

## 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 научной специальности 2.6.17. «Материаловедение»

Актуальность темы диссертационной работы

Для предприятий авиастроительной отрасли, входящих в состав холдинга «Вертолеты России», проблема импортозамещения и экологической безопасности является одной из приоритетных. Кадмиевые покрытия, традиционно применяемые для защиты стальных деталей авиационной техники (шасси, крепеж, силовые элементы) от коррозии в условиях всеклиматической эксплуатации, обладают высокой токсичностью, что противоречит современным экологическим требованиям и создает проблемы на всех этапах жизненного цикла изделий – от производства до утилизации.

Разработка менее токсичного покрытия для замены кадмиевого покрытия с сопоставимыми защитными и эксплуатационными характеристиками имеет важное стратегическое значение для обеспечения технологической независимости и экологической безопасности авиастроения. Диссертационная работа Закировой Л.И., направленная на создание гальванотермического покрытия системы цинк-олово, является актуальной и востребованной для авиационной промышленности Российской Федерации.

В диссертационной работе Закировой Л.И. впервые: установлен двухступенчатый режим термической обработки ( $150^{\circ}\text{C}$ , 2 ч +  $210^{\circ}\text{C}$ , 4 ч), обеспечивающий формирование диффузионного слоя Fe-Zn-Sn толщиной около 2 мкм на границе со сталью и создание объемной эвтектической матрицы с включениями фаз заэвтектического состава. Выявлен механизм защитного действия, заключающийся в уплотнении покрытия продуктами коррозии цинка.

С практической точки зрения наиболее ценными являются:

- Внедрение технологической рекомендации ТР 1.2.2449-2015 «Нанесение гальванотермического покрытия на детали из углеродистых сталей» в производственных процессах ПАО «Туполев» и АО «ОДК-Климов».

- Защитная способность, сопоставимая с кадмиевым покрытием (более 26 000 ч в камере соляного тумана), что подтверждено ускоренными и натурными испытаниями. Для нас критически важно, что ГТП выдерживает 19 000 ч даже при наличии сквозного надреза до стали – это моделирует реальные повреждения покрытия в эксплуатации.

- Приемлемые трибологические характеристики: коэффициент трения ГТП (менее 0,5) ниже, чем у кадмия, а износ контртела составляет всего 15% (против 70% у кадмия). Это особенно важно для резьбовых соединений и подвижных деталей.

- Отсутствие водородного охрупчивания стали 30ХГСА, что подтверждено испытаниями на замедленное хрупкое разрушение (образцы выдержали 840 ч при нагрузке 0,8 от предела прочности). Для высокопрочных сталей это одно из ключевых требований.

- Технологичность – используется стандартное гальваническое оборудование и электролиты.

Работа выполнена на высоком методическом уровне. Диссертант использовал современное аттестованное оборудование, комплекс стандартных методик. Результаты опубликованы в 17 научных трудах, из них 8 в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК, 2, входящих в базы цитирований Scopus/WoS, автором получен патент на изобретение. Апробация результатов проведена на 6 всероссийских и 1 международной конференциях (2017–2025 гг.), включая профильные «Климат» и «ТестМат». Это соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям по техническим наукам.

Замечания по автореферату

1. По области применения. В работе исследована сталь 30ХГСА – одна из основных конструкционных сталей авиастроения. Однако на предприятии также широко используются стали 30ХГСН2А, 20ХГСНМА, ВКС-9 и др. Не ясно, распространяются ли полученные закономерности на другие марки сталей, используемые в авиастроении, или требуются дополнительные исследования.

2. В эксплуатации авиационные детали могут длительно работать при повышенных температурах (до 150°C в зоне двигателя). В работе исследована коррозия в топливе (до 120°C) и термоциклирование в климатической камере (кратковременные циклы). Однако нет испытаний на термическое старение (например, 1000 ч при 150°C на воздухе) – не изменится ли структура покрытия, не произойдёт ли охрупчивание или отслаивание.

Тем не менее, даже без учета возможности использования покрытия при повышенных температурах, диссертационная работа Закировой Л.И. представляет большой практический интерес для АО «Казанский вертолетный завод» и других предприятий авиастроительной отрасли. Технология может быть рекомендована к расширенному внедрению после проведения дополнительных испытаний, указанных в замечаниях.

В целом, диссертация Закировой Лилии Ильдусовны является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение актуальной задачи – создание экологически безопасного гальванотермического покрытия, не уступающего по защитной способности и трибологическим характеристикам кадмиевому. Работа соответствует паспорту специальности 2.6.17 «Материаловедение», а также критериям пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней» (Постановление Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г.), предъявляемым к кандидатским диссертациям. Соискатель заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Отзыв составил:

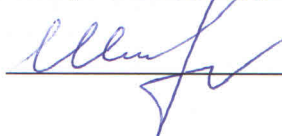
Главный металлург

АО «Казанский вертолетный завод»

Шигапов Алмаз Ильгизович

Кандидат технических наук

Специальность 05.16.09 «Материаловедение (в машиностроении)»

 22.05.2026 г.

Подпись А.И. Шигапова заверяю:

*заместитель начальника отдела по работе с клиентами и партнерами*  
*Казакова Г.Н.*



Контактные данные: АО «Казанский вертолетный завод», г. Казань, ул. Тэцевская, д.14, тел.: 8(843)550-02-95, e-mail: Shigapov\_AI@kazanhelicopters.com