



Исследование биокоррозии алюминиевого
сплава Д16 и разработка методики испытаний
металлических материалов на стойкость к
воздействию плесневых грибов

О.И. Емельянов

А.В. Полякова

В.Н. Кириллов
кандидат технических наук

И.И. Нагаюк

В.А. Петрова

Июль 2004

Всероссийский институт авиационных материалов (ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ) – крупнейшее российское государственное материаловедческое предприятие, на протяжении 80 лет разрабатывающее и производящее материалы, определяющие облик современной авиационно-космической техники. 1700 сотрудников ВИАМ трудятся в более чем 30 научно-исследовательских лабораториях, отделах, производственных цехах и испытательном центре, а также в 4 филиалах института. ВИАМ выполняет заказы на разработку и поставку металлических и неметаллических материалов, покрытий, технологических процессов и оборудования, методов защиты от коррозии, а также средств контроля исходных продуктов, полуфабрикатов и изделий на их основе. Работы ведутся как по государственным программам РФ, так и по заказам ведущих предприятий авиационно-космического комплекса России и мира.

В 1994 г. ВИАМ присвоен статус Государственного научного центра РФ, многократно затем им подтвержденный.

За разработку и создание материалов для авиационно-космической и других видов специальной техники 233 сотрудникам ВИАМ присуждены звания лауреатов различных государственных премий. Изобретения ВИАМ отмечены наградами на выставках и международных салонах в Женеве и Брюсселе. ВИАМ награжден 4 золотыми, 9 серебряными и 3 бронзовыми медалями, получено 15 дипломов.

Возглавляет институт лауреат государственных премий СССР и РФ, академик РАН, профессор Е.Н. Каблов.

Статья подготовлена для опубликования в журнале
«Авиационная промышленность», № 1, 2005 г.

Электронная версия доступна по адресу: www.viam.ru/public

**Исследование биокоррозии алюминиевого сплава Д16
и разработка методики испытаний металлических материалов
на стойкость к воздействию плесневых грибов**

О.И. Емельянов, А.В. Полякова, В.Н. Кириллов,
И.И. Нагаюк, В.А. Петрова

Всероссийский институт авиационных материалов

Биоповреждение материала – это любое нежелательное изменение его свойств, вызванное жизнедеятельностью организмов. Биокоррозия металлов – составная часть проблемы биоповреждений. Наиболее активными возбудителями повреждений являются микроорганизмы – мицелиальные грибы и бактерии, на долю которых приходится до 20% от общего числа повреждений. Многие бактерии и мицелиальные грибы образуют в процессе метаболизма аммиак, сероводород, а также различные органические кислоты, большинство из которых характеризуется высокой коррозионной активностью. В процессе своего развития микроорганизмы, являясь акцепторами на поверхности металлов, разрушают ингибиторы, защищающие металл, и стимулируют его коррозию. Биокоррозия металлических изделий, конструкций обычно происходит в условиях повышенной влажности при наличии загрязнений. Наиболее активными агентами биокоррозии металлов и покрытий являются плесневые грибы [1].

Определенный интерес представляют бактерии и грибы, поражающие топливо. Известно, что существуют определенные симбиотические взаимоотношения между организмами, развивающимися в топливе. Установлено, что грибы в симбиозе с другими микроорганизмами могут существовать в анаэробных условиях, используя для питания продукты метаболизма сульфатредуцирующих бактерий [2]. В этой связи нетрудно предположить, что алюминиевые сплавы, используемые в конструкциях топливных баков, могут быть подвернуты более интенсивной коррозии.

Однако разрушительную деятельность биологических агентов по отношению к металлам, и в частности к алюминиевым сплавам, во-первых,

очень трудно идентифицировать и, во-вторых, трудно отделить от аналогичного действия естественных и технологических сред. Имеющиеся в литературе данные об усилении коррозии под воздействием продуктов жизнедеятельности микроорганизмов, и в первую очередь плесневых грибов, весьма противоречивы и требуют дополнительных исследований.

В настоящее время отсутствует НТД на методы определения биокоррозии металлов, что затрудняет проведение исследований в этой области. Авторами были проведены исследования, направленные на разработку методики испытаний металлических материалов на стойкость к воздействию микроорганизмов, на выяснение роли микроорганизмов в процессе коррозии.

Объектами исследования процессов биокоррозии под воздействием мицелиальных грибов были выбраны алюминиевый сплав Д16, широко применяемый в топливных системах самолетов, и топливо ТС-1.

На первом этапе были проведены исследования по выделению и идентификации микрофлоры с поверхности образцов алюминиевого сплава Д16 и из топлива ТС-1, находящихся на экспозиции в условиях влажного субтропического климата на микологической площадке МНИЦИМ. Установлено, что на пораженных образцах сплава Д16 чаще всего встречаются плесневые грибы *Aspergillus* и *Penicillium*.

Из выделенных культур микроорганизмов был составлен набор для проведения микробиологических испытаний: *Aspergillus niger*, *Aspergillus flavus*, *Alternaria alternata*, *Cladosporium resinae*, *Penicillium brevi-compactum*, *Trichoderma viride*.

Из-за отсутствия НТД на методы определения биокоррозии металлов в лабораторных и естественных условиях для исследований биокоррозии сплава Д16 за основу были взяты стандартные методики, по которым определяется грибостойкость неметаллических материалов. Исследования в лабораторных условиях проводили по ГОСТ [3] и СТП [4]. Согласно ГОСТ [3], образцы сплава Д16 помещали в эксикатор на подложку, на дно эксикатора добавляли воду, затем образцы заражали суспензией спор из

составленного набора микроорганизмов, закрывали эксикатор крышкой, помещали в термостат и выдерживали в течение 3 мес. В соответствии с СТП [4] образцы сплава Д16 помещали в стеклянные емкости, заливали водно-минеральной средой и топливом ТС-1, затем данную систему заражали суспензией спор микроорганизмов, помещали в термостат и выдерживали 3 мес. Стандартные методики не предполагают проведения испытаний материалов на воздействие метаболитов (продуктов жизнедеятельности микроорганизмов), поэтому в дополнение к вышеуказанным стандартным методикам для выявления их воздействия образцы сплава Д16 помещали в водную питательную среду Чапека-Докса, зараженную плесневыми грибами, выделенными в естественных условиях, на 3 мес.

Испытания в естественных условиях влажного субтропического климата проводили по методикам ГОСТ [7] и СТП [4]. В соответствии с ГОСТ [7] образцы сплава Д16 закрепляли на каретке под углом 45 град и помещали в негерметичный стенд, представляющий собой металлический каркас в виде куба с ребром 1 м, сверху закрытый шиферной крышей и имеющий раздвигающиеся по бокам стенки, изготовленные из органического стекла, на 6 мес. Стенд с образцами находился на микологической площадке с трехъярусной растительностью в затененном месте.

Испытания, проводимые по методике СТП [4] в естественных условиях влажного субтропического климата, отличались от испытаний в лабораторных условиях по той же методике тем, что стеклянные емкости с образцами помещали не в термостат, а в стенд, описанный выше.

Результаты испытаний в лабораторных и естественных условиях представлены в табл. 1.

Таблица 1.

Микробиологические испытания сплава Д16
в лабораторных и естественных условиях

Метод испытаний	Грибостойкость, балл, при испытаниях	
	в лабораторных условиях	в естественных условиях
По ГОСТ [3]	4–5*	–
По СТП [4]	1–2**	1–2**
По ГОСТ [7]	–	2*
Испытания в среде с метаболитами	3***	–

* Оценка дана в соответствии с 6-балльной шкалой [5] (балл 0–5).

** Оценка дана в соответствии с 4-балльной шкалой [6] (балл 0–3).

*** Оценка дана в соответствии с 4-балльной шкалой [6] (балл 0–3).

– Испытания в данных условиях не проводились.

Испытания показали, что в лабораторных условиях наибольший рост микроорганизмов на образцах сплава Д16 наблюдается при испытаниях в воздушной среде по методике ГОСТ [3] и в среде Чапека-Докса, содержащей плесневые грибы и их метаболиты, наименьший – в среде топлива, зараженного микроорганизмами по методике СТП [4]. В естественных условиях влажного субтропического климата наблюдался менее интенсивный рост микроорганизмов: во влажной воздушной среде – 2 балла, в среде топлива с водно-минеральным раствором по методике ГОСТ [4] – 1–2 балла. По всей видимости, это связано с тем, что в лабораторных испытаниях микроорганизмы находились в более благоприятных для их развития условиях.

После микробиологических испытаний были проведены коррозионные исследования тех же образцов сплава Д16 по методике ГОСТ [8]. Воздействие микроорганизмов на коррозию образцов оценивали металлографическими методами [9] и [10] и по внешнему виду.

Результаты коррозионных испытаний образцов представлены в табл. 2. Установлено, что плесневые грибы усиливают коррозию образцов сплава Д16.

Металлографические исследования показали, что при воздействии плесневых грибов характер коррозии изменяется: наряду с местной коррозией возникает межкристаллитная и расслаивающая коррозия, которые являются наиболее опасными.

Таблица 2.

Результаты визуального осмотра образцов сплава Д16 и металлографических исследований на микробиологическую коррозию по трем методам

Метод испытаний	Состояние образцов
По ГОСТ [3]	Цвет побежалости. Коррозия на 50% площади в виде язв диаметром более 5 мм. Глубина очагов поражения 42 мкм
Среда с метаболитами	Сильное потемнение по всей поверхности. Питтинги и сквозные язвы диаметром 10 мм на 50% поверхности. Наблюдается расслаивающая и межкристаллитная коррозия
По СТП [4]	Цвет побежалости (темно-коричневый). Расслаивающая коррозия 3 балла. Язвы диаметром 10 мм. Глубина очагов поражения более 1 мм

Были проведены испытания прочностных свойств образцов сплава Д16 после экспозиции их в соответствующих средах (табл. 3). Установлено, что воздействие микроорганизмов и их метаболитов на образцы сплава Д16 во всех случаях приводит к увеличению скорости коррозии металла, что неминуемо ведет к потере его прочности. Воздействие на алюминиевый сплав Д16 оказывают как сами микроорганизмы, развиваясь на нем и используя его в качестве источника питания, так и их метаболиты, в основном представляющие собой органические кислоты, т. е. агрессивную среду с низким рН.

Таблица 3.

Результаты испытаний механических свойств

Среда	σ_b , кг/мм ²		Потери прочности, %	Потеря массы, г/м ² за сут
	до коррозии	после коррозии		
Водная среда с метаболитами	47,50	47,12	0,8	5,0
Воздушная среда по [3], [7]	47,50	46,92	1,3	2,0
Топливная среда по [4]	47,50	47,20	0,6	3,1

Результаты проведенных исследований продемонстрировали возможность оценки воздействия микроорганизмов на потерю механических свойств алюминиевого сплава Д16 в результате коррозионных поражений.

На основании проведенных исследований была разработана новая методика испытаний металлических материалов на воздействие плесневых грибов [11]. Она включает три метода испытаний, которые позволяют

исследовать микробиологическую коррозию более полно:

– метод I – заражение предварительно очищенных от внешних загрязнений образцов суспензией спор плесневых грибов и последующее выдерживание в условиях, оптимальных для их развития; метод предназначен для испытаний материалов, эксплуатирующихся в атмосферных условиях;

– метод II – выдерживание образцов в жидкой питательной среде, зараженной плесневыми грибами, при этом метаболиты грибов непосредственно влияют на поверхность материала; метод предназначен для исследования материалов, эксплуатирующихся в условиях, где возможен сильный рост и развитие микроорганизмов (в местах скопления конденсата, в контакте с негрибостойкими материалами);

– метод III – выдерживание образцов в топливно-водной среде, зараженной спорами микроорганизмов; метод предназначен для испытаний материалов, входящих в конструкции топливных систем.

Критериями оценки являются степени роста плесневых грибов на образцах, коррозии и изменения физико-механических характеристик. Выбор метода испытаний определяется в соответствии с условиями эксплуатации металлических материалов в составе изделия.

Выбор метода испытаний определяется в соответствии с условиями эксплуатации металлических материалов в составе изделия.

Список литературы:

1. Актуальные вопросы биоповреждений / Под ред. Бочарова В.В. – М.: Наука, 1983.
2. Ильичев В.Д. Биоповреждения. – М.: Наука, 1989.
3. ГОСТ 9.049 «ЕСЗКС. Материалы полимерные и их компоненты. Методы лабораторных испытаний на устойчивость к воздействию плесневых грибов».
4. СТП 1.595-20-355–2001 «Материалы, металлические и неметаллические. Метод определения стойкости к микробиологическому поражению в топливах».
5. ГОСТ 9.048 «ЕСЗКС. Изделия технические. Метод испытаний на устойчивость к воздействию плесневых грибов».

6. ГОСТ 9.023 «ЕСЗКС. Топлива нефтяные. Метод лабораторных испытаний биостойкости топлив, защищенных противомикробными присадками».
7. ГОСТ 9.053 «ЕСЗКС. Материалы полимерные. Метод испытания в природных условиях в атмосфере на микробиологическую стойкость».
8. ГОСТ 9.017 «ЕСЗКС. Алюминий и сплавы алюминиевые. Методы ускоренных испытаний на общую коррозию»
9. ГОСТ 9.021 «ЕСЗКС. Алюминий и сплавы алюминиевые. Методы ускоренных испытаний на межкристаллитную коррозию».
10. ГОСТ 9.904 «ЕСЗКС. Сплавы алюминиевые. Методы ускоренных испытаний на расслаивающую коррозию».
11. ММ 1.595-20-175–2003 «Проведение испытаний металлических материалов к воздействию плесневых грибов в лабораторных условиях». – М.: ВИАМ, 2003.