



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

**федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»
(ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»)**

Вадковский пер., д. 1, Москва, 127055. Тел.: (499) 973-30-76. Факс: (499) 973-38-85
E-mail: rector@stankin.ru

«УТВЕРЖДАЮ»

и.о. проректора по научной работе
ФГАОУ ВО «Московский государственный
технологический университет «СТАНКИН»

Капитанов А. В.

«1» сентября 2026 г.
МП

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН» на диссертационную работу Катенда Даниэл Паула «Условия высокой коррозионной стойкости сплава АК12М2, из которого изготавливают радиаторы отопления, в растворах, имитирующих теплоноситель», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.6.9 – Технология электрохимических процессов и защита от коррозии.

Актуальность темы диссертации. В настоящее время сплав АК12М2 широко применяется для изготовления секций радиаторов отопления методом высокоскоростного литья под давлением. Основное достоинство данного материала состоит в повышенных прочностных характеристиках и удобстве технологического процесса вследствие присутствия в нём железа и меди, что способствует легкому извлечению изделий из пресс-формы и увеличению прочности сплава. Вместе с тем, эти легирующие элементы наряду с примесями приводят к образованию активных локальных катодных зон в структуре силумина, провоцируя активизацию процессов коррозии, включая язвенную её разновидность. Несомненно, что на процесс коррозии силуминов значительное влияние также оказывает концентрация кислорода в рабочих жидкостях (теплоносителях). Практика показывает, что нередки случаи нарушения герметичности в

тепловых сетях, приводящие к возрастанию концентрации кислорода в теплоносителях. Это вызывает не только общую, но и наиболее опасную локальную (язвенную) коррозию силумина. К сожалению, до настоящего времени не установлено содержание растворенного кислорода, позволяющее длительное время функционировать секциям обогревательных батарей без нарушения их герметичности.

В этом смысле тема диссертационной работы Катенда Даниэл Паула, цель которой заключается в выявлении концентрации растворённого в слабощелочных модельных растворах кислорода, для которой обеспечивается продолжительная эксплуатация радиаторов отопления из алюминиевого сплава АК12М2 при максимальной температуре (900°C), и разработке высокопроизводительного технологического режима получения способом плазменно – электролитического оксидирования антикоррозионного покрытия на этом сплаве несомненно является актуальной.

Общая характеристика работы. Диссертация состоит из введения, обзора литературы, описания используемых материалов, методов и методологического подхода к проведению исследований, глав с результатами исследований и их обсуждения, выводов и списка использованной литературы. Объём диссертационной работы составляет 131 страниц, включая 60 рисунков и 6 таблиц.

Во введении постулируется цель работы, обосновывается её актуальность, научная и практическая значимость, сформулированы цель и задачи исследования, а также перечислены главные положения, выносимые на защиту.

В I - III главах представлен литературный обзор. В нем кратко описаны процесс растворения ряда металлов и кремния из псевдопассивного состояния, особенности питтинговой коррозии алюминия и сплавов на его основе, базисы питтингостойкости, а также кинетика и механизм плазменно – электролитической обработки алюминиевых сплавов в сравнении с их плазменно-электролитическим оксидированием.

В IV главе описан поэтапный термодинамический расчёт фаз в сплавах АК12М2 и АК12пч, который был проведен с использованием программы JMatPro® (Sente Software Ltd.), основанной на методике вычислительного расчёта фазовых диаграмм CALPHAD.

В V главе диссертантом описаны использованные образцы из сплавов АК12М2 и АК12пч, их подготовка перед проведением электрохимических и коррозионных испытаний, методики определения концентрации легирующих элементов и примесей в этих силуминах и приготовления водных растворов с заданным значением pH. Для перехода от слабощелочных растворов к модельным, имитирующим состав теплоносителей в радиаторах отопления, диссертант вводил в электролиты следующие компоненты: сульфат натрия (Na_2SO_4) в количестве 320 мг/л и хлорид натрия (NaCl) в концентрации 175 мг/л, а также 25 мг/л метакремниевой кислоты (H_2SiO_3). Для уменьшения концентрации растворённого кислорода ($C_{\text{O}_2}^p$) до 0,12 и 0,06 мг/л, в электролитах использован сульфит натрия (Na_2SO_3) в количестве 25 мг/л и 60 мг/л, соответственно, а для практически полного обескислороживания слабощелочных модельных электролитов – гидразин-гидрат ($\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) в дозировке 7,5 мг/л. Кроме того, в этой же главе описана высокопроизводительная методика получения антикоррозионных покрытий на сплаве АК12М2.

В VI главе подробно представлена методика проведения коррозионных и электрохимических исследований, как в слабощелочных, так и в модельных электролитах с различными концентрациями растворенного в них кислорода и pH.

Глава VII посвящена детальному изучению структуры и свойств поверхностных плёнок, образовавшихся на сплаве АК12М2 после коррозионных испытаний, а также оценке характера и морфологии возникших на его поверхности язв.

В VIII главе автор диссертации представил термодинамический расчёт при средних температурах поверхности отливок 430 и 500 °С из силуминов АК12М2 и АК12пч после литья и извлечения из пресс-формы. Данный расчёт позволил выявить основные фазы в сплавах АК12М2 и АК12пч: твёрдый раствор элементов сплава в алюминии (81,36 и 87,98 % масс., соответственно), кремний (11,94 и 10,74 % масс., соответственно) и интерметаллиды. В сплаве АК12М2 выявлены следующие интерметаллиды: α -Al(Fe,Mn,Cr)Si, β -Al₅FeSi, Al₃Ti, γ -Al₇Cu₄Ni, Al₃Ni₂ и Q-Al₅Cu₂Mg₈Si₆. В сплаве АК12пч - α -Al(Fe,Mn,Cr)Si и β -Al₅FeSi. Кроме того, термодинамический анализ при заданных в программе концентрациях, равных 0,1 %, указал диссертанту на отсутствие появления новых фаз при старении сплава АК12пч при температуре 90 °С в отличие от их появления в сплаве АК12М2: θ' -Al₂Cu, S'-Al₂CuMg, η' -MgZn₂, T'-AlCuMgZn, β' -Mg₂Si, B'-Mg₂Si, β'' -Mg₂Si, Q'-Al₅Cu₂Mg₈Si₆.

В IX главе показано, что вследствие наличия большого количества интерметаллидов в силумине АК12М2, он подвержен большей локальной (язвенной) коррозии, чем сплав АК12пч. Кроме того, показана большая агрессивность слабощелочного электролита после введения в него специальных компонентов для создания модельного электролита, имитирующего раствор, протекающий в радиаторах отопления.

В X главе приведены оригинальные данные, указывающие на увеличение скорости роста тёмно – серой плёнки с уменьшением концентрации растворенного кислорода в модельных электролитах. При этом диссертант высказал предположение, что происходит шунтирование тока при коррозии, протекающей на интерметаллидах с увеличением концентрации растворенного кислорода, когда начинает протекать язвенная коррозия сплава АК12М2. В этой же главе описан механизм перехода сплава в слабощелочных модельных растворах в псевдопассивное состояние при низких концентрациях растворённого кислорода.

В XI главе автор приводит два равновероятных механизма образования язв на сплаве АК12М2 при повышенных (более 0,12 мг/л) концентрациях растворённого кислорода: а) растворение ряда интерметаллидов вследствие их субмикроэлектрохимической гетерогенности и выделение в язвах эффективных катодов (Cu, Fe); б) образование анодных зон вокруг интерметаллидов вследствие образования растягивающих напряжений в этих зонах. В этой же главе введено понятие базиса язвенностойкости – разницы между потенциалом нарушения сплошности защитной плёнки и стационарным потенциалом. Установлено, что чем больше базис язвенностойкости, тем меньше вероятность образования язв. Следовательно, быстрые электрохимические испытания сплавов могут заменить длительные коррозионные испытания по определению его склонности к язвенной коррозии.

В XII главе описан технологический режим высокоскоростного получения антикоррозионного покрытия на сплаве АК12М2. Данный режим был разработан в результате тщательного теоретического анализа и многочисленных экспериментов. В основе этого режима находится введение в щелочно – силикатный электролит NH₄F как активатора процесса плазменно – электролитической обработки силумина.

Выводы являются корректными, полностью вытекающими из теоретических и экспериментальных результатов данной работы.

Результаты диссертационной работы обсуждены на 4 международных конференциях, приведены в трёх статьях, опубликованных в журналах, входящих в базы Web of Science и Scopus. В них изложено основное содержание диссертационной работы. Автореферат полностью

отражает содержание диссертационной работы. Диссертация написана четким и понятным языком, хорошо оформлена.

Научная новизна диссертационной работы Катенда Даниэл Паулу заключается следующем.

Установлено, что при выдержке силумина АК12М2 в слабощелочных модельных электролитах на его поверхности формируется тёмно-серая плёнка на основе кремния и его оксида вследствие значительной скорости химического растворения тонкого слоя псевдобемита AlOOH , формирующего под этой плёнкой. Именно слой псевдобемита отвечает за нахождение сплава АК12М2 в псевдопассивном состоянии при пребывании в модельном растворе при крайне низком содержании растворённого кислорода (равном или менее 0,06 мг/л). При больших концентрациях растворённого кислорода в щелочных электролитах имеют место два равновероятных механизма образования ямок в силумине, переходящих в язвы: а) растворение интерметаллидов вследствие субмикроэлектрохимической гетерогенности, что приводит к образованию эффективных катодов (Cu, Fe), которые интенсифицируют процесс его локальной коррозии; б) образование анодной зоны вокруг интерметаллидов вследствие их меньшего температурного коэффициента линейного расширения по сравнению с матрицей сплава.

Кроме того, обладает признаками новизны предложенный механизм высокой скорости роста плазменно-электролитических антикоррозионных покрытий при введении до 2 г/л NH_4F в водный раствор, содержащий 280 г/л ТЖС. В основе предполагаемого механизма находится гипотеза об увеличении размеров полианионов типа $\text{n}[\text{SixOy}]^{\text{m-}}$ с введением фторида аммония в силикатный электролит.

Практическая значимость работы. Большая практическая значимость данной работы очевидна, так как применение экспериментальных данных, полученных в ней, позволит значительно увеличить длительность и надежность функционирования радиаторов отопления, изготовленных из сплава АК12М2. Кроме того, предприятием АО «РИФАР» была проведена оценка рисков язвообразования на радиаторах отопления по разработанному в данной работе методу оценки склонности сплава АК12М2 к возникновению этих дефектов.

Результаты данной работы для длительной работоспособности радиаторов отопления **необходимо рекомендовать** предприятиям, занимающимся их изготовлением из алюминиевых сплавов, в частности, Роял Термо (Владимирская область), Русский радиатор (Республика Карелия), Златмаш (Челябинская область).

Дальнейшие исследования по возможности нанесения антикоррозионного покрытия с высочайшей производительностью процесса ПЭО на внутреннюю поверхность радиаторов отопления следует совместно проводить с сотрудниками ООО «САНА-ТЕК» и АО «РИФАР».

По работе имеются следующие замечания и вопросы.

1. Представляется спорным утверждение соискателя о том, что образование метастабильных фаз, имеющих небольшие размеры, может происходить при старении только в сплаве АК12М2. Вероятно, автор хотел сказать, что не происходит образование метастабильных фаз в сплаве АК12.

2. Вызывают сомнение приведенные данные экспериментов по увеличению толщины тёмно-серой плёнки с уменьшением концентрации растворённого кислорода в слабощелочных водных растворах. Вероятно, эти данные следует ещё несколько раз перепроверить.

3. В описании методик имеются непонятные фразы, например, «По наличию или отсутствию следов из продуктов коррозионного поражения на поверхности покрытий, а также по помутнению электролита или наличия в нем вторичных продуктов коррозии». Что автор хотел сказать этой фразой? На стр. 70 (методика экспериментов) диссертант написал: «... и потенциалов выхода из пассивного состояния сплава». В результатах же опытов и их обсуждении он пишет о выходе силумина не из пассивного, а из псевдопассивного состояния.

4. Удивительно, что площадь размеров язв, образующих на силумине АК12М2 после выдержки в модельном растворе, не изменяется с увеличением температуры от комнатной до 90⁰С (см. стр. 79 и 82 диссертации). Может ли автор дать объяснения по этому поводу?

Сделанные замечания несущественно уменьшают научную и практическую ценность диссертации и общую высокую оценку работы.

Диссертационная работа «Условия высокой коррозионной стойкости сплава АК12М2, из которого изготавливают радиаторы отопления, в растворах, имитирующих теплоноситель», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, соответствует требованиям Положения о порядке присуждения учёных степеней в Национальном исследовательском технологическом университете «МИСиС», а её автор Катенда Даниэл Паулу заслуживает присвоения степени кандидата технических наук по специальности 2.6.9 – Технология электрохимических процессов и защита от коррозии.

Диссертационная работа, автореферат и отзыв рассмотрены на заседании ученого совета «Центра новых материалов и технологий», протокол № 2 от 21 января 2026 года. На заседании присутствовало 12 членов совета из 15. Результаты голосования: «за» 12, против – нет, воздержавшихся – нет.

Председатель заседания
Директор центра
доктор технических наук,
профессор

Суминов Игорь Вячеславович

Адрес организации: 127994, Москва, ГСП-4, Вадковский пер., д. 1

Наименование организации: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»

Электронный адрес: rector@stankin.ru

Телефон: Тел.: (499) 973-30-76.