

1. Черноиванов В.И. Андреев. В.П Восстановление деталей сельскохозяйственных машин. М: Колос, 1983 – 288с.
2. Иванов З.П. Ремонт, восстановление, модернизация 2004 г. N:2.1 с. 2 – 7
3. Каракозов Э.С. Сварка металлов давлением. Текст Э.С Каракозов. М; Машиностроение 1986 г. 280с.
4. Эргашев М., Бобоев Х.Х., Электроконтактное припекание при восстановлении деталей сельхозтехники. Материалы международной научно-практической конференции «Проблемы повышения эффективности использования электрической энергии в отраслях агропромышленного комплекса», ТИИМСХ, с. 778 -781

ОПЫТ РАЗРАБОТКИ АНТИФРИКЦИОННЫХ ПОЛИМЕРНО-КЕРАМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

И. И. Злотников

**Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого
г. Гомель, Республика Беларусь**

Эффективность и долговечность работы современных машин и механизмов во многом определяется качеством и надежностью работы узлов трения. Поэтому разработка и внедрение в производство новых антифрикционных материалов, работающих без смазки или при ее ограничении, является важной и актуальной задачей современной техники. Эффективным методом повышения ресурса работы различных узлов трения, в которых применяются алюминиевые сплавы (поршней двигателей внутреннего сгорания, плунжеров и торцевых уплотнений насосов, запорной арматуры и др.) является микродуговое оксидирование (МДО) рабочих поверхностей алюминиевых деталей. Этот метод позволяет получать на изделиях из алюминия и его сплавов износостойкий оксидно-керамический слой, состоящий в основном из оксида алюминия [1]. Однако общим недостатком таких оксидно-керамических покрытий при их использовании в узлах трения является их высокий коэффициент трения. Из литературы известны попытки снижения коэффициента трения МДО-покрытий путем введения в керамическую матрицу в процессе ее формирования антифрикционных частиц (графит, дисульфид молибдена и др.), или нанесением на поверхность керамического слоя тонкого антифрикционного покрытия, например, медного [2] или полимерного [3]. Однако такие покрытия не нашли широкого промышленного применения. Это связано с тем, что микрочастицы антифрикционных веществ очень плохо внедряются в оксидно-керамическую матрицу при ее формировании, а часто вообще разрушаются в высокотемпературных микроплазменных разрядах. А антифрикционные покрытия, наносимые на керамический слой, часто имеют плохую адгезию к подложке и отслаиваются в процессе эксплуатации.

Учитывая, что общим свойством оксидно-керамических покрытий, полученных методом МДО является их высокая пористость, особенно в

поверхностном слое, целью данного исследования было изучение возможности пропитки МДО-покрытий растворами полимеров (или олигомеров), которые при дальнейшей термообработке и полимеризации могут придавать оксидно-керамическим покрытиям антифрикционные свойства.

В данном исследовании в качестве базового электролита был использован водный раствор, содержащий 80 г/л силиката натрия и 3,5 г/л гидроксида калия. В качестве модификатора, повышающего адгезию получаемых керамических покрытий к полимерным субстратам, использовали бихромат натрия ($\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), который вводили в базовый электролит в количестве 0,1 г/л. Процесс МДО образцов из алюминиевых сплавов проводили в симметричном анодно-катодном режиме с использованием переменного тока частотой 50 Гц. Использование синусоидального напряжения с частотой 50 Гц позволяет применять обычное промышленное напряжение, не прибегая к преобразователям частоты, что значительно упрощает процесс. Плотность тока в течение всего времени оксидирования поддерживалась около 5 А/дм^2 , напряжение изменяли в пределах от 0 до 250 В. Одним электродом служили обрабатываемые образцы, вторым – сосуд из нержавеющей стали. Покрытия наносили на алюминиевую фольгу марки АД1 толщиной 100 мкм и шириной 20 мм. После формирования оксидно-керамических покрытий образцы промывали проточной водой и сушили при температуре 120-130°C. Затем полученные образцы пропитывали путем окунания в следующих составах:

- 1) 10% спиртовой раствор фенолоформальдегидной смолы СФ-381;
- 2) 1% раствор фторопласта Ф-32 в бутиловом эфире уксусной кислоты;
- 3) 5%-ный раствор полиамида 6 в диметилсульфоксиде.

После пропитки образцы сушили до полного удаления растворителя и термообрабатывали при температурах 160-180 °С для образцов пропитанных фенолоформальдегидной смолой и полиамидом 6 и 280-300 °С для образцов пропитанных фторопластом Ф-32.

Антифрикционные свойства покрытий определяли на специально изготовленной лабораторной установке, схема которой приведена на рисунке 1.

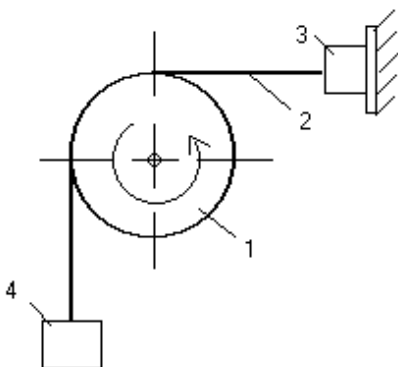


Рисунок 1 – Схема установки: 1 – вращающийся ролик, 2 – алюминиевая фольга с исследуемым покрытием, 3 – динамометр, 4 – груз

По этой методике алюминиевая фольга с нанесенным полимерно-керамическим покрытием скользит с заданной нагрузкой и скоростью по вращающемуся ролику диаметром 30 мм изготовленному из сплава Д16 с керамическим покрытием, также нанесенным методом МДО. Покрытие на ролик наносили из базового электролита при тех же токовых режимах, что и на фольгу и полировали. Угол охвата ролика фольгой составлял 90° . Силу натяжения T_1 задавали с помощью набора грузов 4, прикрепленных к нижнему краю фольги. Силу натяжения T_2 измеряли динамометром 3. Скорость скольжения фольги по ролику во всех экспериментах составляла 0,1 м/с.

Коэффициент трения f вычисляли по формуле Эйлера: $T_2 = T_1 e^{f\alpha}$, где α – угол обхвата ролика фольгой, T_1 – сила натяжения в сбегавшей ветви, T_2 – сила натяжения в набегающей ветви. В нашем случае $\alpha = \pi/2$, поэтому $f = \frac{2}{\pi} \ln \frac{T_2}{T_1}$. Температуру в зоне трения измеряли бесконтактным способом пирометром «Орион 1100».

Были проведены измерения коэффициента трения и установившейся температуры в зоне трения при различных нагрузках. Перед началом измерений покрытия прирабатывали при нагрузке 1 Н до стабилизации величины коэффициента трения. Результаты испытаний приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Свойства покрытий

Характеристика	Без пропитки	Образец 1 смола СФ-381	Образец 2 фторопласт	Образец 3 полиамид 6
Коэффициент трения при нагрузке:				
– 0,5 Н	0,56	0,36	0,22	0,34
– 1,0 Н	0,65	0,35	0,24	0,31
Температура в зоне трения, °С, при нагрузке:				
– 0,5 Н	65	45	30	36
– 1,0 Н	75	46	36	40

Как следует из полученных данных, после пропитки покрытий полимерами их коэффициент трения и температура в зоне трения

значительно снижаются. Наиболее низкий коэффициент трения имеет покрытие, пропитанное фторопластом. Соответственно и температура в зоне трения у этого покрытия заметно ниже, чем у остальных образцов. Однако самый стабильный коэффициент трения (и температуру в зоне трения) имеет покрытие, пропитанное фенолоформальдегидной смолой – его коэффициент трения и температура в зоне трения почти не изменяются при увеличении нагрузки в два раза. Кроме того, с возрастанием нагрузки у покрытия, пропитанного фторопластом коэффициент трения возрастает, по-видимому из-за более быстрого износа полимера и обнажения керамической поверхности. Поведение керамических покрытий, пропитанных полиамидом 6 характерно для фрикционного поведения чистых полиамидов (снижение коэффициента трения при возрастании нагрузки). По численным значениям коэффициента трения и температуры фрикционного контакта покрытия, пропитанные полиамидом 6, занимают промежуточное значение между двумя предыдущими.

Основываясь на полученных результатах можно рекомендовать изученные покрытия для различных областей применения: покрытия с фторопластом – для низконагруженных низкоскоростных узлов трения, работающих без смазки или ее ограничении. Покрытия с фенолоформальдегидной смолой являются более универсальными, но высокую эффективность будут иметь в узлах трения, работающих со смазкой. Покрытия, пропитанные полиамидом 6, по своим антифрикционным свойствам занимают промежуточное положение между двумя первыми.

Разработанная технология нанесения модифицированных полимерно-керамических покрытий была апробирована для изготовления опытных образцов различных деталей (роликов-нитеводителей, элементов запорной арматуры) с упрочненной поверхностью. На рисунке 2 показаны некоторые детали с покрытием и заготовки из алюминиевых сплавов для нанесения покрытий, а также ролики для проведения фрикционных испытаний.

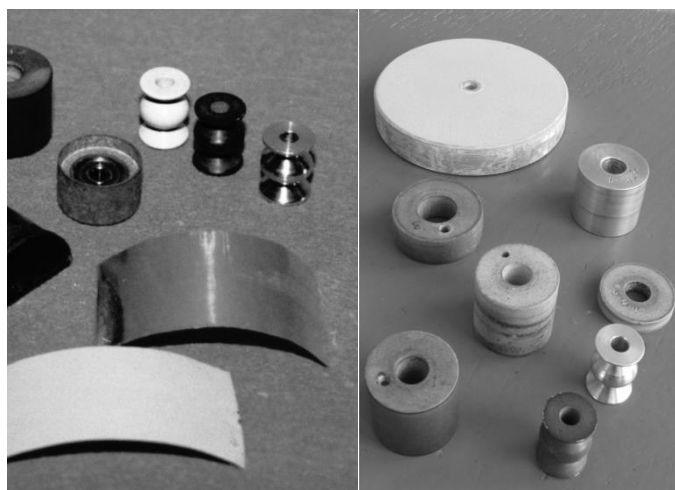


Рисунок 2 – Образцы с покрытием и заготовки для нанесения покрытий.

Таким образом, проведенные исследования показали, что пропитка оксидно-керамических покрытий, получаемых методом МДО на поверхности алюминиевых сплавов, растворами полимеров или олигомеров позволяет значительно повышать их антифрикционные свойства. Это существенно расширяет области применения алюминиевых сплавов, в качестве конструкционных материалов для изготовления деталей узлов трения различного назначения.

Литература

1. Суминов, И.В. Микродуговое оксидирование (теория, технология, оборудование) / И.В. Суминов [и др.]. – М.: ЭКОМЕТ, 2005. – 368 с.
2. Коломейченко, А.В. Повышение антифрикционных свойств соединений, содержащих детали с покрытиями, сформированными МДО / А. В. Коломейченко, Н. В. Титов // Тракторы и сельхозмашины. – 2007, № 7. – С. 42-44.
3. Вольхин, А.М. Исследование прочности сцепления сверхвысокомолекулярного полиэтилена с МДО-покрытием / А.М. Вольхин, В.Н. Малышев // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2014. – №1 с. 27-3

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ РАБОЧИХ ВЕЩЕСТВ R513A, R1234YF И R448A В ИСПАРИТЕЛЯХ ХОЛОДИЛЬНЫХ И ТЕПЛОНАСОСНЫХ УСТАНОВОК

О.А. Кныш, Е.Н. Макеева

**Гомельский государственный технический университет имени П.О.
Сухого, г. Гомель, Республика Беларусь**

В настоящее время выбор энергетически эффективных и экологически безопасных хладагентов является важным фактором при проектировании различных видов холодильных машин. Принятые международными комитетами меры по предотвращению разрушения слоя стратосферного озона, а также возникновения парникового эффекта в атмосфере из-за выбросов хладагентов привели к радикальным изменениям в технологиях кондиционирования воздуха и искусственного охлаждения. Это утверждение в особенности справедливо для промышленных установок охлаждения и кондиционирования воздуха с их широкой областью применения. [1,3]

Целью работы является энергетическое и экологическое обоснование применения озонобезопасных хладагентов R1234yf, R513a, R448a; сравнение циклов холодильных и теплонасосных установок для предлагаемых озонобезопасных хладагентов R1234yf, R513a, R448a и заменяемых хладагентов R134a и R404a.