

2. Показано, что метод анодного электролитно-плазменного азотирования позволяет снизить массовый износ на 2 порядка по сравнению с необработанным образцом. Минимальное значение коэффициента трения наблюдается при температуре насыщения 650 °С.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Kusmanov S.A. Anode plasma electrolytic nitrohardening of medium carbon steel / S.A. Kusmanov, A.A. Smirnov, Yu.V. Kusmanova, P.N. Belkin - Surface and Coatings Technology Volume 269, 15 May 2015, Pages 308–313

2. Суминов И.В. Плазменно-электролитическое модифицирование поверхности металлов и сплавов. Суминов И.В., Белкин П.Н., Эпельфельд А.В., Людин В.Б., Крит Б.Л., Борисов А.М. М.: Техносфера, 2011. 464 с.

УДК 620.193.01

Парфенюк В.И., Дьяков И.Г.,  
Комиссарова М.Р., Кусманов С.А.  
(КГУ, г. Кострома, Россия)

### **ПОВЫШЕНИЕ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ ПОСЛЕ АНОДНОЙ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ**

При трении титановых сплавов наблюдается высокий износ и величина коэффициента трения [1]. Одним из вариантов преодоления такого недостатка является химико-термическая обработка поверхности. Методы на основе микродугового оксидирования (МДО) позволяют получать на поверхности коррозионностойкий твердый слой, недостатком которого является слишком высокая пористость и твердость, что приводит к износу контртела в паре трения [2]. Другим вариантом повышения комплекса свойств поверхности титана и его сплавов может быть метод анодного электролитно-плазменного нагрева (АЭПН). В данной работе изучалось влияние состава электролита при анодной электролитно-плазменной цементации на электрохимические свойства поверхности титановых сплавов.

Для исследования были взяты три марки титана с разным фазовым составом: ВТ1-0 –  $\alpha$ -титан, ВТ-22 –  $\beta$ -титан (матерситного типа) и ВТ-6 –  $\alpha+\beta$ -титан. Для обработки использовались электролиты следующего состава: 100 г/л хлорида аммония и 100 г/л науглероживающего компонента. В качестве доноров углерода были выбраны вещества: ацетон, сахароза, глицерин и этиленгликоль. Хлорид аммония в данном случае обеспечивает необходимую для возникновения явле-

ния анодного нагрева электропроводность раствора. Выбранные углеродсодержащие компоненты показали положительные результаты при цементации малоуглеродистых сталей [3].

Образцы диаметром 8 мм и высотой 10 мм подвергались цементации в течение 5 мин. Температура обработки составляла  $850 \pm 15$  °С. Образцы охлаждали от температуры нагрева в электролите путем отключения напряжения на ячейке.

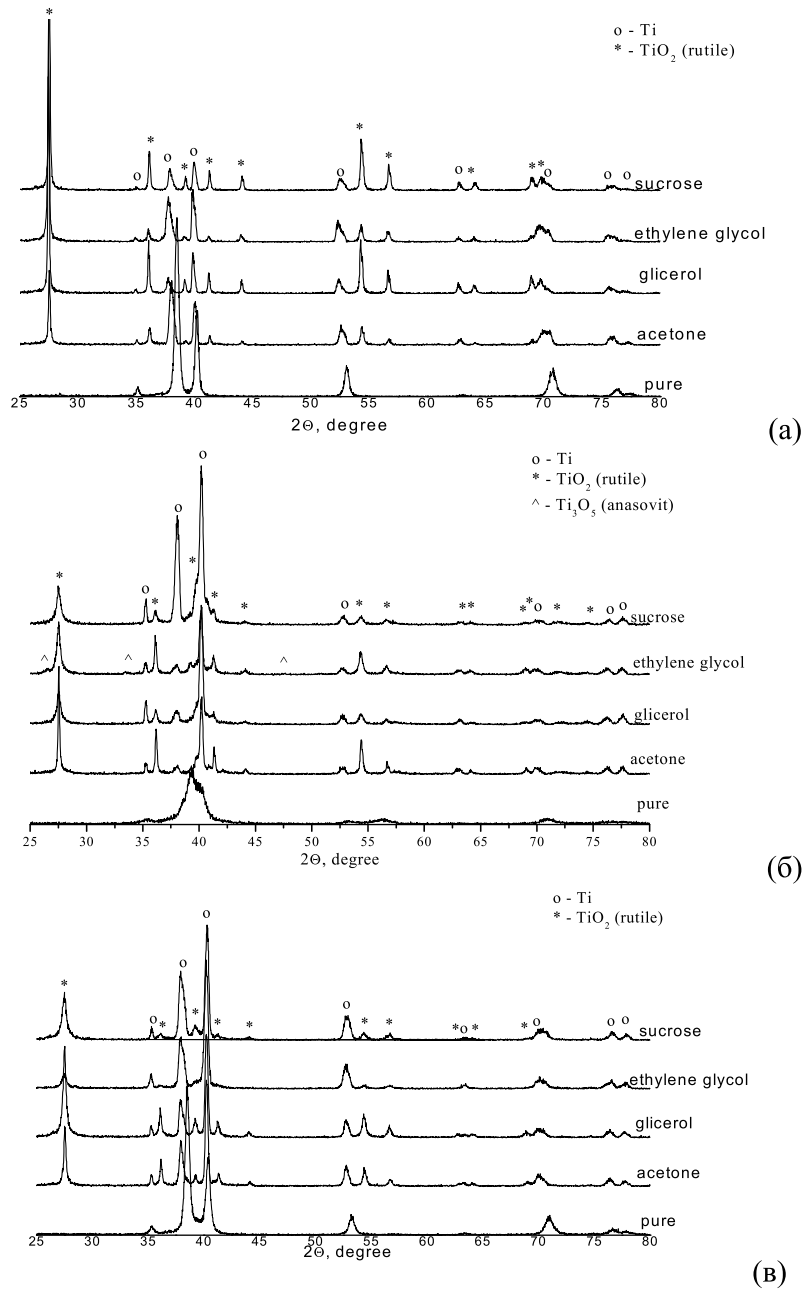
Фазовый состав поверхностных слоев исследовали с помощью рентгеновский дифрактометра (Thermo Fisher Scientific) с излучением  $\text{Cu-K}_\alpha$ , скорость сканирования составляла  $2^\circ/\text{мин}$ .

Для оценки коррозионных свойств применялся потенциостат/гальваностат IPC-Pro M. Коррозионной средой являлся 0,1 н. раствор сульфата натрия. Предварительная выдержка в растворе – до установления равновесного значения потенциала разомкнутой цепи. Развертка потенциала от значения ( $E_{\text{опр}} - 500$  мВ) со скоростью 1 мВ/с. Потенциал измерялся относительно хлор-серебряного электрода.

Согласно рентгеноструктурному анализу (рис. 1), на поверхности всех образцов преимущественно видны пики только двух фаз: титан и оксид титана (II) – рутил. И только после обработки титанового сплава ВТ-22 в растворе с этиленгликолем наблюдается небольшие пики фазы анасовит ( $\text{Ti}_3\text{O}_5$ ). Не обнаружены фазы, связанные с легирующими элементами для сплавов ВТ-22 и ВТ-6, например, карбиды или оксиды алюминия, ванадия или молибдена. Такое сходство фазового состава поверхности является следствием совокупности электрохимических и химических процессов на границе раздела парогазовая оболочка – металл. Разная интенсивность пиков рутила в зависимости от компонента-донора углерода, наиболее вероятно, определяется окисляющей способностью компонента. Так же на рентгенограммах видно, что пики титана у необработанного образца смещаются после обработки во всех случаях. Это свидетельствует о протекании процессов рекристаллизации и изменения параметров элементарной кристаллической решетки. Так как карбиды титана не обнаруживаются, но по данным EDX анализа концентрация углерода в поверхностном слое может достигать 2 % [1], то искажение решетки может являться косвенным доказательством цементации углерода в поры решетки.

Повышение микротвердости на краю образцов в результате анодной электролитно-плазменной цементации (ЭПЦ) наблюдалось для всех исследованных марок титана. Для ВТ1-0 она составляла 250  $\text{HV}_{50}$  и не зависела от состава электролита. Для образцов марки ВТ-22 значения микротвердости на краю зависят от донора углерода. Максимум наблюдаются на деталях после обработки в электролите с аце-

тоном (434 HV<sub>50</sub>), минимум – после насыщения в растворе с этиленгликолем (230 HV<sub>50</sub>).



**Рисунок 1 - Рентгенограммы поверхностных слоев деталей VT1-0 (а), VT-22 (б), VT-6 (в) до и после анодной ЭПЦ в растворе ацетона, глицерина, сахарозы и этиленгликоля**

Для титанового сплава VT-6 так же наблюдалась зависимость микротвердости от состава электролита. Цементация в растворах с ацетоном или глицерином позволяет получить приблизительно одинаковые значения микротвердости (400 HV<sub>50</sub>), далее по уменьшению значений идет электролит с сахарозой (350 HV<sub>50</sub>), минимальное зна-

чение получается после обработки в растворе с этиленгликолем (305 HV<sub>50</sub>).

Повышение микротвердости деталей связано с диффузией углерода в титан. Различие данных микротвердости можно объяснить зависимостью коэффициентом диффузии углерода от вещества-донора.

**Таблица 1 - Зависимость плотности тока коррозии титановых сплавов от донора углерода**

Марки титановых сплавов	Плотность тока коррозии мкА/см <sup>2</sup>				
	необработанный	Электролиты			
		ацетон	глицерин	сахар	этиленгликоль
BT1-0	2,3	0,4	0,7	1,3	0,4
BT-22	0,3	0,4	1,4	1,1	0,5
BT-6	0,5	0,2	0,4	0,9	0,3

Из полученных данных можно сделать следующие выводы: для титанового сплава BT1-0 обработка во всех электролитах значительно снижает плотность тока коррозии, а для сплава BT-22 после обработки коррозионные свойства ухудшаются. Начальная плотность тока коррозии сплавов определяется долей легирующих компонентов, поэтому у сплава BT-22 наблюдается минимальное значение скорости коррозии. После обработки плотность тока коррозии у всех сплавов после цементации в одном и том же растворе имеет похожие значения, что подтверждает гипотезу о влиянии состава электролита на поверхностные свойства. Исключение составляет результат цементации сплава BT-22 в растворе с глицерином.

Цементация всех сплавов титана в растворах с глицерином и сахарозой приводит к росту плотности тока коррозии по сравнению с растворами с растворами на основе ацетона и этиленгликоля.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Dyakov I.G. Effect of Regimes of Anode Plasma Electrolytic Carburizing on Tribological Properties of Titanium Alloy VT 20 // Dyakov I.G., M.R. Komissarova, Yu.P. Gladii / Materials Science Forum, Vol. 844, pp 133-140 doi:10.4028/www.scientific.net/MSF.844.133

2. Суминов И.В. Плазменно-электролитическое модифицирование поверхности металлов и сплавов. Суминов И.В., Белкин П.Н., Эпельфельд А.В., Людин В.Б., Крит Б.Л., Борисов А.М. М.: Техносфера, 2011. 464 с.

3. Белкин П.Н. Влияние углеродсодержащих компонентов электролита на характеристики электрохимико-термической цементации. / Кусманов С. А., Дьяков И.Г., Белкин П. Н. - Вопросы материаловедения. 2009. – № 4. С. 7–14.