

06

Состав и структура покрытия, полученного на титановом сплаве ВТ16 при комбинированной обработке методами электроплазменного напыления и микродугового оксидирования

© В.А. Кошуро, Г.Г. Нечаев, А.В. Лясникова

Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина
410054, Саратов, Россия
e-mail: dimirion@rambler.ru

(Поступило в Редакцию 21 марта 2014 г.)

В ходе исследований изучены состав, структура и микротвердость оксидного покрытия, полученного в результате комбинированного плазменного процесса на титановом сплаве ВТ16. Установлено, что структура плазмонапыленного оксида алюминия после микродугового оксидирования изменяется: покрытие становится более плотным, проплавленным. Фазовый состав оксида алюминия, нанесенного методом электроплазменного напыления, в результате последующего микродугового оксидирования остается неизменным.

В промышленности и приборостроении находят применение такие способы формирования функциональных покрытий на различных металлах, как электроплазменное напыление (ЭПН) и микродуговое оксидирование (МДО).

Метод ЭПН позволяет наносить различные материалы с широким спектром свойств, зависящих от режимов процесса напыления [1]. Хорошо известны теоретические и экспериментальные исследования по изучению характеристик оксида алюминия, нанесенного на металлическую основу методом ЭПН, существенным недостатком которого является низкая адгезионная и когезионная прочность, выражающаяся в отслаивании покрытия после нанесения и в процессе эксплуатации изделия. Для устранения этого недостатка, как правило, применяется плакирование порошка Al_2O_3 медью и титаном [2,3].

Технология МДО позволяет создавать оксидные пленки различного назначения на изделиях из алюминия, титана и их сплавов. Свойства МДО-покрытий определяются их составом и структурой, зависящими от материала основы, типа электролита и режимов оксидирования. Отличительной чертой процесса формирования покрытий методом МДО является наличие множества микродуговых разрядов в среде электролита, пробивающих формируемую оксидную пленку, вызывающих ее плавление, перекристаллизацию, оказывающих термическое воздействие на материал основы, а также значительная продолжительность процесса (до 80 min) [4,5].

На основании литературных данных о воздействии микродуговых разрядов на покрытие и материал основы [6] можно предположить, что проведение процесса МДО после ЭПН оксида алюминия на подложку из титанового сплава ВТ16 (ГОСТ 26492-85) приведет к повышению значений механических характеристик покрытия.

Целью представленной работы является исследование состава, структуры и микротвердости покрытия, полученного по предлагаемой комбинированной технологии.

Исследовались образцы, представляющие собой цилиндры диаметром 6.5 mm и высотой 1.5 mm из титанового сплава ВТ16, с покрытием, нанесенным на торцевые поверхности методом ЭПН порошка электрокорунда марки 25AF230 дисперсностью 50–100 μm , с дистанции 120 mm, на установке ВРЕС 744.3227.001, с последующим МДО на экспериментальном стенде МДО-1 в анодном режиме при постоянной плотности тока $j = 10^3 \text{ A/m}^2$, в течение 20 min в электролите, содержащем 3 g/l NaOH.

Исследование химического состава и морфологии поверхности осуществлялось методом энергодисперсионного рентгенофлуоресцентного анализа (ЭДРФА) (по-

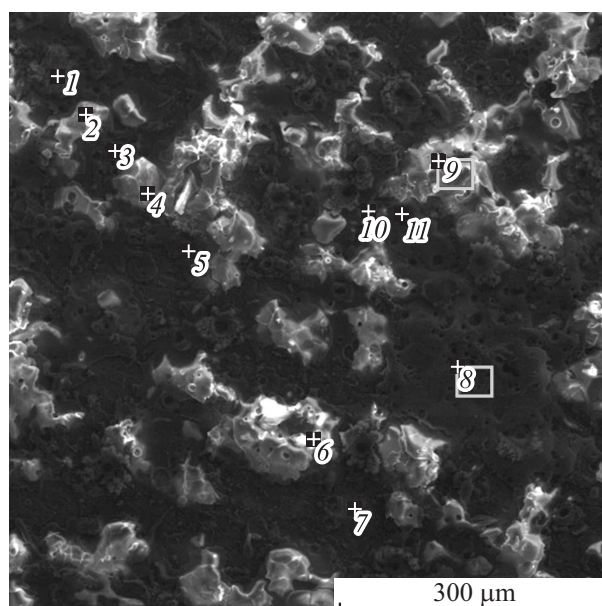


Рис. 1.

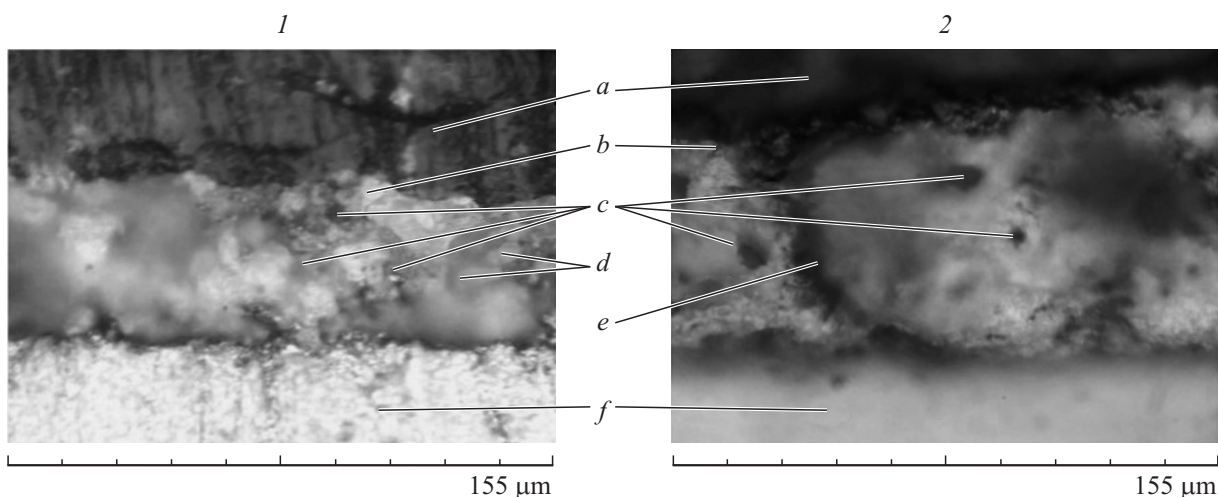


Рис. 2.

Таблица 1. Распределение химических элементов по поверхности комбинированного покрытия

№ цифровой метки		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Содержание элемента, %at.	O	65.71	67.26	66.07	61.87	67.32	63.84	73.85	68.31	66.61	64.55	70.84
	Al	32.99	32.74	33.42	38.13	8.21	36.16	21.26	20.48	33.39	35.45	18.78
	Ti	1.31	—	0.51	—	24.47	—	4.89	11.21	—	—	10.38

грешность концентраций $\pm 5\%$) и растровой электронной микроскопии (РЭМ) с использованием электронного микроскопа MIRA II LMU при сканировании с увеличением 500 кх.

Структура покрытия исследовалась на поперечных шлифах с использованием металлографического микроскопа МИМ-8. Фазовый состав образцов с комбинированным покрытием определялся на монокристалльном рентгеновском дифрактометре Xcalibur/Gemini A при использовании рентгеновской трубки с медным анодом ($\text{Cu-K}\alpha$ -излучение). Для анализа дифрактограмм использовалась база данных CRYSTAL IMPACT, Bonn, Germany.

Микротвердость покрытий определялась с использованием твердомера HVS-1000B с видеоизмерительной системой SP-5. При этом использовалась нагрузка на индентор Виккерса, равная 1.96 Н при выдержке 15 с (ГОСТ 9450-76).

Поверхность покрытия, сформированного ЭПН оксида алюминия с последующим МДО, имеет развитую морфологию, образованную оплавленными и деформированными частицами ЭПН Al_2O_3 со следами воздействия микродуговых разрядов в виде кратеров (рис. 1). Также выделяются темные и светлые участки поверхности.

Структура ЭПН покрытия является неоднородной, наблюдаются не проплавленные в процессе ЭПН частицы оксида алюминия, между которыми различимы пустоты, т. е. закрытые поры (рис. 2, 1).

После МДО образцов с покрытием, предварительно сформированным ЭПН Al_2O_3 , структура изменилась: отсутствуют отдельные частицы ЭПН оксида алюминия, уменьшилось количество пор и пустот, появились каналы от воздействия микродуговых разрядов (рис. 2, 2).

Был проведен ЭДРФА поверхности комбинированного покрытия по цифровым меткам (рис. 1).

Согласно ЭДРФА, в состав покрытия входят следующие элементы: O, Al, Ti (табл. 1).

С учетом результатов ЭДРФА был проведен рентгенофазовый анализ образцов с комбинированным покрытием, показавший наличие α - и β -фаз титана (материал основы), оксида титана и наличие γ -фазы оксида алюминия (рис. 3).

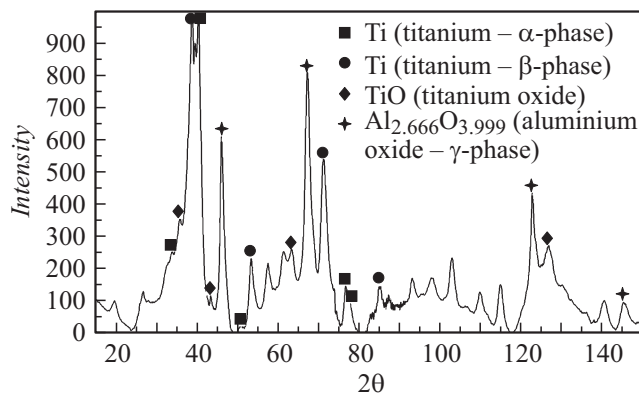


Рис. 3.

Таблица 2. Результаты измерений микротвердости покрытий

Материал образца	Тип покрытия	Нагрузка на индентор, Н	Среднее значение микротвердости, HV
ВТ 16	–	1.96	407.7 ± 100
	ЭПН	1.96	853 ± 100
	ЭПН + МДО	1.96	1779.53 ± 100

На основании результатов РФА и ЭДРФА можно предположить следующее:

- светлые участки поверхности покрытия образца (рис. 1) (цифровые метки 2, 4, 6, 9, 10) состоят из оксида алюминия,
- участки покрытия, имеющие на изображении темный фон, представляют собой области, имеющие в составе оксидного покрытия примеси титана (цифровые метки 1, 3, 7) в результате воздействия микродуговых разрядов на покрытие, и области, состоящие из смеси оксидов: ЭПН Al_2O_3 и оксида титана (цифровые метки 5, 8, 11).

Установлено изменение микротвердости поверхности образцов с ЭПН оксидом алюминия после МДО. Результаты измерения представлены в табл. 2.

Согласно проведенным исследованиям, микротвердость ЭПН покрытия после МДО значительно увеличивается, вероятно, это связано с изменением структуры ЭПН оксида алюминия в результате воздействия микродуговых разрядов на покрытие и материал основы.

Согласно проведенным исследованиям образцов с ЭПН, ЭПН и последующим МДО можно сделать следующие выводы:

- В процессе комбинированной обработки оксид алюминия, нанесенный на поверхность образца из титанового сплава методом ЭПН, переплавляется, но фазовый состав его не изменяется (рис. 2, 2).
- Титан, зафиксированный методом ЭДРФА в составе комбинированного покрытия, появляется на поверхности образцов в результате кумулятивных выбросов на поверхность покрытия, при пробивании оксидной пленки микродуговыми разрядами.
- Согласно результатам исследования микротвердости, покрытие, полученное методом ПН оксида алюминия с последующим МДО, по своим свойствам превосходит слои материала, нанесенные способом ПН, и оксидные пленки, полученные МДО на тех же режимах.

Список литературы

- [1] Фомин А.А., Штейнгауэр А.Б., Лясников В.Н., Вениг С.Б., Захаревич А.М. // Письма в ЖТФ. 2012. Т. 38. Вып. 10. С. 64–69.
- [2] Смирнов И.В., Черный А.В., Белоусова Н.А. // Вестник НТУУ „КПИ“. 2010. № 60.
- [3] Song Y., Lee I., Hong S.N., Kim B., Lee K.H., Lee D.Y. // J. Mater. Sci. 2006. Vol. 41. P. 2059.

- [4] Михеев А.Е., Гирн А.В., Орлова Д.В., Вахтеев Е.В., Трушкина Т.В. // Вестн. Сиб. гос. аэрокосмического ун-та им. акад. М.Ф. Решетнева. 2012. № 4. С. 168.
- [5] Нечаев Г.Г. // Конденсированные среды и межфазные границы. 2012. Т. 14. № 4. С. 453.
- [6] Кошуру В.А., Нечаев Г.Г., Лясникова А.В. // Упрочняющие технология и покрытия. 2013. № 10. С. 18.