

ПОЛУЧЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ НА ТИТАНОВЫХ СПЛАВАХ МЕТОДОМ ВНЕВАКУМНОЙ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ОБРАБОТКИ*

О.Г. ЛЕНИВЦЕВА¹, аспирант
И.А. БАТАЕВ¹, канд. техн. наук, доцент
М.Г. ГОЛКОВСКИЙ², канд. физ.-мат. наук
В.В. САМОЙЛЕНКО¹, аспирант
Р.А. ДОСТОВАЛОВ¹, студент
¹(НГТУ, г. Новосибирск)
²(ИЯФ СО РАН, г. Новосибирск)

Поступила 4 июля 2013 года
Рецензирование 26 августа 2013 года
Принята к печати 5 сентября 2013 года

Ленивцева О.Г. – 630092, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,
Новосибирский государственный технический университет,
e-mail: lenivtseva_olga@mail.ru

Исследуется структура и свойства поверхностных слоев титана VT1-0, полученных методом вневакуумной электронно-лучевой наплавки порошковых смесей титана и графита. Методами оптической и растровой электронной микроскопии исследована структура полученных покрытий. Показано, что наплавленный слой характеризуется высоким качеством и толщиной до 2 мм. Структура наплавленного слоя представляет собой высокопрочные кристаллы карбида титана, распределенные в матрице α' -Ti и нерастворившиеся частицы графита. Исследуемые покрытия отличаются высокой твердостью и износостойкостью. Потеря массы при изнашивании у образцов с покрытием в 7 раз ниже по сравнению с материалом без покрытия. Полученные в работе данные показывают, что технология вневакуумной электронно-лучевой наплавки порошковых смесей позволяет получать покрытия на титане VT1-0, отличающиеся повышенной твердостью и износостойкостью.

Ключевые слова: карбид титана, титан, вневакуумная электронно-лучевая обработка, структура, износ.

Введение

В настоящее время титан и титановые сплавы используются в аэрокосмической, судостроительной и химической промышленности. Широкое распространение этих материалов связано с такими их свойствами, как высокая удельная прочность, малая плотность и отличная коррозионная стойкость. К существенным недостаткам титановых сплавов относятся высокий коэффициент трения, низкая износостойкость, склонность к контактному схватыванию и образованию задиров при взаимодействии с другими материалами. Для повышения триботехнических и антифрикционных свойств титана применяют ионное имплантирование, поверхностный переплав, диффузионное насыщение поверхностных слоев кислородом, азотом, углеродом, бором и другими

элементами, а также методы нанесения различных упрочняющих покрытий [1].

Многочисленные исследования показывают, что эффективными методами поверхностного упрочнения титановых сплавов являются обработка высококонцентрированными источниками энергии, такими как электрическая дуга, луч лазера, электронный луч [2–6]. Результаты исследований, представленных в работах [7–8], демонстрируют высокую эффективность электронно-лучевой наплавки для создания защитных покрытий на титановых сплавах.

В процессе облучения материала сфокусированным электронным пучком кинетическая энергия электронов преобразуется в тепловую, что обеспечивает нагрев зоны обработки до температуры, достаточной для плавления материала. При этом происходит расплавление и перемешивание легирующих компо-

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ 12-08-31292.

Режимы наплавки

| Номер режима | Скорость перемещения образцов | Частота сканирования | Расстояние от выпускного окна до заготовки | Диаметр пучка | Энергия электронов | Ток пучка |
|--------------|-------------------------------|----------------------|--|---------------|--------------------|-----------|
| 1 | 10 мм/с | 50 Гц | 90 мм | 12 мм | 1,4 МэВ | 20 мА |
| 2 | | | | | | 21 мА |

ментов и поверхностного слоя основного материала. Использование электронного луча, выведенного в атмосферу, позволяет реализовывать различные режимы обработки и получать покрытия требуемого качества и большой толщины (до 2 мм) с сохранением свойств основного металла. Использование ускорителя электронов типа ЭЛВ-6, разработанного специалистами Института ядерной физики СО РАН (Новосибирск) [9–14], позволяет обрабатывать детали любых размеров без применения дорогостоящих вакуумных камер.

При создании покрытий на титановых сплавах в качестве упрочняющих компонентов используют порошок WC [15–16], смесь порошков TiB и TiC [4], порошки нитридов [9] и другие материалы. В ряде работ показана возможность повышения триботехнических свойств титановых сплавов за счет переплава поверхностных слоев совместно с порошком графита [3, 17]. Savalani с соавторами [6] показали, что использование углеродных нанотрубок при лазерной наплавке позволяет получать покрытия с равномерно распределенными частицами TiC в матрице α -титана. В результате обработки формируются износостойкие поверхностные слои, содержащие высокопрочные частицы, распределенные в вязкой матрице. Однако высокая цена углеродных нанотрубок и сложность работы резко снижают перспективы их применения в качестве материала для наплавки.

Цель данной работы заключалась в получении и исследовании износостойких слоев на титане ВТ1-0 при наплавке углеродсодержащих смесей электронным лучом, выведенным в атмосферу.

1. Материалы и методы исследования

В качестве основного материала использовались заготовки из технически чистого титана размерами 50×100×10 мм. Для получения качественной рабочей поверхности заготовки подвергались шлифованию. Наплавочная смесь состояла из порошка титана чистотой более 99,9 % производства компании Alfa Aesar и графита марки ГЛ 1 в соотношении 4:1 (по массе). Для предотвращения окисления и обеспечения равномерного плавления порошков в наплавочную

смесь добавляли сварочный флюс CaF_2 (40 % по массе). Все компоненты порошковой смеси тщательно перемешивались и наносились на титановую основу с плотностью насыпки 0,3 г/см².

Обработка электронным лучом осуществлялась в Институте ядерной физики им. Будкера СО РАН с использованием ускорителя электронов ЭЛВ-6. Схема, иллюстрирующая процесс наплавки, представлена на рис. 1.

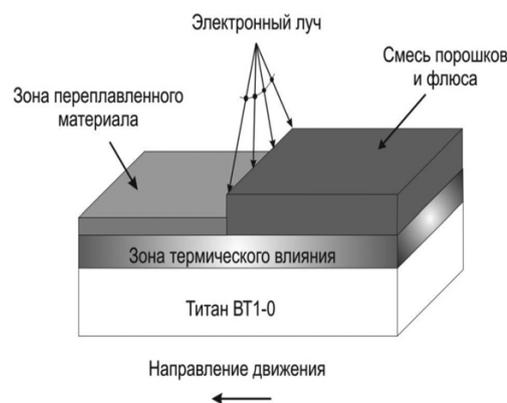


Рис. 1. Схема электронно-лучевой наплавки порошковой смеси

Выбор технологических параметров обработки осуществлялся на основании выполненных ранее экспериментов [8–9, 11–12]. Режимы обработки приведены в табл. 1. Отличия между режимом 1 и режимом 2 заключались в значениях тока пучка (20 и 21 мА соответственно).

Потери компонентов порошковой смеси при наплавке определялись весовым методом с использованием весов Pioneer PA 214C. Потери порошков титана и углерода в процессе обработки составили 2,4 и 1,9 %, потери флюса – 18,3 и 19,8 % для режимов 1 и 2 соответственно.

Структура полученных образцов исследовалась на оптическом микроскопе Carl Zeiss Axio Observer A1m, а при увеличениях свыше 1000 крат – на растровом электронном микроскопе Carl Zeiss EVO 50 XVP. Структура материалов выявлялась раствором Кролля. Фазовый состав полученного покрытия определялся на рентгеновском дифрактометре ARL X'TRA. Дифракционные картины были получены при использовании $\text{Cu K}\alpha$ -излучения.

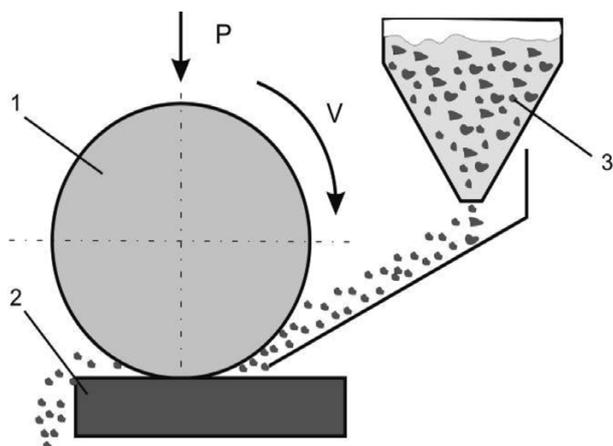


Рис. 2. Схема испытаний по определению износостойкости:

1 – резиновый ролик; 2 – образец; 3 – емкость с абразивом (речной песок); P – усилие прижатия ролика к образцу; V – направление вращения ролика

Микротвердость образцов оценивалась на твердомере Wolpert Group 402 MVD под нагрузкой 100 г (при измерениях вдоль линии) и 25 г (при измерении твердости отдельных фаз). Твердость карбидных частиц оценивалась методом наноиндентирования с использованием прибора НаноСкан 3Д.

Износостойкость покрытий определялась по схеме трения о нежестко закрепленные частицы абразива (ГОСТ 23.208-79). Абразивом являлся речной песок. Песок подавался между трущимися поверхностями и захватывался вращающимся резиновым роликом ($D = 50$ мм), который с постоянным усилием прижимался к испытуемому образцу ($50 \times 25 \times 10$ мм) (рис. 2). Степень износа оценивалась по потере веса образца. Общая длина пути трения составила 942,5 м. После изнашивания поверхность образцов исследовалась на растровом электронном микроскопе.

2. Результаты исследований и их обсуждение

В процессе вневакуумной электронно-лучевой наплавки углеродсодержащей порошковой смеси на образцах из технического чистого титана ВТ1-0 были получены качественные покрытия. При обработке электронным лучом первым расплавлялся флюс (температура плавления 1424 °С). Это способствовало равномерному плавлению присутствующих в смеси порошков. Флюс не оказывает влияния на состав наплавленного слоя. На поверхности заготовок он образует корку шлака, которая предотвращает окисление расплавленной зоны.

Фазовый состав покрытия представлен на рис. 3. На рентгенограмме наплавленного слоя можно выделить три фазы (α' -Ti, TiC и графит). Следует отме-

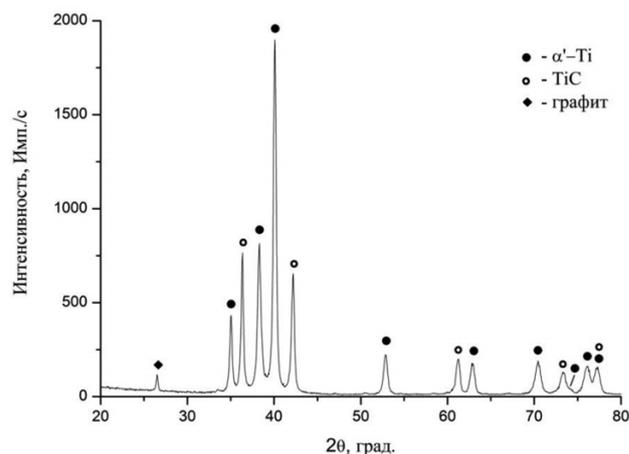


Рис. 3. Фазовый состав зоны переплавленного материала (режим 2)

тить, что разделение α' и α -фаз титана методом рентгенофазового анализа весьма затруднительно. Тем не менее, учитывая высокую скорость охлаждения наплавленного слоя, можно предположить, что титановая матрица представлена именно α' -фазой.

Строение наплавленных слоев в поперечном сечении представлено на рис. 4. На полученных снимках можно выделить ряд характерных зон: зону расплавленного металла (~2 мм для режимов 1 и 2), зону термического влияния (ЗТВ), образованную в результате теплопередачи от расплавленной области, а также зону основного металла, температура которой была недостаточной для развития структурных превращений.

В структуре наплавленного слоя зафиксированы включения нерастворившегося графита. При увели-

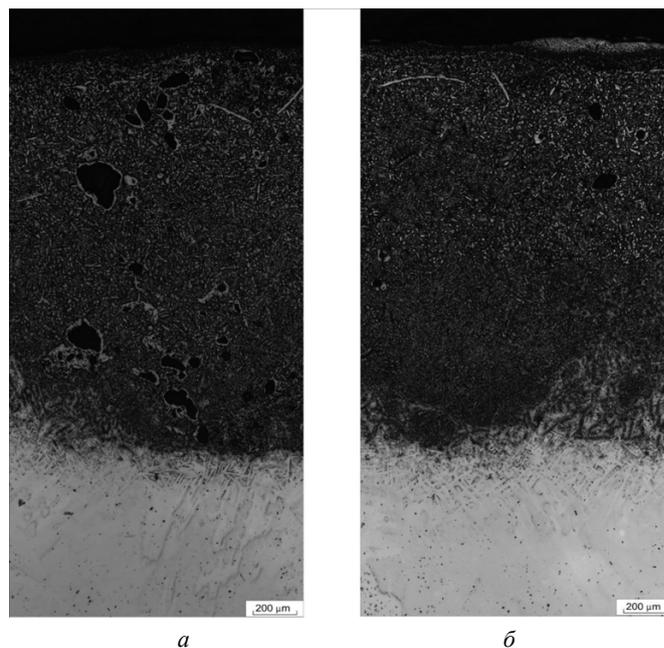


Рис. 4. Поперечное сечение наплавленных слоев:

а – 20 мА; б – 21 мА

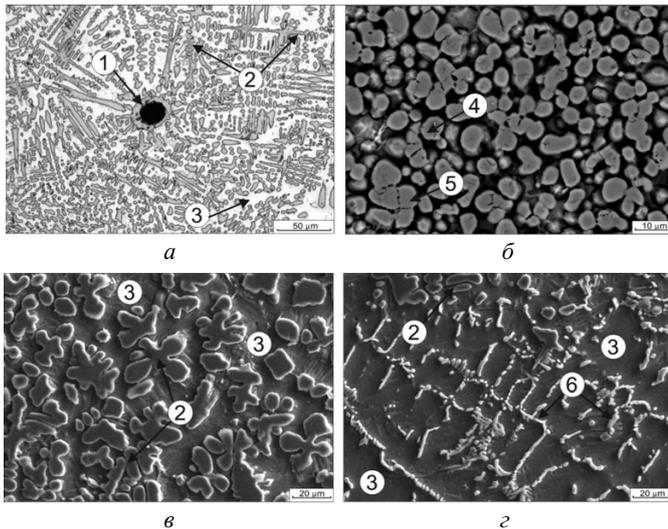


Рис. 5. Структура наплавленного слоя:

1 – частицы графита; 2 – дендритные кристаллы TiC; 3 – α -Ti (α' -Ti); 4 – округлые частицы TiC; 5 – конгломераты частиц TiC; 6 – эвтектический TiC

чении силы тока с 20 до 21 мА количество включений графита заметно сократилось, тем не менее полностью устранить их не удалось. Присутствие крупных выделений графита должно приводить к снижению твердости наплавленного слоя. В то же время можно ожидать благоприятное влияние этих включений на снижение коэффициента трения. Подобный эффект наблюдался авторами работы [2], показавшими что структура, содержащая твердые частицы карбида титана, пластичную матрицу и графитовые включения, позволяет улучшить триботехнические свойства полученного материала.

Некоторые особенности структуры переплавленного слоя представлены на рис. 5. Кроме включений нерастворившегося графита (рис. 5, а) структура наплавленного слоя состоит из титановой матрицы и распределенных в ней частиц карбида титана. Условия охлаждения в верхней части покрытия привели к ориентации карбидных кристаллов в направлении, перпендикулярном плоскости шлифа (рис. 5, б). В этой зоне карбидная фаза представлена в виде конгломератов частиц округлой формы средним размером ~2,5 мкм. В ряде случаев наблюдалось слияние отдельных карбидных частиц между собой и образование плотного слоя. В более глубоких слоях покрытия карбидная фаза выделялась в характерной дендритной форме (рис. 5, в). Вблизи зоны термического влияния ввиду недостатка углерода зафиксировано выделение эвтектического карбида титана (рис. 5, з).

На рис. 6 представлены графики изменения микротвердости по глубине наплавленного слоя. Увеличение тока пучка на 1 мА приводит к увеличению толщины наплавленного слоя на 0,2 мм. Средняя твердость покрытия находится на уровне 4,3 ГПа, что в два раза выше твердости основного материала.

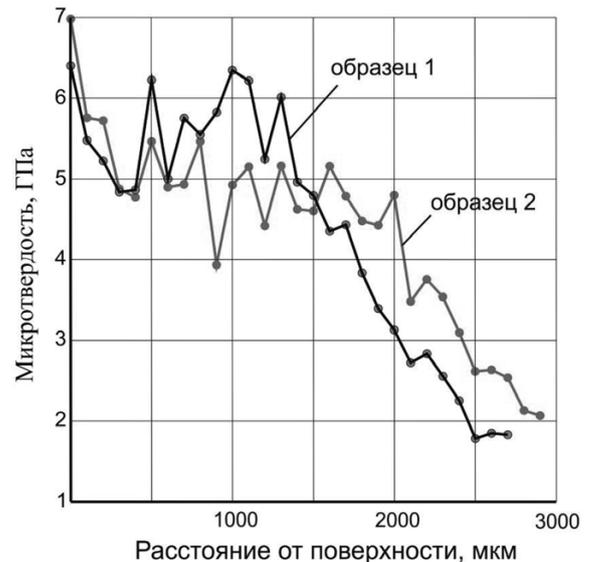


Рис. 6. Распределение микротвердости по глубине наплавленного слоя

ла. Максимальная твердость покрытия составила 8,5 ГПа. Это связано с высокой объемной долей частиц карбида титана TiC (~32 вес. % для режима 2). Максимальное значение твердости карбидных частиц TiC, зафиксированное методом наноиндентирования, составило 28 ГПа. Твердость покрытия снижается в направлении от поверхности в глубь покрытия, что обусловлено уменьшением размера и объемной доли твердых карбидных частиц.

Наплавленные слои характеризуются высоким уровнем износостойкости. При проведении электронно-микроскопических исследований титановых образцов BT1-0 на поверхности изнашивания

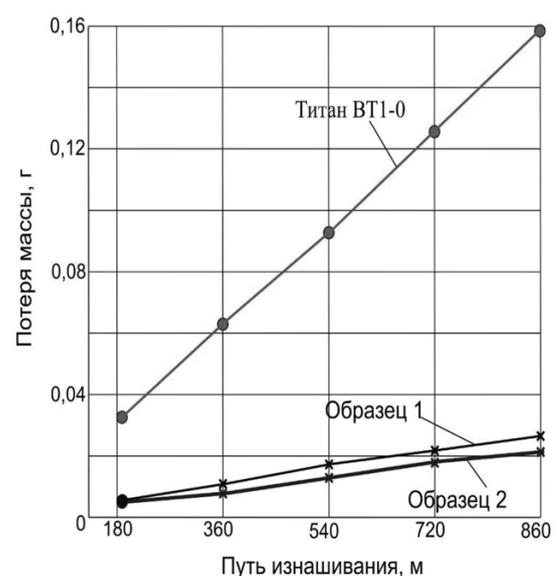


Рис. 7. Потеря массы образцов при воздействии нежестко закрепленных абразивных частиц: образец 1 – ток пучка 20 мА; образец 2 – ток пучка 21 мА

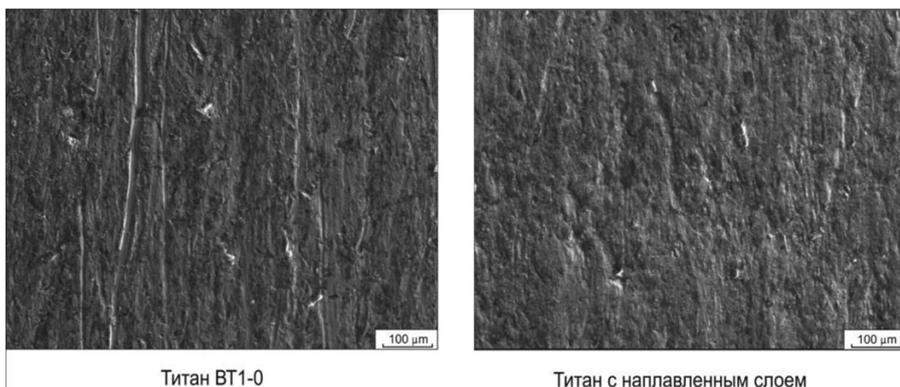


Рис. 8. Микроснимки поверхности образцов после изнашивания

зафиксировано наличие глубоких бороздок (рис. 8). На поверхности образцов с покрытием бороздки подобного рода отсутствуют (рис. 8). Из графика, представленного на рис. 7, следует, что процесс изнашивания развивается с постоянной скоростью. Стойкость образцов с покрытием в семь раз выше по сравнению с титаном BT1-0.

Выводы

1. Вневакуумная электронно-лучевая наплавка порошка графита является эффективным методом повышения твердости и износостойкости титановых сплавов. Применение этой технологии обеспечивает получение качественных поверхностных слоев большой толщины (до 2 мм).

2. Изменяя режимы наплавки, возможно управлять структурой полученного слоя и контролировать содержание нерастворившихся частиц графита.

3. Электронно-лучевая наплавка обеспечивает повышение твердости материала в два раза по сравнению с исходным титаном. Средняя твердость покрытия составляет 430 HV. Наибольший вклад в общую твердость покрытия вносят частицы карбида титана.

4. В условиях трения о нежестко закрепленные частицы абразива наплавленные покрытия обладают уровнем износостойкости, в семь раз превышающим стойкости титана BT1-0.

Список литературы

1. *ASM Handbook*. Vol. 5. Surface Engineering / eds.: Catherine M. Cotell, James A. Sprague, and Fred A. Smidt, Jr. : ASM International, 1994. P. 525. (ASM Handbook).

2. Courant B., Hantzpergue J.J., Benayoun S. Surface Treatment of titanium by laser irradiation to improve resistance to dry-sliding friction // *Wear*. 1999. Vol. 236. P. 39–46.

3. Chehrghani A., Torkamany M.J., Hamedi M.J., Sabbaghzadeh J. Numerical modeling and experimental investi-

gation of TiC formation on titanium surface pre-coated by graphite under pulsed laser irradiation // *Applied Surface Science*. January 2012. Vol. 258. Iss. 6. P. 2068–2076.

4. Yun E., Lee K., Lee S. Improvement of high-temperature hardness of (TiC, TiB)/Ti–6Al–4V surface composites fabricated by high-energy electron-beam irradiation // *Surface & Coatings Technology*. 2004. Vol. 184. P. 74–83.

5. Ettaqi S., Hays V., Hantzpergue J.J., Saindrenan G., Remy J.C. Mechanical, structural and tribological properties of titanium nitrided by a pulsed laser // *Surface & Coatings Technology*. 1998. Vol. 100/101. Iss. 1–3. P. 428–432.

6. Savalani M.M., Ng C.C., Li Q.H., Man H.C. In situ formation of titanium carbide using titanium and carbon-nanotube powders by laser cladding // *Applied Surface Science*. Vol. 258. Iss. 7. P. 3173–3177. 15 January 2012.

7. Golkovski M.G., Bataev I.A., Bataev A.A., Ruktuev A.A., Zhuravina T.V., Kuksanov N.K., Salimov R.A., Bataev V.A. Atmospheric electron-beam surface alloying of titanium with tantalum // *Materials Science & Engineering: A*. 2013. Vol. 578. P. 310–317.

8. Батаев И.А., Журавина Т.В., Руктуев А.А., Ленивецова О.Г., Ромашова Ю.Н. Структурные исследования покрытий системы «титан-тантал», полученных методом вневакуумной электронно-лучевой наплавки // *Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты*. – 2012. – № 3(56). – С. 56–59.

9. Oh J.Ch., Lee S., Golkovski M.G. Improvement of the hardness and wear resistance of (TiC, TiN)/Ti–6Al–4V surface-alloyed materials fabricated by high-energy electron-beam irradiation // *Metallurgical & Materials Transactions: A*. 2001. Vol. 32. Iss. 2. P. 2995–3005.

10. Veis M.E., Kuksanov N.K., Korabelnikov B.M., Nemytov P.I., Salimov R.A. High voltage electron accelerators at a power of up to 90 kW // *Radiation Physics & Chemistry*. 1990. Vol. 35. Iss. 4–6. P. 658–661.

11. Golkovsky M.G., Zhuravina T.V., Bataev I.A., Bataev A.A., Veselov S.V., Bataev V.A., Prikhodko E.A. Cladding of tantalum and niobium on titanium by electron beam, injected in atmosphere // *Advanced Materials Research*. 2011. Vol. 314–316. P. 23–27.

12. Bataev V.A., Bataev A.A., Golkovsky M.G., Ostromenskij P.I., Korotaev B.V. Hardening of side faces of railheads by electric beam treatment in air. *Metal Science and Heat Treatment*, 2002, Vol. 44, Iss. 11–12, pp. 510–513.

13. Fadeev S.N., Golkovski M.G., Korchagin A.I., Kuksanov N.K., Lavruhin A.V., Petrov S.E., Salimov R.A., Vaisman A.F. Technological applications of BINP industrial electron accelerators with focused beam extracted into atmosphere // *Radiation Physics and Chemistry*. 2000. Vol. 57. Iss. 3–6. P. 653–655.

14. Salimov R.A., Cherepkov V.G., Golubenko J.I., Krainov G.S., Korabelnikov B.M., Kuznetsov S.A., Kuksa-

nov N.K., Malinin A.B., Nemytov P.I., Petrov S.E., Prudnikov V.V., Fadeev S.N., Veis M.E. D.C. high power electron accelerators of ELV-series: status, development, applications // *Radiation Physics and Chemistry*. 2000. Vol. 57. Iss. 3–6. P. 661–665.

15. Farayibi P.K., Folkes J., Clare A., Oyelola O. Cladding of pre-blended Ti–6Al–4V and WC powder for wear resistant applications // *Surface & Coatings Technology*. Vol. 206. Iss. 2–3. P. 372–377. 25 October 2011.

16. Çelik O.N. Microstructure and wear properties of WC particle reinforced composite coating on Ti6Al4V alloy produced by the plasma transferred arc method // *Applied Surface Science*, in press.

17. Couranta B., Hantzpergueb J.J., Avrilb L., Benayounb S. Structure and hardness of titanium surfaces carburized by pulsed laser melting with graphite addition // *Journal of Materials Processing Technology*.- Vol. 160. Iss. 3. – P. 374–381. 30 March 2005.

Obrabotka metallov

N 3 (60), July–September 2013, Pages 103–109

Production of wear-resistance coatings on titanium alloys by the method of non-vacuum electron-beam cladding

¹O.G. Lenivtseva, ¹I.A. Bataev, ²M.G. Golkovsky, ¹V.V. Samoylenko, ¹R.A. Dostovalov.

¹Novosibirsk State Technical University, Prospekt K. Marksa, 20, Novosibirsk, 630073, Russia

²Institute of Nuclear Physics, Prospect akademika Lavrentieva, 11, Novosibirsk, 630090, Russia

E-mail: lenivtseva_olga@mail.ru

Abstract

Structure and properties of the surface layers on titanium VT1-0, produced by by the method of non-vacuum electron-beam cladding of titanium and graphite powder mixtures are described in the article. The structure of the coatings is investigated by the means of optical and scanning electron microscopy. It is showed that the cladded layer has a high quality and a thickness of about 2 mm. The cladded layer structure is represented by high-strong crystals of a titanium carbide, distributed in a α' -Ti matrix, and undissolved graphite particles. Cladded layers under consideration have high hardness and wear resistance. Cladded samples wear loss is 7-fold lower compared to the material without the coating. Data obtained indicate that the technology of powder mixtures non-vacuum electron-beam cladding allows to obtain coatings with a high hardness and wear resistance on titanium VT1-0.

Keywords: titanium carbide, titanium, non-vacuum electron-beam cladding, structure, wear

References

1. Catherine M. Cotell, James A. Sprague, and Fred A. Smidt, Jr. *ASM Handbook. Surface Engineering*. ASM International, 1994, Vol. 5. 525 p.
2. Courant B., Hantzpergue J.J., Benayoun S. Surface Treatment of titanium by laser irradiation to improve resistance to dry-sliding friction. *Wear*. 1999, Vol. 236, pp. 39–46.
3. Chehrghani A., Torkamany M.J., Hamed M.J., Sabbaghzadeh J. Numerical modeling and experimental investigation of TiC formation on titanium surface pre-coated by graphite under pulsed laser irradiation. *Applied Surface Science*, 2012, Vol. 258, Iss. 6, pp. 2068–2076.
4. Yun E., Lee K., Lee S. Improvement of high-temperature hardness of (TiC, TiB)/Ti–6Al–4V surface composites fabricated by high-energy electron-beam irradiation. *Surface & Coatings Technology*, 2004, Vol. 184, pp. 74–83.
5. Ettaqi S., Hays V., Hantzpergue J.J., Saindrenan G., Remy J.C. Mechanical, structural and tribological properties of titanium nitrided by a pulsed laser. *Surface & Coatings Technology*, 1998, Vol. 100/101, Iss. 1–3, pp. 428–432.
6. Savalani M.M., Ng C.C., Li Q.H., Man H.C. In situ formation of titanium carbide using titanium and carbon-nanotube powders by laser cladding. *Applied Surface Science*, 2012, Vol. 258, Iss. 7, pp. 3173–3177.
7. Golkovski M.G., Bataev I.A., Bataev A.A., Ruktuev A.A., Zhuravina T.V., Kuksanov N.K., Salimov R.A., Bataev V.A. Atmospheric electron-beam surface alloying of titanium with tantalum. *Materials Science & Engineering*, 2013, Vol. 578, pp. 310–317.
8. Bataev I.A., Zhuravina T.V., Ruktuev A.A., Lenivtseva O.G., Romashova Yu.N. *Obrabotka metallov: tehnologija, oborudovanie, instrument*, 2012, no. 3(56), pp. 56–59.

9. Oh J.Ch., Lee S., Golkovski M.G. Improvement of the hardness and wear resistance of (TiC,TiN)/Ti-6Al-4V surface-alloyed materials fabricated by high-energy electron-beam irradiation. Metallurgical & Materials Transactions, 2001, Vol. 32, Iss. 2, pp. 2995–3005.

10. Veis M.E., Kuksanov N.K., Korabelnikov B.M., Nemytov P.I., Salimov R.A. High voltage electron accelerators at a power of up to 90 kW. Radiation Physics & Chemistry, 1990, Vol. 35, Iss. 4–6, pp. 658–661.

11. Golkovsky M.G., Zhuravina T.V., Bataev I.A., Bataev A.A., Veselov S.V., Bataev V.A., Prikhodko E.A. Cladding of tantalum and niobium on titanium by electron beam, injected in atmosphere. Advanced Materials Research, 2011, Vol. 314–316, pp. 23–27.

12. Bataev V.A., Bataev A.A., Golkovsky M.G., Ostromenskij P.I., Korotaev B.V. Hardening of side faces of railheads by electric beam treatment in air. Metal Science and Heat Treatment, 2002, Vol. 44, Iss. 11-12, pp. 510–513.

13. Fadeev S.N., Golkovski M.G., Korchagin A.I., Kuksanov N.K., Lavruhin A.V., Petrov S.E., Salimov R.A., Vaisman A.F. Technological applications of BINP industrial electron accelerators with focused beam extracted into atmosphere. Radiation Physics and Chemistry, 2000, Vol. 57, Iss. 3–6, pp. 653-655.

14. Salimov R.A., Cherepkov V.G., Golubenko J.I., Krainov G.S., Korabelnikov B.M., Kuznetsov S.A., Kuksanov N.K., Malinin A.B., Nemytov P.I., Petrov S.E., Prudnikov V.V., Fadeev S.N., Veis M.E. D.C. high power electron accelerators of ELV-series: status, development, applications. Radiation Physics and Chemistry, 2000, Vol. 57, Iss. 3–6, pp. 661-665.

15. Farayibi P.K., Folkes J., Clare A., Oyelola O. Cladding of pre-blended Ti-6Al-4V and WC powder for wear resistant applications. Surface & Coatings Technology, 2011, Vol. 206, Iss. 2–3, pp. 372–377.

16. Çelik O.N. Microstructure and wear properties of WC particle reinforced composite coating on Ti6Al4V alloy produced by the plasma transferred arc method. Applied Surface Science, in press.

17. Couranta B., Hantzpergueb J.J., Avrilb L., Benayounb S. Structure and hardness of titanium surfaces carburized by pulsed laser melting with graphite addition. Journal of Materials Processing Technology, 2005, Vol. 160, Iss. 3, pp. 374-381.