

6. Sergej Tiplin, Michael Nikitin, Nikolay Schpunkin. Experimental study of V-bending process of steel-polymer-steel sheets at room temperature / Computer Methods in Materials Science// Informatyka w Technologii Materialow. // Akademia Gorniczo-Hutnicza, Krakow. Vol. 8, 2008, № 3. – С.138-144.
7. Шпунькин Н.Ф., Типалин С.А., Никитин М.Ю. Образец и способ испытания плоского клеевого слоя кольцевой формы на кручение в его плоскости / Патент РФ №2431128 от 20.06.2011.
8. Шпунькин Н.Ф., Типалин С.А. Исследование свойств многослойных листовых материалов / Заготовительные производства в машиностроении, № 1, 2013. С. 28-31.

### **Физико-химический метод упрочнения деталей из титановых сплавов**

к.т.н. проф. Шандров Б.В., доц. Филиппов В.В., Хомякова Н.В.  
Университет машиностроения  
9(919)1016284, [filkas@yandex.ru](mailto:filkas@yandex.ru)

*Аннотация.* В статье рассматривается вопрос конкурентоспособного применения метода микродугового оксидирования поверхностей деталей из титановых сплавов.

*Ключевые слова:* микродуговое оксидирование, твердость, адгезионная прочность, коэффициент трения, магнитные свойства, электролит, коррозионная стойкость

Физико-химические методы обработки деталей в настоящее время применяются не менее широко, чем методы механической обработки [1-2]. Особую актуальность эти методы приобретают в связи с тем, что наиболее ответственными и в то же время наиболее подверженными износу и разрушению элементами детали, как правило, являются ее поверхности.

Микродуговое оксидирование (МДО), являясь относительно новым видом электрохимической обработки поверхностей, сочетает в себе следующие две феноменологические особенности формирования покрытия [3-4]:

- 1) нанесение покрытий с увеличением размера исходной заготовки,
- 2) модификация поверхностного слоя заготовки вглубь упрочняемой поверхности, за счет чего дополнительно обеспечиваются высокие показатели адгезионной прочности покрытия и его суммарная толщина.

Нанесение покрытий методом МДО обеспечивает повышение целого ряда свойств упрочняемых поверхностей: износостойкость, диэлектрическая прочность, теплостойкость, прочность и многие другие.

Выполненные в 2014 году на установке МДО, спроектированной и изготовленной в Университете машиностроения, исследования различных свойств упрочненных поверхностей и отработки режимов упрочнения базируются на основах теории процесса МДО [5] и проведенных в 2013 г. экспериментальных исследованиях [4]. Кроме того, работы на кафедре «Технология машиностроения» выполняются с привлечением сотрудников кафедры и студентов старших курсов, что обеспечивает повышение качества профессиональной подготовки специалистов производственной области [6]. Экспериментально-исследовательская работа выполнялась в сотрудничестве с ФГУП «НППЦАП» им. академика Н.А. Пилюгина (испытания на эксплуатационные показатели) и ФГУП «НПО «Техномаш», с которым Университет машиностроения имеет заключенный договор о сотрудничестве.

Целью выполненного этапа исследований являлось:

- 1) отработать режимы упрочнения поверхностей деталей из титанового сплава с точки зрения обеспечения требуемого срока службы электролита,
- 2) доказать конкурентоспособность метода с точки зрения характеристик альтернативных металлоалмазных покрытий, осаждаемых в вакууме и в атмосферных условиях.

Известно [1, 5], что наиболее критичным параметром с точки зрения эксплуатации электролита является его температура в процессе обработки МДО. Пороговым значением принято считать величину температуры 50°C. При превышении этого значения происходят вредоносные вторичные химические реакции и чрезмерное испарение рабочих веществ из электролита.

При проведении экспериментальных исследований был выбран электролит на основе дистиллированной воды с добавлением гидроксида натрия  $\text{NaOH}$  с концентрацией 3 г/л и натриевого жидкого стекла с концентрацией 2 г/л.

В качестве экспериментальных образцов были приняты диски, изготовленные из титанового сплава ВТ5-1 диаметром 60 мм и толщиной 5 мм. Исследуемая поверхность – плоский торец диска.

Основными параметрами, определяющими протекание процесса и результат упрочнения, являются плотность тока  $q$  А/дм<sup>2</sup> и длительность обработки заготовки  $t$ , мин. Матрица проведенных исследований представлена в таблице 1.

Таблица 1

### Исследование температуры электролита при МДО

Номер образца	Плотность тока $q$ , А/дм <sup>2</sup>	Длительность упрочнения $t$ , мин	Характер свечения разрядов	Наличие дуговых пробоев	Установившаяся температура электролита $t$ , °С
1	40	10	Плотное ярко белое	Нет	50
2	10	30	Желтое, через 15 минут переходящее в белое	Через 25 минут после начала обработки	32
3	20	30	Желтое	Через 20 минут после начала обработки	48
4	Ступенчатое увеличение 10, 20, 40 каждые 10 минут обработки	30	Желтое	Через 20 минут после начала обработки	52
5	20 с предварительными стадиями инициации процесса МДО	45	Желтое	Нет	52

Анализ результатов выполненных исследований показывает, что главной задачей является недопущение высокой энергонагруженности рабочей зоны при МДО. При выбранном материале и составе электролита требуется назначать величину плотности тока не выше 10-20 А/дм<sup>2</sup>. Дополнительное снижение плотности тока неэффективно (при  $q=5-7$  А/дм<sup>2</sup> значительно увеличивается время обработки), кроме того заниженные плотности тока могут привести к невозможности инициации процесса МДО.

Подтверждаются данные о целесообразности проведения двух предварительных стадий МДО [5], что позволит вести обработку при несколько более высоких плотностях тока (экспериментальный образец 5). Однако в этом случае потребуются использование системы охлаждения электролита повышенной производительности, возможно, с использованием холодильных установок, что не всегда экономически и технически приемлемо.

Исследования адгезионной прочности, магнитных свойств, коррозионных свойств, твердости и равномерности покрытия выполнены на образцах из титанового сплава ВТ5-1, упрочненных покрытиями:

- 1) металлоалмазное, осаждаемое дуговым плазменным методом в вакууме;
- 2) металлоалмазное, осаждаемое из потока плазмы в атмосферных условиях;
- 3) МДО.

Определение параметров и свойств покрытия осуществлялось на оборудовании, перечень которого представлен в таблице 2. Результаты исследований представлены в таблице 3.

Анализ результатов исследований показывает, что по параметрам: коэффициенту трения, равномерности покрытия, микротвердости, коррозионной стойкости метод МДО не уступает осаждению покрытия из потока плазмы как в вакууме, так и в атмосферных условиях. Коэффициент трения при необходимости может быть снижен дополнительной обработкой поверхности.

Таблица 2

### Перечень оборудования для испытаний

Исследуемый параметр	Оборудование	Наименование
Адгезионная прочность	Разрывная машина	ZD10-90 «Durenger Industriverg Raunstein»
Магнитные свойства	Мультитесламетр	МФ-24-М ОАО «АКА-контроль»
Равномерность покрытия	Ультразвуковая ванна	Ванна 5,7 л, ОАО «Сапфир»
Микротвердость	Микротвердомер	DuraScan 10 EmcoTest
Параметры шероховатости	Профилограф-профилометр	Мод.130 ОАО «Завод ПРОТОН-МИЭТ»

Таблица 3

### Результаты исследования различных покрытий

Параметр	Покрытие		
	МДО	Металлоалмазное в вакууме	Металлоалмазное в атмосферных условиях
Исходная шероховатость, $R_a$ , мкм	0,32 (после притирки)	0,03	0,32 (после шлифования)
Твердость HV	300	310	320
Равномерность	По всей поверхности	По всей поверхности	По всей поверхности
Коэффициент трения по стали 20X13	0,08-0,09	0,09-0,1	0,06
Намагниченность $\mu$ , мкТл	0	0	0
Адгезионная прочность $\alpha$ при нагрузке P, Н	1,6-1,7/5250	2,2-2,3/4250	2,8-2,9/3250
Коррозионная стойкость. Внешний вид	Без изменений	Без изменений	Без изменений

Единственный показатель МДО-покрытий, имеющий пониженное значение, это адгезионная прочность. Однако, как было указано выше, покрытия по технологии МДО являются модификацией поверхностного слоя заготовки, таким образом отрыв покрытия частично происходит по основному материалу и сравнивать показатель с плазменными методами не совсем корректно. Несомненным преимуществом является относительная технологическая простота метода МДО, отсутствие специальных требований к подготовке поверхностей для упрочнения, отсутствие потребности в вакуумных камерах и другом сложном оборудовании.

### Заключение

Является несомненно перспективным применение технологии МДО для упрочнения деталей самых различных типов как в качестве окончательной обработки, так и с последующей доводочной обработкой [7, 8]. Следует избегать перегрева электролита выше 50°C и не допускать дуговых пробоев при МДО, что обеспечивается правильным выбором режимов обработки.

Метод МДО при упрочнении деталей из титановых сплавов обеспечивает показатели твердости, шероховатости поверхности, коррозионной прочности, не уступающие методам-конкурентам.

### Литература

1. Моргунов Ю.А., Панов Д.В., Саушкин Б.П., Саушкин С.Б. Научно-технические технологии машиностроительного производства: физико-химические методы и технологии. Москва,

- «ФОРУМ», 2013. - 928 с.
2. Шандров Б.В., Моргунов Ю.А., Саушкин Б.П. Перспективы развития и применения физико-химических методов и технологий в производстве двигателей / Известия МГТУ «МАМИ». 2012. № 2. С. 242-247.
  3. Митрюшин Е.А., Моргунов Ю.А., Саушкин С.Б. Унифицированные технологии изготовления штампов с применением электрофизических методов обработки. / Металлообработка. 2010. № 2. С. 42-45.
  4. Шандров Б.В., Филиппов В.В., Хомякова Н.В., Волков С.В. Упрочнение поверхностей изделий нанесением покрытий физико-химическим методом / Известия МГТУ «МАМИ», 2013, № 1(15), т. 2. С. 108-112.
  5. Шандров Б.В., Морозов Е.М., Жуковский А.В. Основы технологии микродугового оксидирования. / Уч. пособие. М.: Машиностроение, 2007 – 70 с.
  6. Моргунов Ю.А., Типалин С.А., Филиппов В.В., Хомякова Н.В. Повышение качества подготовки современных специалистов технического профиля за счет улучшения взаимосвязи теоретических и практических занятий при изучении дисциплин / Известия МГТУ «МАМИ», 2012, № 2 (14), С. 138-142.
  7. Астахов Ю.П., Кочергин С.А., Моргунов Ю.А., Саушкин Б.П. Повышение эффективности изготовления лопаток моноколес. // Технология машиностроения. 2013. № 5. С. 14-18.
  8. Астахов Ю.П., Кочергин С.А., Митрюшин Е.А., Моргунов Ю.А., Саушкин Г.Б., Саушкин Б.П. Микрообработка поверхностных рельефов с применением физико-химических методов воздействия на материал. // Научно-технические технологии в машиностроении. 2012. № 7. С. 33-38.