

Изучение изменений поверхности МДО-покрытий, модифицированных УПТФЭ-Forum, в процессе трибологических испытаний

А.А. Хади^{1,2}, Т.И. Муравьева², П.О. Буковский², О.О. Щербакова²

¹ Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва, Ярославское шоссе, д. 26

² Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН, Москва, пр-т Вернадского, д. 101, корп. 1

Алюминиевые сплавы являются ключевыми конструкционными материалами в авиакосмической, автомобильной и судостроительной отраслях [1] благодаря высокой удельной прочности и низкой плотности. Однако ограниченная поверхностная твердость и низкая стойкость к коррозии и абразивному износу сдерживают их применение в ответственных узлах трения и агрессивных средах. Эффективным методом решения этой проблемы является микро-дуговое оксидирование (МДО), позволяющее формировать на поверхности алюминиевых сплавов твердые, толстые и химически стойкие оксидно-керамические слои.

Актуальность современных исследований в области МДО связана с необходимостью целенаправленного управления структурой покрытий и придания им специальных функциональных свойств. Модификация состава электролитов (в том числе введение наноразмерных добавок и дисперсных частиц) [2, 3] и оптимизация электрических режимов позволяют получать керамические покрытия с улучшенными трибологическими, теплозащитными и антикоррозионными характеристиками. Одним из таких модификаторов является УПТФЭ-Forum, который представляет собой высокоэффективный твердый смазочный материал, обладающий уникально низким коэффициентом трения и антиадгезионными свойствами.

Целью данной работы являлось исследование изменения морфологии поверхности керамических МДО-покрытий модифицированных УПТФЭ-Forum в условиях фрикционного взаимодействия.

В работе исследовались образцы марочного алюминиевого сплава В95 на поверхность которых методом МДО были нанесены керамические покрытия с различной концентрацией антифрикционного модификатора (0,5, 1 и 6 г/л).

Эксперимент на трение и износ проводился на трибометре MFT-5000 (Rtec Instruments Inc., США) по стандартной методике в соответствии с ASTM G99-23 по схеме контакта шар – диск.

Структура образцов исследовалась на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) Quanta 650 (FEI, США), оснащенном аналитическим оборудованием EDAX, в том числе энергодисперсионным рентгеноспектральным микроанализатором (EDS), при ускоряющем напряжении 20 кВ kV. Поскольку изучаемые керамические МДО-покрытия являются диэлектриками, то при работе был выбран специальный низковакуумный режим исследования. В этом режиме в качестве рабочей среды использовался

разреженный водяной пар при остаточном давлении 15–20 Па. Поверхность образцов с МДО-покрытиями изучали как в исходном состоянии, так и после трибологических испытаний.

Для всех образцов были получены зависимости коэффициента трения от времени испытания. Значения коэффициента трения находятся в диапазоне от 0,4 до 0,65, при этом самое низкое было у образца модифицированного 0,5 г/л УПТФЭ-Forum.

На рис.1 показаны СЭМ-изображения поверхности МДО-покрытия до и после трибологических исследований.

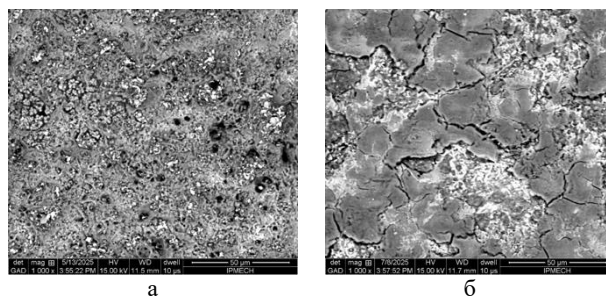


Рис. 1. СЭМ-изображения образца, модифицированного 0,5 г/л: а - исходная поверхность; б - поверхность после трения.

На СЭМ-изображениях после трения (рис. 1б) наблюдаются характерные признаки разрушения (локальные трещины). При этом отмечается общее сглаживание поверхности по сравнению с исходным состоянием (рис. 1а), что может быть обусловлено абразивным износом и/или деформацией в процессе трения.

Таким образом, введение модификатора в электролит при формировании МДО-покрытий приводит к появлению в покрытиях антифрикционной добавки и снижению коэффициента трения.

Работа выполнена в рамках крупного научного проекта при финансовой поддержке Министерства науки и образования Российской Федерации (соглашение № 075-15-2024-535 от 23.04.2024)

1. Z. Fan, H. Lu, P. Liu, et al. *Ceramics International*, (2024), 50, 44993–45005.
2. L. Ren, T. Wang, Z. Chen, et al. *Metals*, (2019), 9, 170.
3. L. Liu, L. Wang, J. Pan, et al. *Surface and Coatings Technology*, (2022), 441, 128592.