

УДК 621.794.61:621.357

## ЗАПОЛНЕНИЕ ПОР ПОКРЫТИЙ, СФОРМИРОВАННЫХ МИКРОДУГОВЫМ ОКСИДИРОВАНИЕМ, МАСЛОМ ИЛИ ТВЁРДЫМИ СМАЗОЧНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ИХ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ

**А.В. КОЛОМЕЙЧЕНКО, Н.В. ТИТОВ**  
(Орловский государственный аграрный университет)

*Рассмотрена необходимость заполнения пор покрытий, сформированных микродуговым оксидированием, смазочными материалами для снижения их интенсивности изнашивания при эксплуатации деталей с данными покрытиями в подвижных соединениях. Показано, какое влияние на изнашивание упрочнённого слоя оказывает заполнение пор маслом. Рассмотрены основные виды твёрдых смазочных материалов и их применение для заполнения пор покрытий с целью повышения износостойкости упрочнённого слоя.*

**Введение.** Для увеличения ресурса деталей применяются износостойкие покрытия, среди которых заслуживает внимания такой способ, как микродуговое оксидирование (МДО). К основным преимуществам МДО относятся: получение многофункциональных покрытий заданного состава, структуры и толщины, регулирование скорости формирования упрочнённого слоя в широком диапазоне: экологичность процесса, выражающаяся в отсутствии токсичных химических компонентов и специальных очистных сооружений для отработанных электролитов [1]. Вместе с этим, при формировании покрытий МДО имеется один существенный недостаток: способ не позволяет получить одинаковую микротвёрдость  $H_n$  по толщине  $S$  сформированного упрочнённого слоя. При приближении к поверхности упрочнённого слоя твёрдость покрытия резко снижается, что приводит к неравномерному изнашиванию детали во время эксплуатации [1, 2].

**Постановка задачи.** Несмотря на успешное решение ряда конкретных задач, в литературных источниках отсутствуют данные о том, каким образом можно получить одинаковую микротвёрдость  $H$  по толщине  $S$  сформированного МДО упрочнённого слоя. Для ликвидации этого недостатка необходимо:

- предложить технологический приём, позволяющий компенсировать падение микротвёрдости по толщине сформированного упрочнённого слоя, особенно в верхней его части, для снижения интенсивности изнашивания покрытия при эксплуатации детали;
- рассмотреть влияние заполнения пор покрытий, сформированных МДО, маслом или твёрдыми смазочными материалами, на изнашивание этих покрытий.

**Методы испытаний.** Покрытия, сформированные МДО и заполненные маслом или твёрдыми смазочными материалами, формировали в анодно-катодном режиме на образцах размером  $70 \times 15 \times 15$  из алюминиевого сплава АК5М7 (АЛ 10В). Данный сплав применяется для изготовления поршней гидроцилиндров, поршней ДВС и ряда других деталей. В качестве электролита использовали водный раствор следующих компонентов: гидроксид калия (КОН) – 1,5 г/л; натриевое жидкое стекло ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) – 12 г/л. Испытания на изнашивание проводили на машине трения, имитирующей возвратно-поступательное движение. Для ускорения изнашивания образцов в масло добавляли абразив: кварцевый песок дисперсностью 3...6 мкм. Массу образцов измеряли на лабораторных аналитических весах марки ВЛА-200г-М.

**Результаты и их обсуждение.** Механизм формирования покрытий МДО предопределяет наличие как сквозных, так и замкнутых пор. Пористость представляет собой совокупность сети микродефектов и каналов, образующихся при горении микродуговых разрядов. Наличие определённого процента пор, в которые при заполнении сформированных покрытий проникает масло или твёрдый смазочный материал, будет благоприятно сказываться на их изнашивании, так как при этом проявляется эффект самосмазываемости. Данный эффект объясняется различием в коэффициентах расширения смазки и материала детали. С повышением температуры трущихся поверхностей смазка за счёт большего объёмного расширения выступает из пор и капилляров, и смазывает поверхности трения. Особенно желателен этот эффект в начальный период работы соединения, когда между трущимися поверхностями находится недостаточное количество смазки и возможно их схватывание [3].

При заполнении маслом пор покрытий, сформированных МДО, веретённое масло АУ по ГОСТ 1642-85 с кинематической вязкостью  $4,9 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$  нагревают до температуры  $130 \text{ }^\circ\text{C}$ . Затем в него опускают деталь с покрытием и выдерживают до тех пор, пока температура масла не снизится до  $20 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ . Масло, проникая в поры, снижает интенсивность изнашивания упрочняющего покрытия детали (табл. 1).

Так, интенсивность изнашивания на расстоянии 20 мкм от границы с металлом уменьшилась на 8 %, на расстоянии 40 мкм – на 17, на расстоянии 60 мкм – на 20 и на расстоянии 80 мкм – на 23 %. Таким образом,

имеет место тенденция существенного снижения интенсивности изнашивания именно в верхней части сформированного упрочнённого слоя.

Таблица 1

Влияние заполнения пор маслом на изнашивание покрытия

Показатель	Величина							
	без заполнения				с заполнением			
Расстояние от границы с металлом, мкм	20	40	60	80	20	40	60	80
Интенсивность изнашивания, (г/ч)·10 <sup>-3</sup>	112	144	175	209	103	120	141	161

Твёрдые смазочные материалы предназначены снижать трение трущихся поверхностей в условиях, когда невозможно создать жидкостную смазку. Наиболее распространёнными материалами этой группы являются графит, дисульфид молибдена и нитрид бора [4].

У графита слои атомов углерода находятся на больших расстояниях друг от друга, при этом сами атомы имеют гексагональное расположение и обладают прочными межатомными связями. Прочность же связей между атомами, расположенными в различных плоскостях, на порядок меньше, поэтому при трении осуществляется сравнительно лёгкий сдвиг одной плоскости относительно другой. Дисульфид молибдена имеет, также как и графит, гексагональную структуру и обеспечивает низкий коэффициент трения вплоть до температуры 1150 °С. Поведение нитрида бора при трении также подобно графиту, однако значения коэффициентов трения у первого более высокие. При работе деталей с нагревом до температуры 900 °С хорошие результаты даёт использование смеси нитрида бора с графитом. Графитовые пленки обеспечивают смазку до температуры 500 °С, а нитрид бора – в интервале температур 500...900 °С

Отдельно следует остановиться на твёрдом полимерном материале подтитрофторэтилене (ПТФЭ), обладающем отличными антифрикционными свойствами и нередко применяемом в качестве твердого смазочного материала. Подтитрофторэтилен или фторопласт, обладает низким коэффициентом трения вплоть до температуры размягчения. Использованию фторопласта в чистом виде препятствуют его низкая прочность, плохая теплопроводность, высокий коэффициент теплового расширения и низкая способность сопротивляться трению при высоких скоростях и повышенном тепловыделении. Однако при заполнении фторопластом пор обеспечиваются достаточно высокие антифрикционные свойства покрытия.

Заполнение пор покрытий, сформированных МДО, твёрдыми смазочными материалами можно осуществлять при помощи распыления, вибровихревым способом или окунаем.

При распылении струя сжатого воздуха со взвешенными частицами твёрдого смазочного материала проходит через факел воздушно-ацетиленового пламени. Частицы материала оплавляются под действием тепла пламени и, попадая на поверхность детали со сформированным покрытием, которая подогрета до температуры, близкой к температуре плавления материала, прочно соединяются с ней. Однако при распылении, главным образом, происходит увеличение действительных размеров детали, а поры практически не заполняются. Вследствие этого данный метод применять нецелесообразно.

При заполнении пор твёрдым смазочным материалом вибровихревым способом деталь с покрытием нагревают до температуры 320 °С и затем погружают в псевдосжиженный слой этого материала, который находится в ванне вибровихревой установки, на 7...15 с. Размеры частиц материала – 0,15...0,25 мм, их колебания осуществляются с частотой 50...100 Гц. Эти частицы, ударяясь о поверхность нагретой детали, проникают в поры покрытия и, оплаваясь, заполняют их. Однако для использования вибровихревого способа требуется специальное оборудование – вибровихревая установка, что усложнит технологический процесс и увеличит себестоимость восстановленных деталей.

При заполнении пор твёрдым смазочным материалом с применением окунаем деталь с покрытием, сформированным МДО, нагревают до температуры 410...420 °С и погружают (окунают) в слой материала, находящийся в ёмкости в виде жидкой суспензии. В результате взаимодействия этой суспензии с нагретой деталью часть её заполняют поры покрытия и уменьшают интенсивность изнашивания сформированного упрочнённого слоя (табл. 2).

Таблица 2

Влияние заполнения пор фторопластом при помощи окунаем на изнашивание покрытия

Показатель	Величина	
	без заполнения	с заполнением
Интенсивность изнашивания, (г/ч)·10 <sup>-3</sup>	160	138

**Выводы**

1. Для увеличения износостойкости покрытий, сформированных МДО, целесообразно проводить их заполнение маслом или твёрдым смазочным материалом, что позволяет:

- за счёт заполнения пор маслом уменьшить интенсивность изнашивания покрытия на 20...23 %.
- за счёт заполнения пор твёрдым смазочным материалом уменьшить интенсивность изнашивания покрытия на 12...15 %.

2. Предлагаемые технологические приёмы заполнения пор просты и не требуют применения сложного, дорогостоящего оборудования.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Восстановление и упрочнение деталей из алюминиевых сплавов микродуговым оксидированием: Учеб. пособие / А.Н. Новиков, А.Н. Батищев, Ю.А. Кузнецов, А.В. Коломейченко. – Орел: ОрелГАУ, 2001. – 99 с.
2. Фёдоров В.А., Великосельская Н.Д. Физико-механические характеристики упрочнённого поверхностного слоя на сплавах алюминия, получаемого при микродуговом оксидировании // Физика и химия обработки материалов. – 1990. – № 4. – С. 57 – 62.
3. Надёжность и ремонт машин / В.В. Курчаткин, Н.Ф. Тельнов, К.А. Ачкасов и др.; Под ред. В.В. Курчаткина. – М.: Колос, 2000. – 776 с.
4. Буше Н.А. Трение, износ и усталость в машинах. Транспортная техника. – М.: Транспорт, 1987. – 184 с.