

ОТЗЫВ

**официального оппонента доктора технических наук, профессора
Эпельфельда Андрея Валериевича**

на диссертационную работу Ляховецкого Максима Александровича «Исследование износо- и фреттингостойкости оксидов алюминия и циркония, сформированных методом микродугового оксидирования для защиты элементов двигателей и энергоустановок», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Рецензируемая диссертация объемом 179 страниц содержит введение, пять глав, заключение, список использованных источников из 192 наименований и 7 приложений.

1. Актуальность темы диссертации.

В большом числе работ, связанных с повышением износо- и фреттингостойкости деталей машиностроения исследуются покрытия, формируемые различными методами, начиная с механических способов их нанесения и заканчивая современными ионно-плазменными методами. Большинство из этих методов используют многооперационные технологии и сложное оборудование.

Для защиты деталей двигателей летательных аппаратов (ДЛА) и энергоустановок (ЭУ), выполняемых из алюминиевых и циркониевых сплавов и применяемых в узлах трения, традиционно используют и рекомендуют метод анодирования. В последние годы с ним успешно конкурирует метод микродугового оксидирования (МДО), который позволяет формировать покрытия, превосходящие анодные покрытия практически по всем параметрам. Так, МДО-покрытия демонстрируют более высокую стойкость к механическому изнашиванию, однако изучению механизмов изнашивания при различных условиях нагружения уделялось недостаточное внимание.

В рецензируемой диссертации был выполнен большой объем экспериментальных, расчетно-оценочных и внедренческих работ, показавших, что идентификация механизмов изнашивания позволяет осознанно формировать МДО-покрытия со свойствами, требуемыми для

конкретных условий эксплуатации изделия. В связи с этим работу Ляховецкого М.А., ставящей своей целью разработку научно-обоснованных методов повышения износо- и фреттингостойкости МДО-покрытий, применяемых для защиты элементов ДЛА и ЭУ, следует считать актуальной.

Она направлена на решение важной научной проблемы □ увеличение ресурса и надежности узлов трения авиационной и космической техники, предназначенных для работы в экстремальных условиях эксплуатации.

2. Новизна исследований и полученных результатов.

Новизна исследований и полученных результатов заключается в разработке методики построения карт износа и фреттинг-износа для МДО-покрытий, сформированных на алюминиевых сплавах, которые позволяют определять типы повреждения покрытий в зависимости от условий работы контакта в паре трения.

К числу новых результатов, полученных автором, относится определение для МДО-покрытий, работающих в условиях фреттинг-износа, критериев перехода между режимами частичного проскальзывания и полного скольжения.

Автором также предложено развитие энергетического подхода к изучению изнашивания МДО-покрытий, на основе которого делается вывод о возможности полуэмпирического расчета уровня перехода от умеренного износа к экстремальному разрушению покрытия растрескиванием, на основе чего возможно предсказание ресурса покрытия.

Кроме того, в диссертации приведены результаты исследования процесса формирования МДО-покрытий на циркониевом сплаве Э110, как с применением традиционных электролитов, так и электролитов □ суспензий с добавками нанопорошков гидроксидов алюминия и кальция. Эти результаты также можно отнести к числу новых, особенно с учетом относительно малого количества публикаций по МДО-обработке циркониевых сплавов.

3. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций.

Автор при математическом планировании экспериментов использовал симплекс-центроидный план Шеффе для нахождения оптимальных составов многокомпонентных электролитов, а также дробные факторные планы для определения оптимальных характеристик покрытий. В результате проведения большого массива экспериментов были установлены

зависимости, определяющие связь выходных характеристик покрытий с технологическими параметрами процесса МДО.

Предложенная физическая модель изнашивания МДО-покрытий позволила установить закономерности между условиями нагружения и типами разрушения. Обоснованность полученной картины подтверждается существующими в настоящее время представлениями об изнашивании хрупких и керамических материалов.

Проводимый в работе анализ полученных результатов и оценок и их сравнение с результатами других авторов, подтверждение и использование результатов исследований в опытно-промышленных приложениях позволяют считать эти результаты достоверными, а сделанные на основе их анализа и обобщения выводы и рекомендации – надежными.

4. Замечания и пожелания.

По рецензируемой работе можно сделать ряд замечаний.

1. Название диссертационной работы кажется не слишком удачным. Все-таки в работе исследовалась износостойкость не оксидов алюминия и циркония как таковых, а МДО-покрытий на алюминиевых и циркониевом сплавах.

2. Часто встречающееся в работе выражение «режимные параметры и составы электролитов» лучше было бы заменить на термин «технологические параметры процесса МДО», что дополнительно включает в себя и продолжительность процесса обработки.

3. Фраза «решить ряд экологических проблем при разработке технологического оборудования» (стр. 7 в диссертации и 3 в автореферате) не находит в работе никакого отражения.

4. Рисунок 1 в автореферате: не раскрыты выноски (в диссертации они раскрыты в тексте).

5. Страница 32: «цепь источника питания МДО содержит силовой повышающий трансформатор и набор конденсаторных батарей», хотя, судя по асимметричной осциллограмме, приведенной на рисунке 1.4, речь может идти только о конденсаторах, включенных последовательно с нагрузкой в цепь, что обеспечивает эффект удвоения напряжения за счет униполярной проводимости МДО-покрытия в системе металл–оксид–электролит. Было бы правильным привести в работе схему источника питания.

6. Страница 95: «Плотность тока на образец составляла 10 А/дм^2 , ... а время оксидирования устанавливалось для каждого эксперимента из условия равенства количества электричества, проходящего через единицу площади образца, значению 100800 Кл/дм^2 ». Непонятно, зачем такие сложности, если

плотность тока постоянна. Если посчитать, то получится, что продолжительность МДО-обработки составляет 168 минут, хотя если бы удельное количество электричества было 108000 Кл/дм^2 , то получилось бы 180 минут, т.е. 3 часа.

7. Рисунок 5.3: по оси ординат, по-видимому, должны быть кг/мм^2 , а не МПа

Некоторые опечатки. Рисунок 1.3 относится к алюминию, а ссылка под ним [103] – к цирконию. Ссылка [74]: «..., полной имплантации, полного легирования ...»; видимо, имеется в виду «...ионной имплантации, ионного легирования...». Страница 33: «К третьей группе электролитов относят H_2PO_4 »; видимо, имеется в виду ортофосфорная кислота H_3PO_4 . Рисунок 2.7 (2 в автореферате): вместо контробразец правильнее было бы контртело. Страница 83: «...из нержавеющей стали IX18H9T...». Страница 84: «...через клеммы 3 и 4. сопровождается разложением воды в пар и газ, Перемешивание электролита...». На странице 95-96 (в автореферате стр. 15) путаница в обозначениях: электрическая прочность $U_{\text{пр}}$, В или $U_{\text{бр}}$, В (хотя это пробойное напряжение; электрическая прочность – удельная величина, В/мкм); $H_{\text{ц}}$ или HV; V_{base} или $V_{\text{осн}}$; $h_{\text{сумм}}$ или h_{Σ} и т.д.; что такое HRT вообще не понятно. Нет значений $t_{\text{сорт}}$ в таблице 1 в автореферате.

Однако приведенные замечания не снижают научной и практической ценности диссертационной работы.

5. Заключение.

Кандидатская диссертация Ляховецкого М.А. является законченной научно-исследовательской работой, содержащей новое решение актуальной научной задачи по исследованию процессов износо- и фреттингостойкости МДО-покрытий, сформированных на алюминиевых и циркониевых сплавах, имеющей существенное значение для повышения ресурса и надежности элементов ДЛА и ЭУ. Работа представляет научный и практический интерес и для других отраслей промышленности, где стоит задача упрочнения рабочих поверхностей пар трения, подвергаемых механическому изнашиванию.

Основные результаты диссертации опубликованы в 8 рецензируемых ВАК РФ изданиях, а также обсуждались на международных конференциях, симпозиумах и семинарах. Автореферат и опубликованные работы полностью отражают структуру, содержание, выводы и положения защищаемой диссертации.

Считаю, что диссертация Ляховецкого М.А. «Исследование износо- и фреттингостойкости оксидов алюминия и циркония, сформированных методом микродугового оксидирования для защиты элементов двигателей и

энергоустановок» соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 05.07.05 «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов», а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Официальный оппонент, доктор
технических наук, профессор
кафедры «Технологии производства приборов
и информационных систем управления
летательных аппаратов»
«МАТИ» – РГТУ им. К.Э.Циолковского
109383, г. Москва, ул. Полбина, д.45
e-mail: tompve-2005@yandex.ru,
тел.: +7 (495) 353-83-34



02.12.2014г

А.В.Эпельфельд

Подпись профессора А.В.Эпельфельда
удостоверяю,
Главный ученый секретарь
Ученого совета «МАТИ» – РГТУ
им. К.Э.Циолковского



Г.Г.Артюшина