

УДК 621.43.016.4

*А.П. Марченко, д-р техн. наук, В.В. Шпаковский, д-р техн. наук,
В.В. Стариков, канд. физ.-мат. наук*

ПОЛУЧЕНИЕ КОРУНДОЭЛЕКТРЕТА ПРИ ГАЛЬВАНОПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКЕ ДЕТАЛЕЙ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Постановка проблемы

Всё более широкое применение в промышленности находит электретный эффект. Электростатическое поле электретов позволило использовать их в качестве элементов в электретных микрофонах и телефонах, виброметрах, датчиках давления, газовых фильтрах, электретных воздушных фильтрах, противокоррозионных конструкциях, узлах трения, электродвигателях, генераторах, системах герметизации, дозиметрах, устройствах электрической памяти, медицинских аппликаторах, антитромбогенных имплантатах. Применение электретов в ДВС может улучшить эффективность их работы [1]. Однако детали цилиндропоршневой группы в ДВС не изготавливаются из твёрдых диэлектриков и получение электретов известными способами на чугунных, стальных деталях и деталях из алюминиевых сплавов весьма проблематично. Поэтому исследование электретных характеристик корундовой керамики, образованной на деталях из алюминиевых сплавов гальваноплазменной обработкой, позволит оценить возможность влияния корундоэлектрета на процесс сгорания топлива и технико-экономические показатели работы двигателя.

Анализ публикаций

Существует несколько способов изготовления электретов. Стабильные термоэлектреты получают, нагревая диэлектрик, а затем охлаждая в сильном электрическом поле [2]; фотоэлектреты получают освещая диэлектрики в сильном электрическом поле, радиоэлектреты – облучая их радиоактивным излучением, электроэлектреты – поляризацией в сильном электрическом поле без нагревания или в магнитном поле – магнетоэлектреты [3,4]; при застывании органических растворов в электрическом поле получают криоэлектреты, механической деформацией полимеров – механоэлектреты, действием поля коронного разряда – короноэлектреты [5,6,7]. Общим при этом является то, что диэлектрик в результате указанных воздействий, поляризуется и заряжается. По типу электрически неравновесного состояния диэлектрика различают электреты с избыточным внедренным зарядом, с ди-

польной поляризацией, с объемно-зарядовой поляризацией и комбинированные. Для изготовления электретов используют неорганические кристаллические, полимерные и другие диэлектрики. Существуют биполярные электреты и, так называемые, моноэлектреты, представляющие собой пластины с зарядом одного знака с обеих сторон. Для таких диэлектрических пластин при комнатной температуре $\sigma_{эфф} = 5 \cdot 10^{-4}$ Кл/м², а стабильность зарядов этих электретов во времени достигает десятков лет. За счет предварительной электризации или остаточной поляризации электрет создает в окружающем пространстве электростатическое поле. При ориентации в поле квазидиполей или при скоплении носителей заряда вблизи электродов остаточная поляризация может быть получена и в кристаллическом веществе. Носители заряда в диэлектрике могут переходить из электродов или из межэлектродного промежутка.

Стабильные электреты получены и из монокристаллических неорганических диэлектриков, стекол и ситаллов и др. Все электреты имеют стабильный поверхностный заряд $\sim 10^{-8}$ Кл/см².

Важнейшей характеристикой электретов, определяемой экспериментально, является эффективная поверхностная плотность зарядов ($\sigma_{эфф}$, Кл/м²), равная разности между гомо- и гетерозарядами, а также время релаксации зарядов τ_p (время уменьшения заряда в e раз). Временем жизни электрета $\tau_{ж}$ называют промежуток времени, в течение которого материал сохраняет электретные характеристики. У различных полимеров $\tau_{ж}$ составляет от 3 до 10 лет.

Цель исследований

Целью исследований является изучение электретных свойств корундоэлектретов, образованных при гальваноплазменной обработке деталей из алюминиевых сплавов.

Обоснование научных и практических результатов

Для получения электрета на деталях из алюминиевых сплавов перечисленные способы не применимы и нами применён способ гальваноплазменной обработки [8]. Деталь из алюминиевого сплава

служила анодом - одним из электродов гальвано-плазменной обработки. Вторым электрод – катод. Он выполнен из нержавеющей стали и располагался на расстоянии 20 -30 мм от детали. В промежутке между катодом и анодом подавался электролит с температурой 30 - 40⁰ С. При напряжении между анодом и катодом 800-1000 В на поверхности детали формируется корундовый слой, который электризуется в микродуговых разрядах со стороны

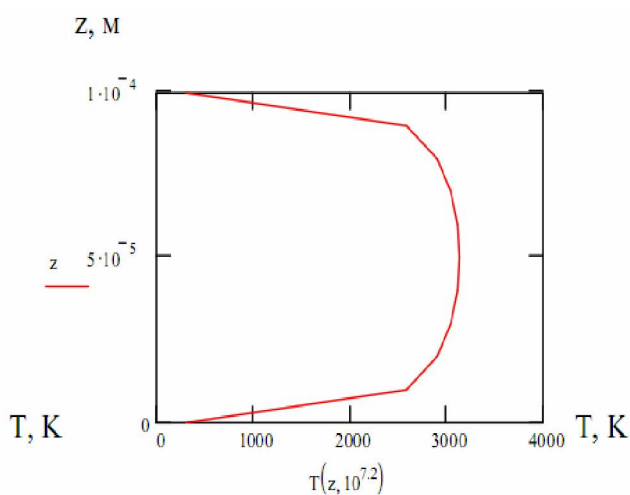
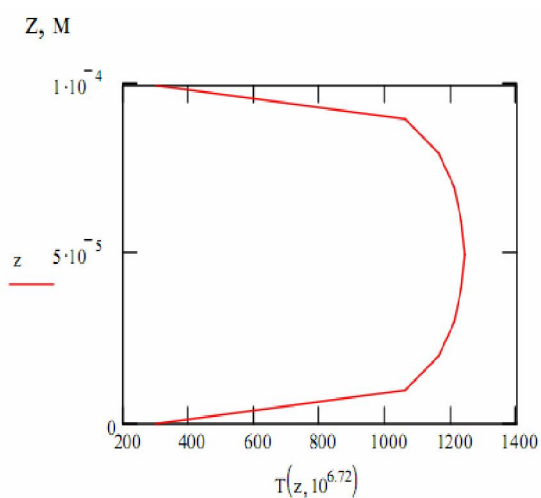


Рис.1. Распределение температуры в канале пробоя по оси Z при разных значениях плотности тока

Так формируется корундовый слой с электретными свойствами. Изменяя режимы обработки, можно получать электреты с заданным значением поверхностной плотности заряда или поверхностного потенциала.

Для практического использования электретов важное значение имеет величина электретной разности потенциалов или поверхностного потенциала и, вызываемое зарядами, электрическое поле.

Экспериментальное измерение плотности поверхностного заряда

Существует множество методов измерения плотности поверхностного заряда, такие как: усложненный вариант метода электростатической индукции, индуцирование переменного тока в поле электрета, метод деполяризации и др. В нашей работе мы использовали метод электростатической индукции. В каждом конкретном случае установки для измерения заряда могут несколько видоизменяться. Замер поверхностного заряда основывается на том, что в проводнике, при приближении к какому-нибудь заряженному телу, наводятся заряды различного знака. На ближайшей к заряженному телу поверхности проводника возникает заряд,

свободной поверхности детали и получает избыточные заряды одного знака (моноэлектрет). В зоне микродугового разряда в каналах пробоя при плотности тока более 30 А/дм² достигается температура 1600 – 2000К (рис. 1) [9]. При окончании разряда температура в зоне разряда снижается до 30-40⁰С. В металлическом слое индуцируется и сохраняется заряд противоположного знака.

противоположный по своему знаку заряду тела, а на другой стороне – одинакового знака.

Схематическое изображение установки для измерения поверхностного заряда электретов показано на рис. 2.

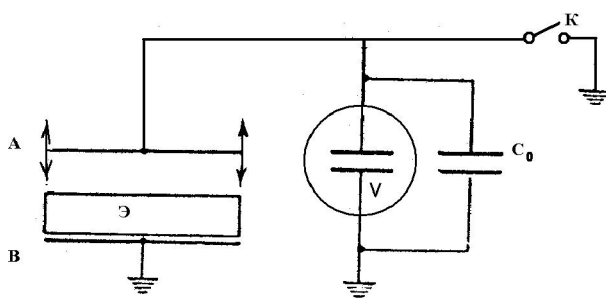


Рис.2. Схема измерения заряда электрета методом электростатической индукции:

Э – электрет, А - подвижный электрод, В – неподвижный электрод, V – статистический вольтметр, изображенный в виде конденсатора, C₀ – конденсатор, шунтирующий вольтметр, К – ключ, служащий для замыкания системы на землю

Процесс измерения протекает так. Ключ К замыкается на землю, верхний электрод опускается

до полного контакта с заполяризованным диэлектриком. Затем ключ размыкается, т.е. система отсоединяется от земли, и верхний электрод поднимается до тех пор, пока не исчезнет влияние электрического поля электрета на электрод В. Это расстояние составляет приблизительно $5 \div 10$ см. При этом стрелка электрометра отклоняется, что говорит о том, что конденсатор Е зарядился. Если обозначить отклонение электрометра, который в данном случае измеряет напряжение на обкладках конденсатора, через U , емкость конденсатора через C , то заряд, который он приобрел, будет равен:

$$q = CU. \quad (1)$$

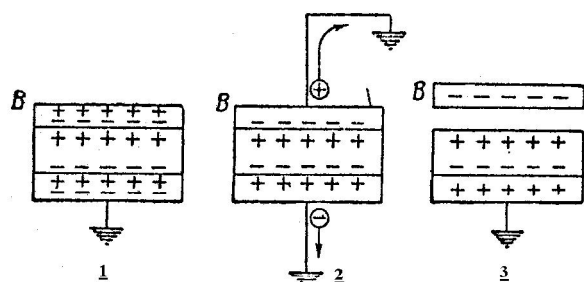


Рис.3. Индуцирование заряда на подвижном электроде в поле электрета

B – подвижный верхний электрод; 1 – электрод B лежит на электрете; 2 – электрод B соединен с землей, а следовательно, с другим электродом (дно ванночки); 3 – электрод B отсоединен от земли, а затем приподнят на высоту

Заряд на конденсатор приходит с верхнего электрода B , который, в свою очередь, получает его путем индукции от электрета.

Рассмотрим более подробно, как происходит заряд верхнего электрода B . На рис.3 мы видим три положения электрода B . В первом положении электрод лежит на электрете, ключ K разомкнут, так что электрод не соединен с землей (или с корпусом ванночки). Для простоты здесь изображено только дно ванночки, которое служит другим электродом. В этом случае на обоих металлических электродах, которые прилегают к электрету, индуцируются заряды разных знаков. На ближайшей к поверхности электрета стороне каждого электрода индуцируется заряд, обратный по знаку заряду на поверхности электрета, а на другой, дальней стороне – заряд противоположного знака. Во втором положении ключ K замкнут на землю, т.е. электрод B соединен с землей, а следовательно, с другим электродом (дно ванночки). В этом случае заряды на дальних сторонах электродов компенсируют друг друга, так как их положение на электродах неус-

тойчиво. Так, например, отрицательный заряд электрода B притягивается к положительному заряду, расположенному на поверхности электрета, а положительный заряд, наоборот, стремится оттолкнуться от него, т.е. уйти как можно дальше. В первом положении ему уйти некуда, но во втором положении он имеет возможность нейтрализоваться, т.е. соединиться с отрицательным зарядом, который также стремится уйти с нижнего электрода. Аналогичным образом положительный заряд нижнего электрода притягивается к отрицательной поверхности электрета. В третьем положении электрод B отсоединен от земли, а затем приподнят на высоту, чтобы не сказывалось взаимодействие между положительным зарядом верхней поверхности электрета и отрицательным зарядом электрода. При этом заряд электрода становится «свободным». Если электрод B присоединен к одной из обкладок конденсатора, другая обкладка которого соединена с землей, то его «свободный» заряд перейдет на конденсатор. В самом деле, сам электрод имеет некоторую небольшую емкость относительно земли. Две емкости – емкость конденсатора и емкость электрода B – соединены друг с другом параллельно, так как у обеих одна из обкладок соединена с землей. Поэтому из формулы (1) следует, что заряд конденсатора будет во столько раз больше заряда на электроде, во сколько раз емкость конденсатора больше емкости электрода B (при параллельном соединении конденсаторов их разность потенциалов одинакова). Так как емкость конденсатора значительно больше емкости электрода B , то практически весь заряд с электрода перейдет на конденсатор.

Плотность поверхностного заряда электретов вычисляется путем деления величины заряда q на площадь электрода S :

$$\sigma = \frac{q}{S}. \quad (2)$$

Используя формулы (1) и (2), определяется плотность поверхностного заряда.

Для получения корундоэлектрета использовалась пластина из алюминиевого сплава площадью 500 см^2 . В процессе гальваноплазменной обработки на одной стороне пластины образовывался керамический слой с электретными свойствами. Емкость эталонного конденсатора, обеспечивающего минимальные токи утечки, составила $C = 18 \text{ мкФ}$. Измерив напряжение на конденсаторе и произведя расчеты, мы установили, что плотность поверхностно-

го заряда σ равна $-3,9 \cdot 10^{-8}$ Кл/см². Так как величина электростатического эффекта определяется величиной поверхностного заряда, образованного электронами и электростатическим полем этого заряда, то подсчитаем количество электронов, расположенных на поверхности корундоэлектрета n_e :

$$n_e = \sigma/e = -3,9 \cdot 10^{-8} / -1,6021892 \cdot 10^{-19} \approx 2,434 \cdot 10^{11} \text{ 1/см}^2$$

(заряд электрона $e = 1,6021892 \cdot 10^{-19}$ Кл).

Выводы

1. С помощью гальваноплазменной обработки деталей из алюминиевых сплавов можно получить электрет с отрицательным поверхностным зарядом.

2. Плотность поверхностного заряда корундоэлектрета на детали из алюминиевого сплава составила $-3,9 \cdot 10^{-8}$ Кл/см².

Список литературы:

1. Шпаковский В.В. Электреты в двигателях внутреннего сгорания / В.В. Шпаковский, О.Ю. Линьков, В.В. Осейчук // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2008. – №9 (56). – С.125-128.
2. Губкин А. Н. Электреты / Губкин А. Н.- М.: Наука, 1978.-192 с.
3. Сесслер Г. Электреты / Сесслер Г. — М.: Мир. 1983. — 487 с.
4. Луцейкин Г. А. Полимерные электреты / Луцейкин Г. А. — М.: Химия. 1984. — 184 с.
5. Пинчук Л. С. Электретные материалы в машиностроении / Пинчук Л. С., Гольдаде В. А. — Гомель: Инфотрибо, 1998. — 288 с.
6. Гороховатский Ю. А. Электретный эффект и его применение / Ю. А. Гороховатский // *Соросовский образовательный журнал*. - 1997. - № 8. — С. 92-98.
- 7.

Галиханов М. Ф. Коронэлектреты на основе полиэтиленовых композиционных материалов / М. Ф. Галиханов // *Энциклопедический справочник*. 2008. — № 5. — С.20-29.

8. Шпаковский В.В. Повышение ресурса цилиндропоршневой группы тепловозного дизеля образованием корундового слоя на поверхности поршней / В.В. Шпаковский, А.П. Марченко, И.В. Парсаданов и др. // *Локомотив информ.* — 2007. — №1. — С. 28-30.

9. Голенкова А.А. Влияние токовых режимов на свойства покрытий при микродуговом оксидировании алюминиевых сплавов / А.А. Голенкова, А.Е.Михеев // *Всероссийская научная конференция «Решетневские чтения»*. — 2001. — С.40-52.

Bibliography (transliterated):

1. Shpakovskij V.V. Jeletrety v dvigateljah vnutrennego sgoranija / V.V. Shpakovskij, O.Ju. Lin'kov, V.V.Osejchuk // *Aviacionno-kosmicheskaja tehnika i tehnologija*. — 2008. — №9 (56). — S.125-128.
2. Gubkin A. N. Jeletrety / Gubkin A. N.- M.: Nauka, 1978.-192 s.
3. Sessler G. Jeletrety / Sessler G. — M.: Mir. 1983. — 487 s.
4. Luwejkina G. A. Polimernye jeletrety / Luwejkina G. A. — M.: Himija. 1984. — 184 s.
5. Pinchuk L. S. Jeletretnye materialy v mashinostroenii / Pinchuk L. S., Gol'dade V. A. — Gomel': Infotribo, 1998. — 288 s.
6. Gorohovatskij Ju. A. Jeletretnyj jeffekt i ego primenenie / Ju. A. Gorohovatskij // *Sorosovskij obrazovatel'nyj zhurnal*. - 1997. - № 8. — S. 92-98.
7. Galihanov M. F. Koronojeletrety na osnove polijetilenovykh kompozicionnykh materialov / M. F. Galihanov // *Jenciklopedicheskij spravocchnik*. 2008. — № 5. — S.20-29.
8. Shpakovskij V.V. Povyshenie resursa cilindro-porshnevoj grupy teplovoznogo dizelja obrazovaniem korundovogo sloja na poverhnosti porshnej / V.V. Shpakovskij, A.P. Marchenko, I.V. Parsadanov i dr. // *Lokomotiv inform.* — 2007. — №1. — S. 28-30.
9. Golenkova A.A. Vlijanie tokovykh rezhimov na svojstva pokrytij pri mikrodugovom oksidirovanii aljuminievych splavov / A.A. Golenkova, A.E.Miheev // *Vserossijskaja nauchnaja konferencija «Reshetnevskie chtenija»*. — 2001. — S.40-52.

УДК 621.002:681.324

К. Н. Осипов, асп., Е. Л. Первухина, д-р техн. наук, Ю. Л. Рапацкий, канд. техн. наук

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОРШНЕВЫХ ДВС В ХОДЕ ПРИЕМОСДАТОЧНЫХ ИСПЫТАНИЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗМЕРЕНИЙ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Введение

Повышение эффективности приемосдаточных и контрольных испытаний ДВС остается важной проблемой современного двигателестроения [1, 2]. Это связано, с одной стороны, с ростом затрат на испытания, вызванных усложнением конструкции ДВС, а с другой стороны, ужесточением требований к их качеству, прежде всего, надежности и экологической безопасности. Обеспечение конкурентоспособности изделий возможно путем сокращения затрат без снижения точности и достоверности результатов испытаний. Это может быть достигнуто за счет использования новых методов автоматизации испытаний на основе вероятностно-

статистических подходов к моделированию испытываемых объектов.

К сожалению, в научно-технической литературе последних лет отсутствуют работы, указывающие на решение указанной проблемы для поршневых двигателей с впрыскиванием бензина, оснащенных электронной системой управления и комплектом датчиков, в том числе массового расхода воздуха, детонации, температуры охлаждающей жидкости, лямбда-зондом и др.

К настоящему времени известен ряд методов технической диагностики (например, [3]), в том числе ДВС. Однако они уже не соответствуют уровню развития современных ДВС и не могут