покриття на сплаві Ті – Al – Cr. А – зона фази Al_3Ti , В – зона фази $AlTi$, С – перехідна дифузійна зона.

Структура алітованого покриття після протравлювання (20 % HNO_3 + 5 % HF , H_2O) проявляється у вигляді світлих смуг з чіткими, практично прямими границями (рис. 2 а). Окремі темні вclusions на границях шарів Al_3Ti – $AlTi$ за даними мікрорентгеноспектрального аналізу можна віднести до оксиду алюмінію Al_2O_3 . Загальна товщина алітованого дифузійного шару, яку визначали на прямих шліфах, становила 30,0 – 34,5 мкм. Мікротвердість дорівнювала 4,5 – 5,6 ГПа.

За результатами рентгеноструктурного аналізу після хромоалітування на вихідному сплаві утворюється покриття на основі сполук алюмінію: $Al_3(Ti, Cr)$, $AlTi$, Al_2O_3 , AlN . Останні дві фази – Al_2O_3 , AlN формуються при взаємодії алюмінію з киснем і азотом повітря і розташовані на зовнішній стороні покриття, а також по межах зерен. Основною складовою хромоалітованого покриття є фаза $Al_3(Ti, Cr)$ з кубичною ґраткою ($a = 0,39597$ нм). Вміст титану в ній не перевищує 30,0 – 31,0 % і практично не змінюється за товщиною покриття. Концентрація хрому і алюмінію досягає відповідно 22,0 % і 45,0 % (рис. 3).

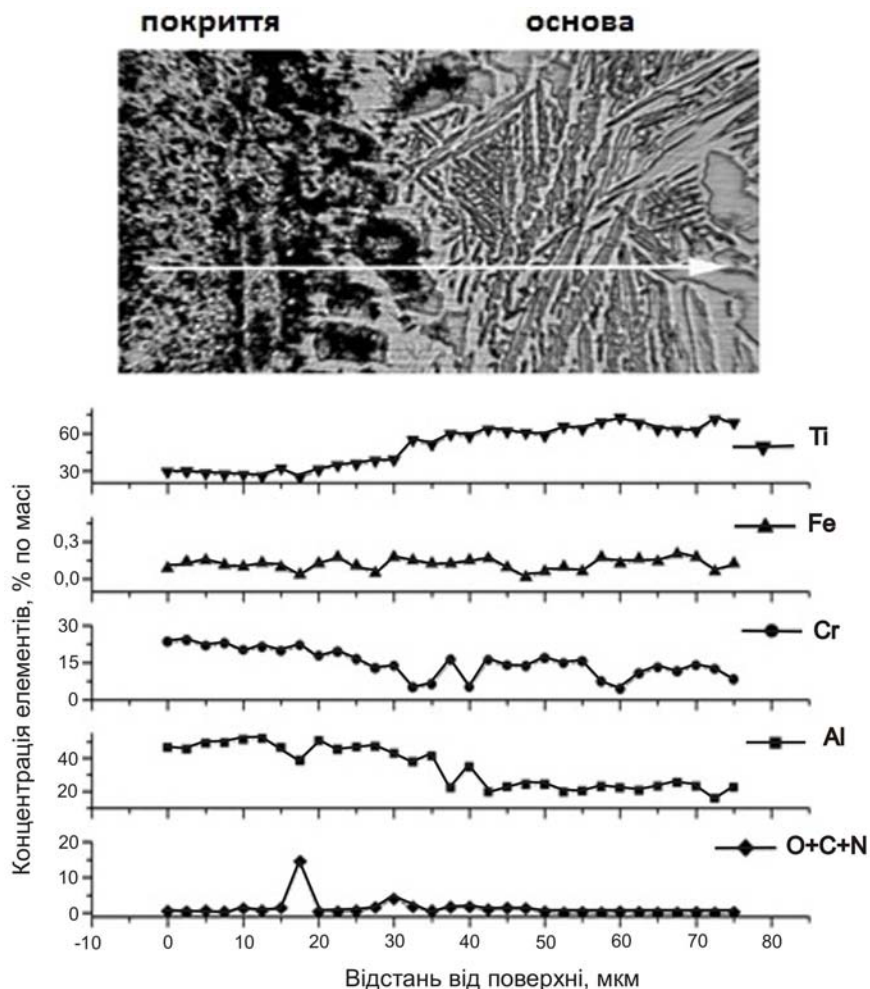


Рис. 3. Хімічний склад хромоалітованого покриття на сплаві Ti – Al – Cr.

Металографічно виявлено, що темні включення на поверхні і в перехідній зоні відповідають фазі Al_2O_3 , що містить титан, хром і в незначній кількості залізо (до 0,03 %). Крім того, мікрорентгеноспектральні дослідження розподілу елементів за товщиною покриття показали наявність в них ділянок з підвищеним вмістом таких елементів, як кисень, вуглець, азот (рис. 3). При значному збільшенні такі сегрегації виглядають, як темні пластівці. Вони розташовані в межах пластин фази Ti_3Al і концентруються поблизу центру зерна.

Після проведеного хромоалітування товщина хромоалітованого дифузійного шару становила 40,0 – 41,0 мкм, мікротвердість Ti – Al – Cr сплаву змінюється стрибком при переході від покриття до основи і в середньому складає 5,0 – 6,0 ГПа.

Таким чином, в роботі показана можливість нанесення дифузійних покриттів за участю хрому, алюмінію на сплав титану Ti – Al – Cr. Після алітування і хромоалітування дифузійний шар складається із зони сполук та

твердого розчину. До зони сполук входять при алітуванні Al_3Ti , $AlTi$, AlN , при хромоалітуванні – $Al_3(Ti, Cr)$ з ГЦК ґраткою. Товщина дифузійного шару після насичення при температурі 1050 °С впродовж 2 годин становить: після алітування 30,0 – 34,5 мкм, після хромоалітування 40,0 – 41,0 мкм. Мікротвердість дифузійних покриттів після алітування 4,5 – 6,6 ГПа, після хромоалітування – 5,0 – 6,0 ГПа. Такі покриття можуть бути використані для виробів, що експлуатуються за умов підвищення температур і абразивного зношування.

Література

1. Титановые сплавы. Состав, структура, свойства: Справ. – М.: ВИЛС – МАТИ, 2009. – 455 с.
2. Борисенок Г. В. Химико-термическая обработка металлов и сплавов. – М.: Металлургия, 1981. – 424 с.
3. Zhoua C. A study on aluminide and Cr-modified aluminide coatings on TiAl alloys by pack cementation method // Surface and Coatings Technology. – 2000. – 132. – P. 117 – 123.
4. Jung Hwan Gyo. Effect of Cr addition on the properties of aluminide coating layers formed on TiAl alloys // Surface and Coatings Technology. – 2002. – 154. – P. 75 – 81.
5. Zhou W. A new way to produce Al + Cr coating on Ti alloy by vacuum fusing method and its oxidation resistance // Materials Science and Engineering. – 2006. – A 430. – P. 254 – 259.
6. Земсков Г. В. Многокомпонентное диффузионное насыщение металлов и сплавов. – М.: Металлургия, 1978. – 208 с.
7. Nishimoto T. Two-step Cr and Al diffusion coating on TiAl at high temperatures // Intermetallics. – 2003. – 11. – P. 225 – 235.
8. Nishimoto T. Effect of coating layer structures and surface treatments on the oxidation behavior of a Ti – 50 at. % Al alloy // Intermetallics. – 2003. – 11. – P. 459 – 466.
9. King H. W. Crystal structure of the elements at 25 °C. Bull alloy Phase Diagrams // Crystal Structure. Review 5. – 1981. – P. 48 – 63.
10. Ahmed T. Partial isothermal sections of Ti - Al - V Ternary Diagram // Materials Science Technology. – 1994. – 10. – P. 272 – 288.

Одержано 20.11.13

И. Я. Смокович, Т. В. Лоскутова, В. Г. Хижняк, И. И. Статкевич

Улучшение физико-механических свойств сплава Ti – Al – Cr комплексным насыщением его поверхности алюминием и хромом

Резюме

В работе предложен способ улучшения физико-механических свойств титанового сплава Ti – Al (22,5 %) – Cr (5,1 %) с помощью диффузионного насыщения его поверхности хромом и алюминием. Изучена структура, химический состав алитированных и хромоалитированных покрытий, в результате чего выявлены фазы $Al_3(Ti, Cr)$,

Al_3Ti , $AlTi$, Al_2O_3 , AlN . Такая композиция полученных структурных составляющих предусматривает повышение жаростойкости и износостойкости $Ti - Al - Cr$ сплава при эксплуатации в условиях повышенных температур и эрозионного износа.

I. Ya. Smokovych, T. V. Loskutova, V. G. Khyzhnyak, I. I. Statkevych

Physical and mechanical properties of $Ti - Cr - Al$ alloy with surface saturated by aluminum and chromium

Summary

In this work the way of physical and mechanical properties improvement of titanium alloy $Ti - Al$ (22,5 %) – Cr (5,1 %) is offered. The results of phase and chemical composition studies of obtained aluminum and complex aluminum + chromium diffusion coatings indicate such phases as: $Al_3(Ti, Cr)$, Al_3Ti , $AlTi$, Al_2O_3 , AlN . These phases composition is promising in increasing heat resistance and durability of $Ti - Al - Cr$ alloy operated at high temperatures and erosive wear.

Шановні колеги!

**Триває передплата на науково-технічний журнал
«Металознавство та обробка металів» на 2014 р.**

Для регулярного одержання журналу потрібно перерахувати вартість заказаних номерів на розрахунковий рахунок Фізико-технологічного інституту металів та сплавів НАН України.
Вартість одного номера журналу – 30 грн., передплата на рік – 120 грн.

Ціна архівних номерів 1995 – 2013 рр. – 10 грн.

Розрахунковий рахунок для передплатників, спонсорів і рекламодавців:

банк ГУДКСУ в м. Києві, р/р 31257201112215, код банку 820019.

Отримувач – ФТІМС НАН України, ЗКПО 05417153,

з посиланням на журнал "ММ".

Копію документа передплати та відомості про передплатника

просимо надсилати до редакції,

вказавши номер і дату платіжного документа.