

ОЦЕНКА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МИКРОДУГОВЫХ ПОКРЫТИЙ НА ДЕФОРМИРУЕМЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВАХ

Ю.Г. Гуцаленко¹, Е.К. Севидова¹, И.И. Степанова¹, В.Е. Стрельницкий²

¹Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,

Харьков, Украина;

²Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт»,
Харьков, Украина

E-mail: yu.gutsalenko@gmail.com

Проведены исследования диэлектрических свойств МДО-покрытий на деформируемых сплавах АК6 и Д16Т, сформированных на переменном токе в режиме произвольно падающей мощности в щелочно-силикатных растворах. Показано, что увеличение времени оксидирования вдвое (от 1 до 2 ч) приводит к ухудшению показателя ρ_v в 2–5 раз в зависимости от марки сплава и состава раствора. Установлено, что наилучшие диэлектрические показатели $\rho_v = (4...9) \cdot 10^9 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ и $E = 13...14 \text{ В/мкм}$ обеспечивают покрытия на обоих сплавах, сформированные в растворе 1 г/л КОН + 6 г/л Ж.С. Небольшое преимущество по значению ρ_v в 2–2,5 раза при соизмеримых толщинах имеют МДО-слои на сплаве АК6.

Процессы микродугового оксидирования (МДО) или плазменно-электролитического оксидирования (ПЭО) используются в технологиях поверхностной обработки вентильных металлов, чаще всего алюминиевых сплавов. Покрытия, которые формируются в этих процессах, полифункциональны, поскольку характеризуются высокими показателями твердости, износостойкости, тепло- и коррозионной стойкости и др. [1–3]. Это служит предпосылкой для их широкого внедрения в различные отрасли науки и техники, в том числе машиностроение, приборостроение, аэрокосмическую, электронную промышленность, медицину, строительство и т. д. Возможности метода МДО на сегодняшний день далеко не исчерпаны, его технологические параметры продолжают активно исследовать по мере появления новых перспектив эффективного использования покрытий.

Представляет интерес исследование диэлектрических свойств МДО-покрытий с целью определения возможностей их применения в качестве электроизоляционных материалов. В частности, в рамках задач радиационного материаловедения такая функция может быть реализована на несущих конструктивных деталях приборов контроля и регулирования температуры, выполненных из деформируемых алюминиевых сплавов с последующим формированием изоляционного покрытия методом МДО.

Цель работы – исследовать технологические возможности МДО применительно к деформируемому алюминиевому сплавам и оценить диэлектрические свойства полученных покрытий.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Экспериментальные образцы изготавливали из двух видов деформируемых алюминиевых сплавов, которые используют как конструкционные

материалы для несущих деталей в приборостроении: Д16Т и АК6. Образцы двух типоразмеров – прямоугольный 20x15x1,5 мм и круглый $\varnothing 30$ мм, толщиной 5 мм изготавливали из листового (Д16Т) и пруткового проката (АК6). Формирование покрытий проводили при анодно-катодном (переменном) токе в режиме произвольно падающей мощности в течение 1 и 2 ч при начальной плотности тока 20 А/дм². В качестве исследуемых электролитов использовали три раствора: силикатный – 12 г/л Ж.С. (0:12) (Ж.С. – технический раствор жидкого натриевого стекла плотностью 1,4 г/дм³), щелочно-силикатный – 2 г/л КОН + 12 г/л Ж.С. (2:12) и более разбавленный 1 г/л КОН + 6 г/л Ж.С. (1:6).

Толщину покрытий измеряли неразрушающим методом – вихретоковым толщиномером NOVOTEST ТП-1.

Объемное сопротивление оценивали с помощью тераомметра Е-13 при рабочем напряжении 100 В.

Напряжение пробоя (соответственно электрическую прочность) измеряли на переменном токе (50 Гц).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

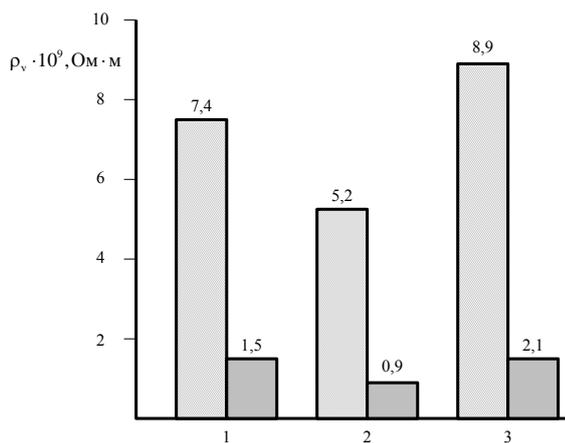
Анализ толщины МДО-покрытий, сформированных в идентичных условиях электролиза, показывает (таблица), что она зависит от марки сплава, состава электролита и времени оксидирования. В общем случае толщина покрытий на Д16Т больше, чем на АК6. Преимущество увеличивается по мере перехода к более «агрессивным» электролитам, содержащим в своем составе едкую щелочь – от 25...30% в растворе 0:12, до 80...90% в растворе 2:12. Вероятная причина такого различия – различная скорость травления интерметаллидов, входящих в сплавы [4].

Толщина МДО-покрытий на деформируемых сплавах в различных условиях электролиза, мкм

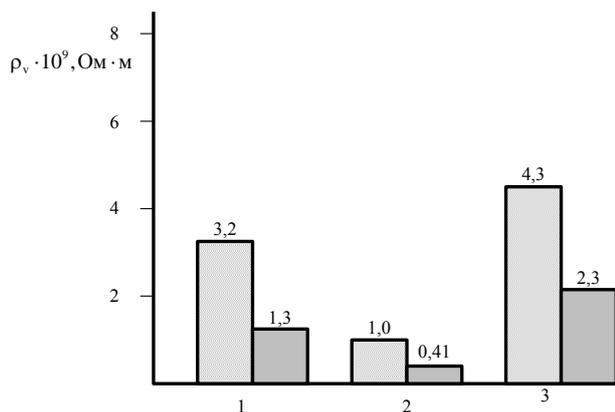
Марка сплава	Состав электролитов					
	0:12		2:12		1:6	
	1 ч	2 ч	1 ч	2 ч	1 ч	2 ч
Д16Т	80	150	100	210	70	170
АК6	60	120	55	120	40	90

Последующие измерения показателей диэлектрических характеристик покрытий, удельного объемного сопротивления (ρ_v) и электрической прочности (E) свидетельствуют

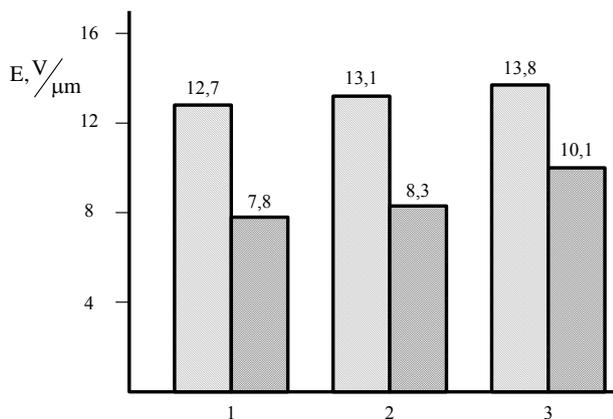
(рисунок) о преимущественном влиянии толщины на их величины. В частности, увеличение времени оксидирования, а соответственно и толщины в 2 раза на сплаве АК6 привело к ухудшению показателя ρ_v в 4–5 раз во всех растворах электролитов (см. рисунок, а). Менее выразительно этот эффект проявился на сплаве Д16Т – соответственное уменьшение составило 1,9–2,5 раза (см. рисунок, б).



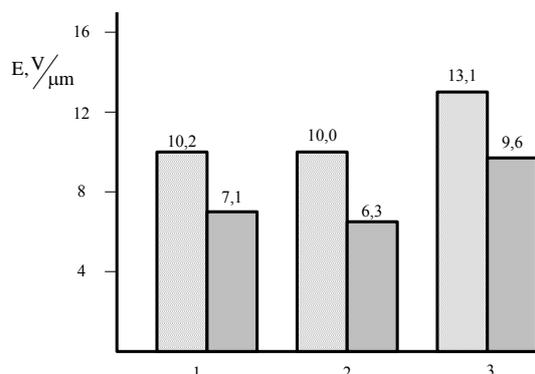
а



б



в



г

Зависимость удельного объемного сопротивления (а, б) и электрической прочности (в, г) МДО-покрытий от времени оксидирования сплавов АК6 (а, в) и Д16Т (б, г) в разных электролитах: 1 – 12 г/л Ж.С.; 2 – 2 г/л КОН + 12 г/л Ж.С.; 3 – 1 г/л КОН + 6 г/л Ж.С.

□ – 1 ч, ■ – 2 ч

Факт ухудшения диэлектрических свойств МДО-покрытий с ростом толщины можно объяснить увеличивающейся неоднородностью фазово-структурного состава, улучшением условий для миграции и диффузии ионов щелочных металлов (К и Na) под действием температуры, «захватом» токопроводящих ионов в композитную пористую структуру оксидного слоя [5].

Лучшие показатели ρ_v обеспечивают покрытия на обоих сплавах, сформированные в щелочно-силикатном электролите 1:6, наиболее низкие – в 1,7–4 раза в растворе 2:12. В общем случае

полученные в течение 1 ч покрытия в диапазоне толщин 40...60 мкм на сплаве АК6 и 70...100 мкм на сплаве Д16Т характеризуются высокими показателями удельного объемного сопротивления ((1...9)·10⁹ Ом·м), но относительное преимущество по этому показателю (в 2–2,5 раза) имеют МДО-слои на АК6.

Электрическая прочность покрытий E (см. рис. 1, в, г), как и удельное сопротивление ρ_v , однозначно уменьшается с ростом их толщины, хотя общее напряжение пробоя при этом увеличивается. Последнее связано с уменьшением открытой

пористости и сквозных дефектов, которые являются «слабым местом», поскольку электрическая прочность воздуха в них составляет всего 3 В/мкм.

Причины ухудшения E с увеличением роста толщины покрытий те же, что приводят к ухудшению ρ_v – неоднородность, наличие в составе кроме оксидов алюминия различных структур (α, γ), муллитов, силлиманитов и других соединений с более низкими диэлектрическими свойствами.

Показатель E в меньшей степени, чем ρ_v зависит от марки сплава и состава электролита, но незначительное преимущество на 10...30% наблюдается у МДО-покрытий, сформированных в растворе 1:6 – значение E на них достигает 13...14 В/мкм.

ВЫВОДЫ

Проведены исследования диэлектрических свойств микродуговых покрытий, сформированных на сплавах АК6 и Д16Т переменным током в режиме произвольно падающей мощности. Показано, что на значения удельного объемного сопротивления ρ_v и электрической прочности E преимущественно влияют толщина покрытий, а также марка сплава и состав электролита.

Установлено, что лучшие показатели диэлектрических свойств на обоих сплавах – $\rho_v = (4...9) \cdot 10^9 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ и $E = 13...14 \text{ В/мкм}$ – обеспечивает щелочно-силикатный электролит 1 г/л КОН + 6 г/л Ж.С. Достигнутые характеристики

диэлектрических свойств МДО-покрытий на деформируемых сплавах АК6 и Д16Т позволяют использовать их в качестве изоляционных слоев на деталях, элементах конструкций, интегральных микросхемах в контрольно-измерительных приборах, в том числе для атомной энергетики.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. М.М. Студент, В.М. Посувайло, Г.Г. Веселівська, Я.Я. Серак, Р.А. Яцюк. Корозійна тривкість плазмоелектролітних шарів на сплавах та покриттях системи Al-Cu-Mg за різної термообробки // *Фіз.-хім. механіка матеріалів*. 2017, №6, с. 42-47.

2. Н.М. Чигринова, В.Е. Чигринов, А.А. Кухарев. Формирование покрытий методом анодного микродугового оксидирования и их эксплуатация в теплонапряженных узлах // *Порошковая металлургия*. 2001, №5/6, с. 13-23.

3. А.Е. Михеев, Н.А. Терехин, В.В. Стацур, А.А. Голенкова. Технологические возможности микродугового оксидирования алюминиевых сплавов // *Вестник машиностроения*. 2003, №2, с. 56-63.

4. В.В. Баковец, О.В. Поляков, И.П. Долговесова. *Плазменно-электролитическая анодная обработка металлов*. Новосибирск: «Наука», Сиб. отд., 1991, 168 с.

5. С.Г. Павлюк, В.И. Соборницкий, Ю.А. Шепрут, Л.А. Снежко, В.И. Черненко. Диэлектрические свойства анодно-искровых силикатных покрытий на алюминии // *Электронная обработка материалов*. 1987, №3, с. 34-36.

Статья поступила в редакцию 05.03.2018 г.

ОЦІНКА ДІЕЛЕКТРИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МІКРОДУГОВИХ ПОКРИТТІВ НА ДЕФОРМОВАНИХ АЛЮМІНІСВИХ СПЛАВАХ

Ю.Г. Гуцаленко, О.К. Севидова, І.І. Степанова, В.Є. Стрельницький

Проведено дослідження діелектричних властивостей МДО-покривтів на деформованих сплавах АК6 і Д16Т, сформованих на змінному струмі в режимі довільно падаючої потужності в лужно-силікатних розчинах. Показано, що збільшення часу оксидування вдвічі (від 1 до 2 год) призводить до погіршення показника ρ_v в 2–5 разів залежно від марки сплаву і складу розчину. Встановлено, що найкращі діелектричні показники $\rho_v = (4...9) \cdot 10^9 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ і $E = 13...14 \text{ В/мкм}$ забезпечують покриття на обох сплавах, які сформовані в розчині 1 г/л КОН + 6 г/л Р.С. Невелика перевага за значенням ρ_v в 2–2,5 рази при порівнянних товщинах мають МДО-шари на сплаві АК6.

EVALUATION OF DIELECTRIC PROPERTIES OF MICRO-ARC COATINGS ON DEFORMABLE ALUMINUM ALLOYS

Yu.G. Gutsalenko, E.K. Sevidova, I.I. Stepanova, V.E. Strel'nitskij

The dielectric properties of MDO coatings on deformable alloys AK6 and D16T formed on an alternating current in the regime of an arbitrarily falling power in alkali-silicate solutions have been studied. It is shown that the increase in the oxidation time in twice (from 1 to 2 hours) leads to a decrease in the index ρ_v in 2–5 times, depending on the grade of the alloy and the solution composition. It has been established that the best dielectric values $\rho_v = (4...9) \cdot 10^9 \text{ } \Omega \cdot \text{m}$, $E = 13...14 \text{ V/}\mu\text{m}$ are provided by coatings on both alloys formed in solution 1 g/l KOH + 6 g/l W.G. (water glass). A small advantage in terms of the value ρ_v of 2 to 2.5 times with comparable thicknesses have MAD layers on the alloy AK6.