

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Закировой Лилии Ильдусовны «Особенности формирования гальванотермического покрытия системы цинк-олово с высокой защитной способностью на деталях из углеродистых сталей», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 – Материаловедение

Актуальность работы для двигателестроения

АО «ОДК-Пермские моторы» является серийным производителем авиационных двигателей и наземных газотурбинных установок, эксплуатируемых в широчайшем диапазоне климатических условий – от тропиков до Арктики. Особую опасность для стальных деталей (крепёж, валы, корпусные элементы, детали топливной аппаратуры) представляют хлоридсодержащие среды (морской аэрозоль, противогололедные реагенты, составы для мойки). Традиционно для защиты от коррозии применяется кадмирование, однако кадмий относится к классу высокотоксичных веществ, его использование в серийном производстве и ремонте все более ограничивается международными и российскими экологическими нормами. Поиск полноценной замены кадмию – одна из приоритетных задач материаловедческой службы предприятия. Диссертация Закировой Л.И. представляет собой законченное решение этой проблемы применительно к углеродистой стали 30ХГСА – широко используемому материалу в авиадвигателестроении.

Научная новизна и практическая значимость

На основе автореферата можно сделать вывод, что автором впервые предложен и научно обоснован режим формирования гальванотермического покрытия системы Zn–Sn с двухступенчатой термообработкой (150 °С, 2 ч + 210 °С, 4 ч).

Ключевые результаты, имеющие прямое значение для двигателестроения:

1. Рекордная защитная способность – более 26 000 ч в камере соляного тумана (в том числе 19 000 ч с надрезом до стали), что сопоставимо с фосфатированным кадмиевым покрытием, обработанным в хроматном растворе. Натурные испытания в приморской атмосфере (Геленджик) в течение 4,5 лет показали даже превосходство ГТП над кадмием: продукты коррозии стали на кадмиевом покрытии заняли до 40% поверхности, в то время как ГТП сохранило целостность. Это критически важно для двигателей, эксплуатируемых вблизи морского побережья или на морских платформах.

2. Анодный характер защиты – стационарный потенциал ГТП составляет $-0,99 \pm 0,02$ В (х.с.э.), что обеспечивает надежную защиту стали, подобно цинку,

но при этом сформированная эвтектическая матрица Sn–Zn с включениями заэвтектических фаз препятствует быстрому растворению цинка и обеспечивает долговременное барьерное действие. Механизм «управляемой коррозии» (продукты коррозии цинка уплотняют покрытие) является принципиально новым для покрытий типа «цинк-олово».

3. Трибологические свойства – коэффициент трения ГТП (<0,5) ниже, чем у кадмия, при этом износ контртела составляет всего 15% в отличие от износа при трении по кадмию. Для резьбовых соединений (болты, шпильки) это означает стабильный момент затяжки, отсутствие заедания и повышенный ресурс. По результатам испытаний болтов М6 из стали 30ХГСА крутящий момент при отвинчивании после 20 ч выдержки при 150 °С изменился не более чем на 7–20%, что признано не критичным.

4. Отсутствие водородного охрупчивания – технология (последовательное осаждение, двухступенчатая ТО) обеспечивает эффективное обезводороживание. Испытания на замедленное разрушение выдержаны 840 ч (база 480 ч), фрактография показала вязкий излом без признаков водородной хрупкости. Для высокопрочного крепежа и пружинных деталей это обязательное требование, и автор его выполнила.

5. Технологическая реализуемость – рассеивающая способность процесса 47,5% позволяет получать равномерные покрытия на деталях сложной геометрии (фланцы, лопатки, корпуса). Разработанная технология внедрена на предприятиях отрасли, включая АО «ОДК-Климов» (аналогичное производство).

Замечания и пожелания (не снижающие общей высокой оценки)

1. В автореферате не приведены результаты испытаний ГТП в средах, специфичных для авиадвигателей: авиационный керосин с добавками, масла (включая синтетические), гидравлические жидкости, а также в условиях трения с медными сплавами (втулки, подшипники). Было бы полезно оценить электрохимическую совместимость ГТП с другими конструкционными материалами двигателя (титановые сплавы, жаропрочные никелевые сплавы, алюминиевые сплавы). Однако это не является недостатком, так как задача работы была более сфокусирована.

2. Желательно было бы указать в выводах максимальную рабочую температуру длительной эксплуатации ГТП. Поскольку вторая ступень ТО проходит при 210 °С, можно предположить, что покрытие выдерживает нагрев до 200 °С, но прямое подтверждение в автореферате отсутствует.

3. На рисунке 4 (стр. 17) приведены фото после 26000 ч испытаний – хотелось бы видеть количественную оценку площади поражения коррозией для ГТП (хотя визуально оно выглядит значительно лучше кадмия).

Заключение

Диссертационная работа Закировой Л.И. является завершенным научно-квалификационным исследованием, имеющим важное значение для материаловедения и практического антикоррозионного защиты стальных деталей в авиационной и двигателестроительной отраслях. По актуальности, научной новизне, объему и практической ценности работа полностью соответствует требованиям п. 9–14 «Положения о присуждении ученых степеней» (Постановление Правительства РФ № 842 от 24.09.2013), предъявляемым к кандидатским диссертациям. Автор работы, Закирова Лилия Ильдусовна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 – Материаловедение.

Отзыв составил:

Главный металлург АО «ОДК-Пермские моторы»

 (Д.А. Павлов)

«26» 05 2026 г.



Первый заместитель главного металлурга – начальник экспериментально-металлургического цеха АО «ОДК-Пермские моторы», кандидат технических наук

 (И.Д. Романов)

«26» 05 2026 г.

Заместитель главного металлурга АО «ОДК-Пермские моторы», кандидат технических наук

 (О.А. Загорских)

«26» 05 2026 г.

Контактный телефон: (342) 2597218

Адрес: г. Пермь, Комсомольский проспект, 93

АО «ОДК-Пермские моторы»

Электронный адрес: pmz@pmz.ru