

гидродинамика, которая особенно сильно видна после обработки в растворе формамида. Однако удалось достичь заданных величин шероховатости в растворе на основе этиленгликоля, при этом величина съема припуска: 0,179...0,188 мм.

4. Электролит на основе формамида не подходит для обработки сплава ЭП741-НП.

5. Для снятия дефектного слоя глубиной до 0,15 мм и снижения шероховатости поверхности с 5 мкм до 1 мкм (Ra) при электрохимической доводке изделий из сплава ЭП741-НП целесообразно использовать электролиты на основе органических растворителей с параметрами режима обработки: $v = 1$ м/с, $i = 4$ А/см², $T = 22$ °С.

Предлагаемый метод электрохимической доводки аэродинамических профилей лопаточных колес позволяет получать шероховатость $Ra = 0,8 \dots 1,0$ мкм, при минимальном съеме материала и снизить трудоемкость доводочной операции на 80...90% по сравнению с технологией, действующей на базовом предприятии. Полученная после обработки шероховатость и отсутствие дефектного слоя значительно увеличивают ресурс изделия и его КПД, что и определяет экономическую эффективность внедрения данной технологии на предприятиях аэрокосмической отрасли.

Литература

1. Моргунов Ю.А., Панов Д.В., Саушкин Б.П., Саушкин С.Б. Научные технологии машиностроительного производства: Физико-химические методы и технологии: Учеб. пособие для высших технических учебных заведений / Под ред. проф. Б.П.Саушкина. – М.: Издательство «Форум», 2013. – 928 с.
2. Моргунов Ю.А., Саушкин Г.Б., Вилигданов Т.В. Электрохимическое гравирование аэродинамических занижений в оснастке с проточным каналом. «Металлообработка», 2010г., №2, с.70-75.
3. Моргунов Ю.А., Саушкин С.Б. Структурное моделирование и классификация способов электрохимической размерной обработки. Журнал «Известия МГТУ «МАМИ», 2011, №1, 184-188с.
4. Моргунов Ю.А., Саушкин Г.Б. Теоретический анализ процесса электрохимического гравирования аэродинамических занижений. Журнал «Известия МГТУ «МАМИ», 2011, №1, 188-193с.
5. Ivan Rusica, Yurii Morgunov, Boris Saushkin, Ghenadii Saushkin, Ion Stingaci «Electrodischarge machining of surface microrecesses», Proceedings of the 16th International Conference Modern Technologies, «Quality and Innovation». Romany. Volume II. IASI- CHIȘINĂU-BELGRAD “ModTech 2012”, pp. 869 – 872.
6. Саушкин Б.П., Шандров Б.В., Моргунов Ю.А. Перспективы развития и применения физико-химических методов и технологий в производстве двигателей. Журнал «Известия МГТУ «МАМИ», 2012, №2, стр.242...248.

Отработка технологии упрочнения поверхностей пар трения скольжения физико-химическим методом

к.т.н. проф. Шандров Б.В., д.т.н. доц. Филиппов В.В., Хомякова Н.В., Волков С.М.
 Университет машиностроения
 8(919)101-62-84, filkas@yandex.ru

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы выбора состава нового электролита и назначения управляющих параметров микродугового оксидирования для упрочнения наружных цилиндрических поверхностей деталей из алюминиевого сплава.

Ключевые слова: микродуговое оксидирование, керамикоподобное покрытие, электролит, приращение размера, шероховатость, задиры поверхности

В настоящее время физико-химические методы широко используются в промышленности для упрочнения поверхностей деталей [1-4]. Микродуговое оксидирование (МДО), ха-

рактируемое модифицированием одновременно с приращением размера и изменением состояния, структуры, свойств вглубь исходного материала, – новый вид электрохимической обработки поверхности металлических материалов, берущий начало от традиционного анодирования.

Предприятиями, сотрудничающими с Университетом машиностроения, в настоящее время поставлена задача отработать технологию упрочнения пар трения скольжения, работающих в жестких условиях: подшипники скольжения, направляющие и толкатели клапанов подачи топлива и различных газов в узлах автомобильной, аэро- и космической отраслях производства. Основными проблемами в работе клапанов и плунжеров являются недостаточная износостойкость пары трения и образование задиров на наружных цилиндрических поверхностях. Вопрос повышения износостойкости в достаточной мере может быть решен применением анодирования поверхностей, однако такие покрытия не обладают стойкостью к образованию задиров и во многих случаях не обеспечивают требуемого ресурса работы. Решить одновременно обе проблемы позволит упрочнение поверхностей методом МДО.

Исследования проводились на базе Лаборатории упрочняющих технологий кафедры «Технология машиностроения» с использованием установки «МДО МАМИ-1», включающей источник технологического тока (ИТТ) и технологическую ванну проточного типа с возможностью принудительного охлаждения электролита, разработанные и собранные сотрудниками кафедры «Технология машиностроения».

В качестве образцов была изготовлена партия полых цилиндров (рисунок 1) из алюминиевого сплава марки Д16 диаметром 18 мм, длиной 100 и толщиной стенки 2 мм. Обработка осуществлялась при неполном погружении образца в рабочий электролит. Предварительная обработка поверхности под упрочнение методом МДО получена токарной обработкой, при этом шероховатость поверхности 1,72...2,21 мкм по параметру R_a . Данная концепция позволяет помимо основной программы исследования выполнить изучение переходной зоны от неупрочненной поверхности к покрытию, а также в будущем исследовать нанесение покрытий методом МДО на внутренние цилиндрические поверхности. На предыдущем этапе исследований после анализа источников был выявлен предварительный состав электролита для МДО. В качестве перспективного представляется электролит на основе фосфата натрия Na_3PO_4 и жидкого стекла $(Na_2O_3)_nSiO_2$ с силикатным модулем $n=2,5$, разводимых в дистиллированной воде в концентрации 10 г/л и 2 г/л соответственно.

Однако нецелесообразно останавливать выбор на одном составе электролита, основываясь лишь на данных публикаций, поэтому исследования также проводились с использованием еще двух щелочных электролитов с несколько измененным составом химикатов и их концентраций. Таким образом, экспериментальные исследования проведены по плану, представленному в таблице 1 (варьирование основного управляющего параметра МДО – силы тока в импульсе, а также длительности и последовательности подачи тока в рабочую зону) и реализованному для каждого из трех электролитов на основе дистиллированной воды, состав которых представлен в таблице 2. Общее количество образцов при отработке технологии МДО на этапе экспериментальных исследований - 18 штук.



Рисунок 1. Экспериментальный образец



Рисунок 2. Профилограф-профилометр MarSurf PS1

Программа экспериментального исследования МДО наружных цилиндрических поверхностей

Номера образцов	Сила тока I, A	Плотность тока $q, A/\text{дм}^2$	Время обработки $t, \text{мин}$
1, 7, 13	15	23,44	10
2, 8, 14	6	9,38	30
3, 9, 15	10	15,63	30
4, 10, 16	Последовательно 6-10-15	9,38-15,63-23,44	10-10-10
5, 11, 17	Последовательно 6-15	9,38-23,44	20-10
6, 12, 18	Последовательно 12-11-10	18,75-17,19-15,63	15-15-15

Таблица 2

Химический состав и концентрации химикатов в электролитах

Номера образцов	Состав электролита	Концентрация химикатов, г/л
1-6	KOH	4
	$(Na_2O_3)_nSiO_2$	2
	H_2O_2	4
7-12	KOH	2
	$(Na_2O_3)_nSiO_2$	8
	H_2O_2	5
	$(NaPO_3)_n \cdot nH_2O$	5
13-18	$NAOH$	3
	$(Na_2O_3)_nSiO_2$	2

В процессе проведения экспериментальных исследований контролировались:

- протекание процесса МДО (визуально),
- изменение шероховатости поверхности,
- изменение размера образца после нанесения покрытия,
- структура и состояние поверхностного слоя упрочненных заготовок в целом и собственно покрытия в частности.

При выполнении экспериментальных исследований использовались:

- универсальный измерительный инструмент,
- профилограф-профилометр электронный MarSurf PS1, позволяющий измерить различные параметры шероховатости поверхности (рисунок 2),
- оборудование для приготовления и исследований шлифов Struers (Дания) (рисунок 3),
- электронный микроскоп EmcoTest Durascan (рисунок 4).



Рисунок 3. Электронный микроскоп Struers



Рисунок 4. Электронный микроскоп EmcoTest Durascan

После упрочнения поверхностей образцов изготовлены шлифы поперечных срезов (рисунок 5), позволившие оценить характер образования покрытия по глубине упрочняемого материала.



Рисунок 5. Шлифы поперечных срезов образцов после упрочнения



Рисунок 6. Разрушение МДО-покрытия по причине дугообразования в процессе обработки

Результаты измерения приращения размера и шероховатости поверхности образцов после упрочнения МДО представлены в таблице 3.

Анализ результатов экспериментальных исследований показал следующее.

Обработка заготовок с плотностями тока выше 15-17 А/дм² непригодна к применению, так как при этом уже с начала процесса МДО происходит локальное образование блуждающего дугового разряда. Следствием этого является разрушение уже образованного керамоподобного покрытия и вырывание частиц металла основы, что приводит к необходимости отбраковки готовых изделий (рисунок 6).

Двухкомпонентный электролит состава NaOH (3 г/л), (Na₂O₃)_nSiO₂ (2 г/л) не обеспечивает стабильности получаемых результатов как по шероховатости, так и по приращению размера. Кроме того, известно, что при таком химическом составе требуется значительное (более 30-40 минут) время обработки, то есть производительность процесса МДО явно недостаточна. А при длительности операции МДО менее 20 минут образуемое покрытие имеет недопустимо низкую толщину (рисунок 7).

Таблица 3

Приращение размера и шероховатость поверхности образцов после МДО

Номер образца	R_a , мкм	Δd , мм
1	1,40	0,554
2	0,815	0,043
3	2,39	0,094
4	3,71	0,083
5	1,94	0,007
6	3,97	0,035
7	4,53	0,022
8	2,251	0,047
9	4,062	0,031
10	4,316	0,035
11	3,976	0,042
12	4,49	0,262
13	3,767	-0,005
14	4,080	0,008
15	4,729	0,040
16	4,828	0,171
17	3,510	0,077
18	4,171	0,040

За счет замены гидроксида натрия на гидроксид калия с некоторым увеличением его концентрации и введения в состав электролита перекиси водорода H_2O_2 (4 г/л) удается стабилизировать конечные шероховатость и приращение размера.

Наилучшим из исследованных представляется четырехкомпонентный электролит состава $KOH + (Na_2O_3)_nSiO_2 + H_2O_2 + (NaPO_3)_n \cdot nH_2O$. Приращение размера при разных вариантах управляющих параметров составляет порядка 0,035 мм, а покрытие визуально получается однородным и не имеющим макродефектов (рисунок 1). Изучение источников по вопросу размерообразования МДО-покрытий позволяет сделать предположение, что при таком приросте размера покрытие проникает вглубь поверхности основного материала на глубину до 0,070 мм. Таким образом толщина упрочненного керамоподобного МДО-покрытия в условиях экспериментальных исследований составляет порядка 0,05 мм на сторону, что является величиной, достаточной для проведения окончательной операции полирования упрочненной поверхности с целью достижения низких значений параметров шероховатости поверхности и удаления пористого муллитного слоя покрытия.

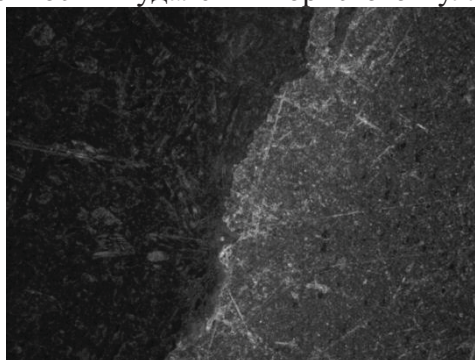


Рисунок 7. Отсутствие покрытия и разрушение поверхности при использовании двухкомпонентных электролитов, $\times 1000$

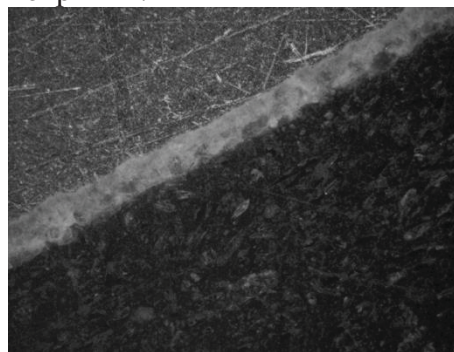


Рисунок 8. МДО-покрытие через 15 минут обработки в электролите с гексаметафосфатом натрия, $\times 1000$

Исследования шлифов поперечных срезов образцов показали, что электролиты более простого состава (без добавления гексаметафосфата натрия) не обеспечивают интенсивного роста МДО-покрытия (рисунок 7): по истечении 30 минут обработки при заданных управляющих параметрах МДО не образуется существенного слоя покрытия. Гексаметафосфат натрия обеспечивает значительное ускорение процесса образования покрытия (рисунок 8): МДО-покрытие толщиной до 0,05 мм образуется за 15-25 минут.

Следующим этапом проводимых в Университете машиностроения исследований станут испытания пары трения скольжения на отсутствие задигов упрочненных поверхностей и выработка алгоритма назначения величин управляющих параметров доводочной операции (полирование МДО-покрытия), обеспечивающих требуемые низкие параметры шероховатости покрытия.

Литература

1. Моргунов Ю.А., Панов Д.В., Саушкин Б.П., Саушкин С.Б. Научно-технические технологии машиностроительного производства. Физико-химические методы и технологии: учебное пособие под ред. Саушкина Б.П. – М.: ФОРУМ, 2013. – 928 с.: ил – (Высшее образование)
2. Забельян Д.М., Рогов В.В., Митрюшин Е.А., Моргунов Ю.А., Саушкин Б.П. Скоростная электроэрозионная обработка пазов системы охлаждения жаровой трубы камеры сгорания / Металлообработка, №3, 2012. – С. 14–19.
3. Калашников А.С., Моргунов Ю.А., Калашников П.А. «Обработка термически неупрочненных цилиндрических и конических зубчатых колес». Приложение к журналу «Справочник. Инженерный журнал. №2(191), М.: Машиностроение, 2013. С.1-24
4. Саушкин Б.П., Шандров Б.В., Моргунов Ю.А. Перспективы развития и применения физико-химических методов и технологий в производстве двигателей. Журнал «Известия МГТУ «МАМИ», 2012, №2, стр.242...248.
5. Шандров Б.В., Морозов Е.М. Земскова Е.П. Разработка высокоэффективных технологий

упрочнения деталей автомобиля из алюминиевых сплавов. Журнал «Автомобильная промышленность», № 2, 2006 г.

6. Жуковский А.В., Шандров Б.В. Мониторинг процесса микродугового оксидирования с применением персонального компьютера. Журнал «Известия МГТУ «МАМИ» №1 (7), 2009г., с.121-124

7. Шандров Б.В. Оборудование и технологии микродугового оксидирования. Журнал «Автомобильная промышленность», № 5, 2007 г.

8. Шандров Б.В., Филиппов В.В., Хомякова Н.В., Волков С.В. Упрочнение поверхностей изделий нанесением покрытий физико-химическим методом. Журнал «Известия МГТУ «МАМИ», 2013, № 1 (15), т.2, стр. 108-112

Влияние режимов резания и конструкционных параметров устройства для комбинированной обработки резанием и поверхностным пластическим деформированием на шероховатость обработанной поверхности нежестких деталей типа полый цилиндр

Ветрова Е.А., Лебедев П.А., Адеев А.С.
Университет Машиностроения
495-223-05-23, доб. 1327

Анотация. Режимы резания и конструкционные параметры устройства для комбинированной обработки резанием и поверхностным пластическим деформированием оказывают существенное влияние на шероховатость обработанной поверхности нежестких деталей типа полый цилиндр.

Ключевые слова: конструкционные параметры устройства, комбинированная обработка, режимы резания, нежесткие цилиндрические детали, устройство для комбинированной обработки, шероховатость поверхности, влияние на шероховатость.

В автомобильной промышленности, в том числе в тракторостроении, сельскохозяйственном, дорожностроительном и других производствах, для работы с навесными механизмами широко используются гидро- и пневмоцилиндры. Такое широкое использование данных деталей типа полый цилиндр в самых разнообразных машинах, устройствах и комплексах вызывает необходимость изготовления гидро- и пневмоцилиндров в широком диапазоне габаритных размеров – как по диаметрам штоков и отверстий цилиндров, так и по их длинам. Одной из особенностей таких деталей является их нежесткость из-за большого соотношения диаметрального и линейного размеров, что оказывает негативное влияние на результаты обработки [1,2].

На основании проведенных ранее исследований [1,2] было установлено, что при обработке нежестких полых цилиндров наиболее выгодно использовать устройства для комбинированной обработки резанием и поверхностным пластическим деформированием (ППД), поскольку комбинированная обработка в данном случае дает выигрыш в производительности, высокие показатели точности обработки (8-9 квалитет) и хорошую шероховатость обработанной поверхности ($R_a = 0.08...0.32\text{мкм}$).

На данный момент известно большое количество конструкций устройств для реализации метода комбинированной обработки резанием и поверхностным пластическим деформированием. Однако же наибольший эффект позволяют получить те устройства, в которых достигается относительное постоянство силового воздействия на деталь в течение всего процесса обработки, поскольку это существенно повышает качество обработки [1,2].

Рассмотрим влияние конструкционных параметров устройства для комбинированной обработки на шероховатость обработанной поверхности нежестких деталей типа полый цилиндр на примере одного из таких устройств, конструкция которого представлена на рисунке 1 [1].