

# ОЦЕНКА ЭНЕРГОЗАТРАТ ПРИ МИКРОДУГОВОМ ОКСИДИРОВАНИИ

П. А. Адаменко

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого», Беларусь*

Научный руководитель С. В. Пискунов

В качестве конструкционных материалов в авиа-, судо-, машино-, приборостроении и других отраслях техники широко используются алюминиевые сплавы, для которых характерна высокая удельная прочность и хорошая обрабатываемость. Для придания ряда функциональных свойств таким сплавам необходима модификация их поверхности. Микродуговое оксидирование (МДО) считается наиболее перспективным способом нанесения оксидно-керамических покрытий различного функционального назначения на изделиях из алюминиевых сплавов, так как позволяет получать на их поверхности покрытия с более высокими физико-химическими и механическими свойствами по сравнению с покрытиями, получаемыми другими методами [1].

Целью данной работы является изучение влияния токовых режимов на свойства МДО-покрытий и оценка энергозатрат в зависимости от различных токовых режимов.

Формирование покрытий осуществляли на экспериментальной установке, включающей в себя источник питания, электролитическую ванну с системой крепления деталей и водяной рубашкой охлаждения. Микродуговое оксидирование осуществляли в гальваностатическом режиме. В качестве электролита использовали силикатно-щелочной электролит различной концентрации:

- 1) состав 1: 25 г/л жидкого стекла и 6 г/л гидроксида калия;
- 2) состав 2: 75 г/л жидкого стекла и 18 г/л гидроксида калия.

Покрытия наносили на пластинки из алюминиевого сплава АД1. Для оценки энергозатрат использовали прибор ПРМ, регистрирующий мгновенные и действующие значения тока и напряжения, значения которых затем обрабатывались в программной среде Matlab. Погрешность результатов не превышала 5 %. Для контроля тока и напряжения на ванне к установке подключали двулучевой осциллограф С1–77. Сигнал тока выводили на осциллограф через балластное сопротивление  $R = 3,9$  Ом. Сигнал напряжения выводили через делитель 1 : 100.

Для оценки энергозатрат при микродуговом оксидировании алюминиевых деталей использовалась лабораторная установка, позволяющая получать на выходе источника питания следующие токовые режимы обработки:

- переменный ток частоты 50 Гц;
- двухполупериодный выпрямленный ток частоты 50 Гц;
- однополупериодный выпрямленный ток частоты 50 Гц.

На рис. 1–3 приведены характерные кривые мгновенных значений тока и напряжения, регистрируемые прибором ПРМ в зависимости от режимов формирования

оксидно-керамических покрытий и осциллограммы тока. Регистратор тока и напряжения включен по схеме в первичную цепь трансформатора, что позволяет оценивать потребляемую энергию всей установки (без учета потерь в проводах и трансформаторе). На этих рисунках кривая напряжения выглядит в форме синусоиды. Форма кривой тока не подчиняется гармоническому закону и определяется электрохимическими процессами, происходящими внутри электролитической ванны и вентильными свойствами оксидно-керамических покрытий.

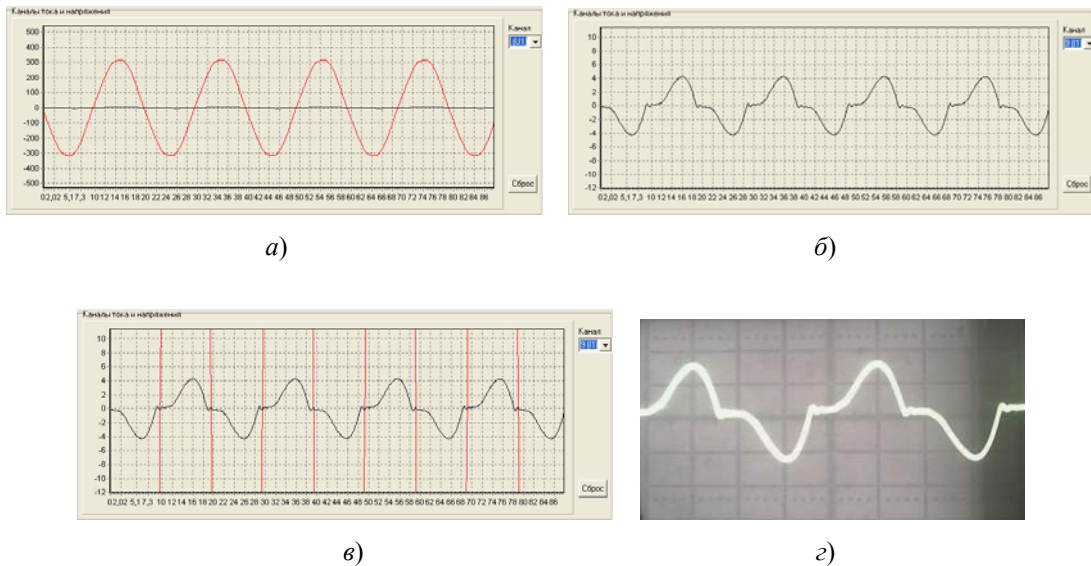


Рис. 1. Переменный ток. Форма кривых: а – напряжения; б – тока; в – напряжения и тока; г – осциллограмма тока

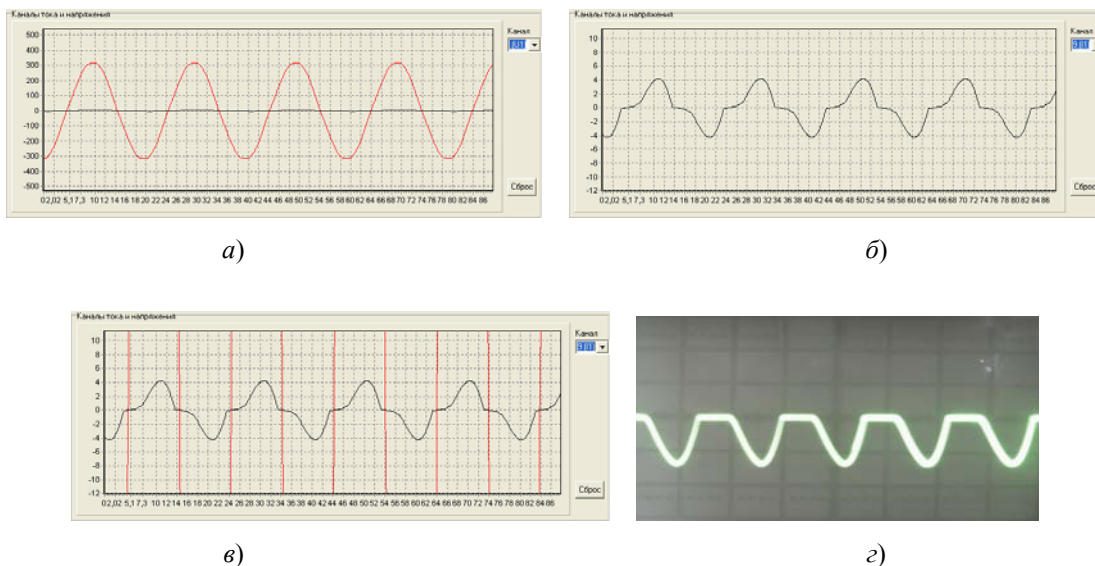


Рис. 2. Двухполупериодный выпрямленный ток. Форма кривых: а – напряжения; б – тока; в – напряжения и тока; г – осциллограмма тока

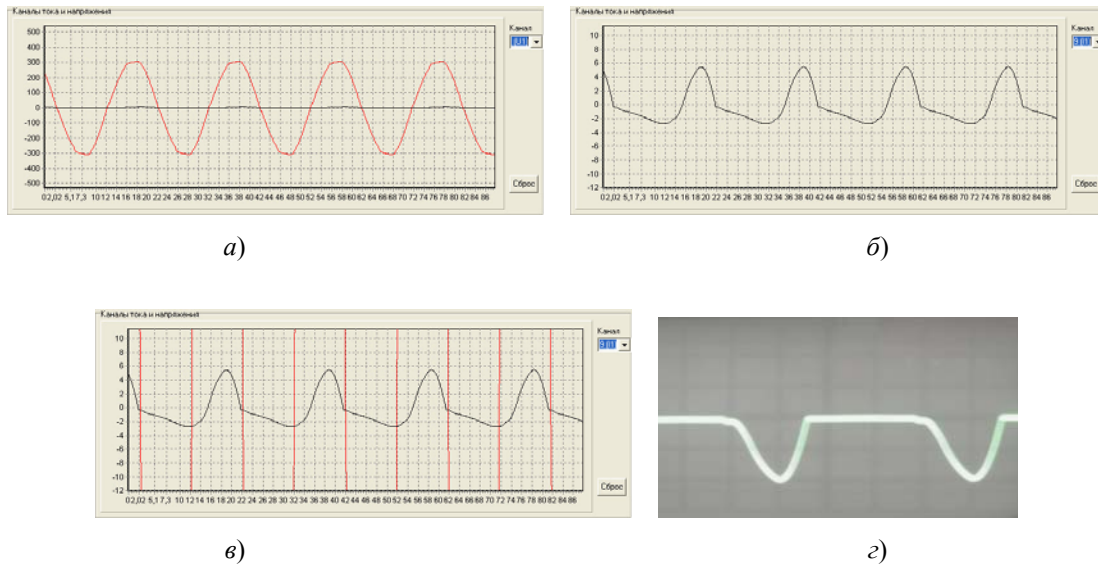


Рис. 3. Однополупериодный выпрямленный ток. Форма кривых: *a* – напряжения; *б* – тока; *в* – напряжения и тока; *г* – осциллограмма тока

Несимметричность анодной и катодной составляющих однополупериодного выпрямленного тока можно объяснить намагничиванием магнитопровода трансформатора (несимметричный гистерезисный цикл).

В табл. 1 и 2 представлены параметры МДО (плотность тока, время оксидирования, конечное напряжение для заданного интервала времени), энергозатраты на получение МДО-покрытий и толщина оксидно-керамических покрытий в зависимости от токовых режимов.

Таблица 1

Параметры МДО для состава 1

Ток	Состав 1		$U_{\text{кон}}, \text{В}$	Энергозатраты $W$ , $\text{кВт} \cdot \text{ч} \cdot \text{м}^{-2}$	Толщина $h$ , мкм
	$j, \text{А} \cdot \text{дм}^{-2}$	$t$ , мин			
Переменный	2,78	5	437	11,12	12
		20	460	46,78	27
		40	475	98,26	39
Двухполупериодный	5,56	5	435	21,53	15
	2,78	5	410	10,72	9
		20	440	46,52	21
		40	465	99,67	31
Однополупериодный	5,56	5	485	19,51	13

Таблица 2

## Параметры МДО для состава 2

Ток	Состав 2		$U_{\text{кон}}, \text{В}$	Энергозатраты $W$ , $\text{кВт} \cdot \text{ч} \cdot \text{м}^{-2}$	Толщина $h$ , мкм
	$j, \text{А} \cdot \text{дм}^{-2}$	$t$ , мин			
Переменный	2,78	5	400	10,09	17
		20	450	44,36	47
		40	430	–	–
Двухполупериодный	5,56	5	405	20,95	24
	2,78	5	390	9,92	14
Однополупериодный	5,56	5	450	17,81	20

Из полученных экспериментальных данных видно, что повышение концентрации в 3 раза не повлияло с учетом погрешности на потребление установкой электроэнергии, хотя и уменьшилось конечное напряжение формирования оксидно-керамических покрытий. Толщина покрытий при этом увеличилась на 30–38 %. Получить качественные покрытия на переменном токе свыше 40 мин при использовании электролита составом 2 не удалось. Полученные покрытия были неоднородные и рыхлые. Увеличение плотности тока в 2 раза коррелирует с повышением значений энергозатрат. Увеличение времени оксидирования с 5 мин до 20 приводит к увеличению потребляемой энергии примерно в 4,3 раза, а с 20 до 40 мин – в 2,1 раз. Использование переменного или выпрямленного тока для формирования МДО-покрытий при одной и той же плотности тока существенной роли не играет при оценке энергозатрат, однако использование переменного тока позволяет получать покрытия на 20–25 % толще, чем при использовании выпрямленного тока.

## Литература

1. Плазменно-электролитическое модифицирование поверхности металлов и сплавов. Т. 2 / И. В. Суминов [ и др.]. – М. : Техносфера, 2011. – 512 с.