

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ АГРЕССИВНОЙ СРЕДЫ НА АЛЮМИНИЕВЫЕ ПЛАСТИНЫ РАДИАТОРОВ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ

Р. Т. Хакимов¹, О. Н. Дидманидзе²

¹ ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

² ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

Аннотация. Зарубежными и отечественными исследованиями разработан ряд технологических процессов для нанесения на алюминий и его сплавы защитных антикоррозионных покрытий химическим способом. Перед рядом предприятий была поставлена задача разработать конструкцию и типовую технологию изготовления радиаторов секционного типа из алюминия или его сплавов для установки на автомобильные, тракторные, комбайновые и стационарные двигатели с целью уменьшения их веса и снижения стоимости. Целью работы состоит в определении необходимости защиты радиаторов, изготовленных из алюминиевого сплава, выборе способа нанесения защитных пленок на секции радиаторов из известных в литературе и промышленности и проверке коррозионной стойкости полученных защитных пленок в охлаждающих жидкостях согласно техническим условиям эксплуатации радиаторов. Алюминиевые радиаторы нуждаются в защитных антикоррозионных покрытиях, так как работают в агрессивных средах и подвержены окислительному воздействию, следовательно, необходимо выработать методы для их защиты. В качестве таких покрытий на алюминии используют обычно оксидные покрытия. На внутренние поверхности сваренных секций радиаторов ввиду их сложной конфигурации и малого диаметра трубок наносить указанные покрытия электрохимическим способом затруднительно.

Ключевые слова: радиатор; антифриз; вода; охлаждающая жидкость; коррозия.

EXPERIMENTAL STUDIES OF AN AGGRESSIVE ENVIRONMENT IMPACT ON ALUMINUM PLATES OF RADIATORS OF THE COOLING SYSTEM

R. T. Khakimov^a, O. N. Didmanidze^b

^a St. Petersburg State Agrarian University, St. Petersburg, Russian Federation

^b Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

Abstract. Foreign and domestic research has developed a number of technological processes for applying protective anti-corrosion coatings to aluminum and its alloys using a chemical method. A number of enterprises were tasked with developing a design and standard manufacturing technology for sectional radiators made of aluminum or its alloys for installation on automobile, tractor, combine and stationary engines in order to reduce their weight and cost. The purpose is to determine the need to protect radiators made of aluminum alloy, select a method for applying protective films to sections of radiators from methods known in the literature and industry, and test the corrosion resistance of the resulting protective films in coolants in accordance with the technical operating conditions of radiators. Aluminum radiators require protective anti-corrosion coatings, since they operate in aggressive environments and are subject to oxidative attack, therefore, it is necessary to develop methods for their protection. Oxide coatings are usually used as such coatings on aluminum. Due to their complex configuration and small diameter of the tubes, it is difficult to apply these coatings electrochemically to the internal surfaces of radiators welded sections.

Keywords: radiator; antifreeze; water; coolant; corrosion.

Введение. Эксплуатация автотракторной техники показала, что в полевых условиях большая тепловая нагрузка выпадает на систему охлаждения двигателя внутреннего сгорания и его составных элементов, при этом основным регулятором температуры служит радиатор, который постоянно подвержен агрессивным коррозионным воздействиям теплоносителя [1, 2, 3, 4]. По условиям эксплуатации внутренняя поверхность радиатора подвергается химическому воздействию: водопроводной, почвенной воды разной степени агрессивности при температурах от 0°C до температуры кипения и антифриза при температуре от -40 до +100°C [5]. Анализируя источник [5], предполагается, что алюминиевые радиаторы нуждаются в защитных антикоррозионных покрытиях. В качестве таких покрытий на алюминии используют обычно оксидные покрытия. Как указывалось ранее, согласно техническим условиям, радиаторы должны быть предохранены от коррозионного разрушения в течении 3...5 лет.

Целью настоящей работы являлось:

- подбор химических способов нанесения защитных покрытий (оксидных, хроматных, фосфатных) на радиаторы из сплава алюминия марки АМц.
- определение необходимости защиты радиаторов, изготовленных из алюминиевого сплава марки АМц;

- испытание образцов пластин без защитного покрытия с учетом различных условий технологической обработки металлов.

Методика работы в процессе исследования проводилась в несколько этапов:

- выбор коррозионностойкого защитного покрытия для пластин радиаторов;

- испытание образцов пластин без защитного покрытия с учетом различных условий технологической обработки металлов;

- нанесение защитного покрытия на опытную партию радиаторных секций и коррозионные испытания образцов в лабораторных условиях;

- контроль качества покрытий осуществлялся визуально по внешнему виду пластин и капельным методом.

Результаты исследования. В процессе испытания образцов пластин без защитного покрытия учитывались различные условия технологической обработки металлов (при поставке, после штамповки и травления, перед сваркой) и окружающей среды используемого агрессивного теплоносителя (при $T = 20^{\circ}\text{C}$, 65°C , 100°C и относительной влажности 100 %; при использовании водопроводной воды при $T = 100^{\circ}\text{C}$; использования антифриза при $T = 100^{\circ}\text{C}$), более подробнее о результатах данных исследований дается в источнике [1].

Толщина пленки накипи увеличивается с повышением температуры испытаний. Однако характер пленки для различных температур неодинаков. При температуре $18...20^{\circ}\text{C}$ на всех образцах образуется ровная блестящая серая с желтизной пленка, защищающая металл от коррозии. Пленка легко удаляется раствором для удаления накипи. После удаления пленки на поверхности металла при увеличении в 12 раз (далее при $\times 12$) обнаружены отдельные очень мелкие и неглубокие точки. Эта незначительная точечная коррозия произошла в начальный период испытаний, т.е. в период формирования защитной пленки.

При температуре 65°C на образцах в состоянии поставки образуется неровная пленка черного цвета с белыми точками продуктов коррозии и накипи. Эта пленка покрывает почти всю поверхность образца. Потеря веса и точечная коррозия наблюдается еще до снятия накипи. После удаления накипи и пленки точечная

коррозия обнаружена по всей поверхности образцов только при увеличении в 12 раз.

При температуре 100°C на всех образцах, независимо от технологической обработки, образуется матовая пленка. Кроме того, на образцах после травления имеются на всей поверхности отдельные небольшие черные пятна. При этой температуре наблюдается максимальный привес образцов за счет образования накипи. Привес образцов остается даже после удаления накипи. На поверхности образцов имеются отдельные участки местной коррозии, особенно в местах изгибов.

Испытания при относительной влажности 100 % при температуре 18...20°C над поверхностью агрессивной воды, показали полное отсутствие коррозии, внешний вид образцов остался неизменным.

После 200 часов испытаний образцы покрылись как с внутренней, так и с наружной стороны плотной черной пленкой, а на сварных швах появились участки коррозионных поражений, которые видны невооруженным глазом. Дальнейшие испытания были прекращены.

Наличие распорного кольца из дюралюминия не привело к существенному изменению коррозионного поведения алюминия марки АМц.

Испытания в водопроводной воде г. Санкт-Петербурга (таблица 1) доказали, что образцы, независимо от технологической обработки, покрыты матовой пленкой. Пленка во многих местах, особенно на изгибах канавок, имеет нарушения. На местах наружной пленки при увеличении наблюдается точечная коррозия при длительных испытаниях в водопроводной воде.

Общая скорость коррозии в водопроводной воде несколько больше, чем в агрессивной воде, видимо за счет большего содержания хлор-иона. Испытания в антифризе показали полное отсутствие коррозии; внешний вид образцов остался неизменным.

Испытания образцов сварных секций показали, что на отдельных участках сварного соединения металл обладает пониженной коррозионной стойкостью и после 200 часов испытаний видны коррозионные поражения.

Таблица 1 – Результаты испытаний образцов без защитного покрытия в водопроводной воде (температура 100°С, продолжительность 1000 час.)

Технологическая обработка металла	№ образца	Средняя скорость коррозии в г/м ² час		Состояние поверхности
		без удаления пленки	после удаления пленки	
В состоянии поставки	061	0,0035	0,0075	Поверхность покрыта матовой пленкой. Пленка во многих местах нарушена. При x12 – точечная коррозия на местах нарушения пленки
	062			
	063			
	064			
	065			
После штамповки	071	0,0029	0,0060	Поверхность покрыта матовой пленкой, в местах изгибов пленка нарушена вдоль канавок. При x12 – точечная коррозия в местах нарушения пленки
	072			
	073			
	074			
	075			
После травления сваркой	066	0,0018	0,0057	-"
	067			
	068			
	069			
	070			

Понижение коррозионной стойкости сварных соединений вызвано наложением дополнительных напряжений и нарушением пассивной пленки на поверхности металла при роликовой контактной сварке. Однако коррозионные поражения сварных соединений наблюдаются только на внешней, не рабочей поверхности секции, т.е. только на поверхности, по которой проходит ролик.

На внутренней рабочей поверхности секции коррозия за счет нарушения поверхности металла и дополнительных напряжений не происходит, так как нарушений при сварке быть не может и агрессивная среда не подходит к сварному соединению, благодаря тому, что пластины сдавливаются роликами и плотно прилегают друг к другу вдоль сварного соединения.

Поскольку все же алюминий склонен к точечной коррозии, то после длительной эксплуатации алюминиевых радиаторов

перфорация стенок его секций не исключена и вследствие этого требует нанесения защитных покрытий.

Выбор коррозионностойкого защитного покрытия. При выборе способа защиты поверхности радиаторных пластин из алюминиевого сплава марки АМц были нанесены покрытия и испытана коррозионная стойкость пленок, полученных методом хромирования [6], голубого оксидирования [7], фосфатирования [8] и хромо-фосфатирования [9]. Состав растворов и режим работы в них приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Влияние состава раствора и режима нанесения защитной пленки на коррозионную стойкость радиаторных пластин при ускоренных испытаниях

Вид обработки радиаторных пластин из сплава АМц	Состав растворов и их концентрация в г/л						Режим работы		Устойчивость пленки при испытании капельным методом, мин	Цвет образцов после обработки
	фосфорная кислота	фтористый натрий	хромовый агидрид	плавиковая кислота	кремнефтористый натрий	двуххромовоокислый калий	температура, С	продолжительность, мин		
Фосфатирование	64	5	10	-	-	-	18-20	6, 10, 15	1,5-1	Бледно-золотистый
То же	12	3,1	3,6	-	-	-	то же	то же	1,5-1	
-"-	24	5	6,8	-	-	-	-"-	-"-	1,5-1	Золотисто-радужный
Фосфатное голубое оксидирование	50	-	7	4	-	-	-"-	10	2,5-3,5	Бледно-голубой
Хроматирование	-	-	5	-	5	-	-"-	10	2,5-4	Бурый
Хромо-фосфатирование	111,5	1,82	-	-	-	30,8	46-48	60	до 30	Салатный

Защитная пленка должна была наноситься на пластины, сваренные контактно-роликовой сваркой, требующей предварительных подготовительных операций: обезжиривания с одновременным травлением и пассивирования.

Непосредственно перед покрытием пластины обезжиривали в растворе следующего состава:

Тринатрийфосфат – 50 г/л;

Жидкое стекло – 30 г/л;

Едкий натр – 8 г/л.

Температура раствора 45...50 °С, продолжительность процесса обезжиривания – 10 минут. При некоторых способах нанесения защитных пленок, например, при хроматировании, необходима предельная обработка в растворе, содержащем 250...260 г/л серной кислоты и 30 г/л хромового ангидрида при температуре 50 °С. Продолжительность процесса – 10 минут.

Определение качества нанесенной защитной пленки проводилось, в первую очередь, капельным способом. Пленки, показавшие наибольшую устойчивость, подвергались коррозионным испытаниям при различных температурах и в разнородных средах.

Пленки, полученные методами фосфатирования, голубого оксидирования, хроматирования и хромо-фосфатирования, показали различную стойкость при испытании капельным методом. Результаты испытания приведены в таблице 2. Наиболее устойчивой оказалась пленка, полученная по методу хромо-фосфатирования (таблица 2, раствор 5).

На коррозионную стойкость испытывались образцы пластин с хроматным защитным покрытием, рекомендованным в работе [6] для алюминия марки А00, и с фосфатно-хроматным защитным покрытием с естественной и принудительной сушкой.

Результаты испытаний образцов с хроматной пленкой (таблица 2, раствор 5) показали, что пленка нарушена по всей поверхности в виде очагов, пятен и полос (таблица 3). В местах нарушений металл обнажен и подвержен такой же коррозии, как образцы без защитного покрытия.

Процесс нарушения пленки начинается после первых 100 часов испытаний как в агрессивной, так и в водопроводной воде. При испытаниях в антифризе на поверхности пленки (за исключением цвета пленки) изменений не наблюдается.

Таблица 3 – Результаты испытаний образцов с защитной хроматной пленкой (температура испытаний – 100°С, продолжительность – 1000 час.)

Среда	№ образца	До удаления накипи		После удаления накипи	
		ср. скорость образования накипи г/м ² час	состояние поверхности	ср. скорость коррозии г/м ² час	состояние поверхности
Вода агрессивная	55	0,0032	Цвет пленки изменился с золотистого на грязно-серый. Пленка нарушена по всей поверхности в виде очагов, пятен, полос. При x12 коррозия в местах нарушения пленки	0,0032	То же, что и до удаления накипи
	56				
	57				
	58				
	59				
Вода водопроводная	60	-0,0016	Цвет пленки изменился с золотистого до серо-желтого. Пленка нарушена по всей поверхности. Места нарушений черного цвета и при x12 на них видна местная коррозия	0,005	"-"
	61				
	62				
	63				
	64				

Радиаторные пластины покрывались защитной пленкой как с внешней, так и с внутренней стороны. По условиям эксплуатации радиатора только внутренняя поверхность пластины является рабочей.

Вывод. По итогам исследований достигли следующее:

1. Обследованы способы нанесения защитных пленок на секции радиаторов, изготовленных методом контактно-роликовой сварки из алюминиевого сплава марки АМц в хроматных и фосфатных растворах.

2. Установлено, что покрытие, полученное в хромофосфатном растворе при температуре $48 \pm 2^\circ\text{C}$, в течение 50 мин с последующим наполнением в растворе хромового ангидрида и сушкой в течение 24 часов на воздухе, защищает сплав алюминия марки

АМц от коррозии в водопроводной и синтетической агрессивной воде при температуре от 18 °С до 100 °С. Для интенсификации процесса можно исключить операцию наполнения 1 и ввести принудительную сушку при температуре 150...200 °С в течение 10...20 мин.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Стромберг, А. Г. Физическая химия / А. Г. Стромберг, Д. П. Семченко. – М. : Высшая школа, 2006. – 528 с.
2. Хакимов, Р. Т. Стендовые гидродинамические исследования моделей роторных алюминиевых радиаторов / Р. Т. Хакимов // Известия Международной академии аграрного образования. – 2016. – № 26. – С. 24-27.
3. Исследование процессов электроосаждения кадмиевых покрытий / Д. А. Шувалов, Е. А. Архипов, Н. С. Григорян, Д. А. Жирухин, К. Н. Смирнов, Т. А. Ваграмян / Успехи в химии и химической технологии. ТОМ XXXII. – 2018. – № 13 – С. 42-43.
4. Кошель, С. Г. Химические реакторы / С. Г. Кошель, Е. С. Соболева, А. В. Павлов / М-во образования и науки Рос. Федерации, Яросл. гос. техн. ун-т. – Ярославль : Изд-во ЯГТУ, 2013. – 76 с.
5. Кротов, И. В. Получение пленок фосфатов алюминия и хрома на алюминии и его сплавах / И. В. Кротов, В. В. Гринин, И. А. Запольская / Журнал прикладной химии. – 1975. – Том 31. – 33 с.
6. Салова, Т. Ю. Разработка инструментария оценки температурного режима системы охлаждения двигателя / Т. Ю. Салова, Д. В. Смирнов // Известия Международной академии аграрного образования. – 2021. – № 55. – С. 71-76.
7. Зейнетдинов, Р. А. Оптимизация радиатора охлаждающей системы поршневого двигателя применением принципа минимизации энтропии / Р. А. Зейнетдинов, В. В. Александров // Известия Международной академии аграрного образования. – 2019. – № 45. – С. 25-30.
8. Хакимов, Р. Т. Энергоэффективность газового двигателя внутреннего сгорания / Р. Т. Хакимов, О. Н. Дидманидзе, Л. О. Какава // Известия Международной академии аграрного образования. – 2019. – № 47. – С. 42-47.
9. Постников, Н. С. Коррозионностойкие алюминиевые сплавы / Н. С. Постников. – М. : Металлургия, 1976. – 300 с.
10. Дзюба, Е. Ю. Анализ средств оценки конструкции и работ по алюминиевым радиаторам, проводимых в лаборатории «ОНИЛТА» / Е. Ю. Дзюба, Р. Т. Хакимов // Известия Международной академии аграрного образования. – 2015. – № 25-1. – С. 99-101.
11. Температурные показатели охлаждающих жидкостей для аккумуляторов электротракторов и электромобилей / О. Н. Дидманидзе, Е. П.

Парлюк и др. // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2023. – Т. 17. – № 4. – С. 55-61.

12. Экспериментальные исследования алюминиевых пластин авто-тракторных радиаторов в агрессивных средах / Р. Т. Хакимов, К. О. Ланглиц и др. // Известия Международной академии аграрного образования. – 2023. – № 67. – С. 153-158.

13. Данилова, А. И. Установка дополнительного радиатора охлаждения для предотвращения перегрева автоматической коробки передач / А. И. Данилова, А. С. Афанасьев // Обществознание и социальная психология. – 2022. – № 5-2 (35). – С. 102-106.

14. Afanasyev, A. S. Simulation model of the organization of technological transport movement at a mining enterprise / A. S. Afanasyev, A. M. Egoshin, S. V. Alekseev // В сборнике: Journal of Physics: Conference Series. Сер. «International Conference on Innovations, Physical Studies and Digitalization in Mining Engineering, IPDME 2020». – 2021. – С. 012008.

15. Didmanidze, O. N. Heat and mass transfer of multicomponent gas mixtures in cryogenic tank of automotive equipment / O. N. Didmanidze, A. S. Afanasyev, R. T. Khakimov // В сборнике: Journal of Physics: Conference Series. Сер. «International Conference on Actual Issues of Mechanical Engineering, AIME 2021». – 2021. – С. 012024.

Об авторах:

Хакимов Рамиль Тагирович, профессор ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет» (196601, Россия, Санкт-Петербург, г. Пушкин, Петербургское шоссе, дом 2), доктор технических наук, haki7@mail.ru.

Дидманидзе Отари Назирович, заведующий кафедрой тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (127434, Российская Федерация, Москва, ул. Тимирязевская, д. 49), доктор технических наук, профессор, академик РАН, didmanidze@rgau-msha.ru.

About the authors:

Ramil T. Khakimov, professor, St. Petersburg State Agrarian University (196601, Russian Federation, St. Petersburg, Pushkin, Peterburgskoe highway 2), D.Sc. (Engineering), haki7@mail.ru.

Otary N. Didmanidze, Head of the Department of Tractors and Automobiles, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya St., 49), D.Sc. (Engineering), professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, didmanidze@rgau-msha.ru.