



Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования  
Национальный исследовательский технологический университет  
«МИСиС»

**«Утверждаю»**

Проректор,  
проф., д.т.н.



Филонов М. Р.

15.07.2015

**Заключение № 033/15-503**

**«Исследование коррозионной стойкости и долговечности  
материалов, применяемых в навесных фасадных  
системах «DoksAl»**



## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Научный руководитель,  
заведующий кафедрой защиты  
металлов и технологии поверхности,  
проф., д.т.н.



Дуб Алексей Владимирович

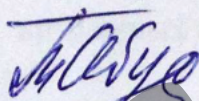
Ответственный исполнитель



Волкова Ольга Владимировна

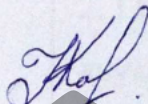
Исполнители:

зав. лабораторией ЗМиТП



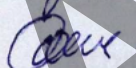
Обухова Татьяна Анатольевна

научный сотрудник



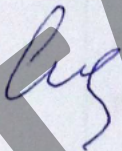
Ковалев Александр Федорович

научный сотрудник



Шевейко Ольга Владимировна

инженер, к.х.н.



Сафонов Иван Александрович

AL-FAS.RU



Заявитель	ООО «ДОКСАЛ-ПРОЕКТ»
Основание для проведения испытаний	Договор № 033/15-503 от июнь 2015
Дата проведения испытаний	начало 05 июня 2015 г. окончание 05 июля 2015 г
Задачи испытаний	Проверить качество и дать оценку коррозионного состояния материалов навесных фасадных систем (НФС) «DoksAl» при воздействии сред разной степени агрессивности
Описание элементов системы	<p>Детали систем «DoksAl», согласно спецификациям элементов из альбома технических решений, изготовлены из:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- алюминиевых сплавов (направляющие, кронштейны, заклепки);</li> <li>- коррозионностойких сталей (кляммеры, заклепки, самонарезающие винты);</li> <li>- низкоуглеродистой стали с дополнительной антикоррозионной защитой (анкерные болты).</li> </ul>
Результаты исследований	Заключение № 033/15-503



Для анализа материалов, применяемых для изготовления навесных фасадных систем (НФС) "DoksAl", на предмет оценки коррозионной стойкости были использованы следующие материалы и документы:

1. Альбомы технических решений конструкций навесных фасадных систем с воздушным зазором "DoksAl":
  - 1.1. Конструкции **DVF-11** – для облицовки плитами из керамогранита с видимым креплением.
  - 1.2. Конструкции **DVF-21** – для облицовки металлокомпозитными кассетами со скрытым креплением.
  - 1.3. Конструкции **DVF-31** – для облицовки керамогранитными, натурально-гранитными, агломератно-гранитными и керамическими плитами (терракота) со скрытым креплением.
  - 1.4. Конструкции **DVF-31(2)** – для облицовки фиброцементными и асбестоцементными панелями, HPL-панелями, фасадными панелями из минеральной (каменной) ваты с видимым и скрытым креплением.
  - 1.5. Конструкции **DF-01** – крепление к сэндвич-панелям.
2. ГОСТ 22233-2001 Профили прессованные из алюминиевых сплавов для светопрозрачных ограждающих конструкций. Технические условия.
3. ГОСТ 4986-79 «Лента холоднокатаная из коррозионно-стойкой и жаростойкой стали. Технические условия».
4. ГОСТ 15150-69 "Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды".
5. ГОСТ 9.039-74 «Коррозионная агрессивность атмосферы».
6. Свод правил СП 28.13330.2012 «Защита строительных конструкций от коррозии» (актуализированная редакция СНиП 2.03.11-85).

**Цель работы:** определить коррозионную стойкость и долговечность навесной фасадной системы «DoksAl» (типы систем представлены в табл.1) в условиях неагрессивных, слабо и среднеагрессивных сред.



Таблица 1.

<p>• <b>Конструкция DVF-11 с облицовкой плитами из керамогранита с видимым креплением</b></p> <p>Кронштейны, удлинители кронштейнов, направляющие, закладные, соединители из алюминиевых сплавов 6060Т6 (Т66); 6063Т6 (Т66)</p> <p>Кляммеры из коррозионностойких сталей 08Х18Н10 (АISI 304), 12(08)Х18Н10Т (АISI 321), 12Х15Г9НД (АISI 201), АISI 430.</p> <p>Заклепки из алюминиевого сплава с сердечником из коррозионностойкой стали.</p> <p>Заклепки, винты самонарезающие из коррозионностойкой стали А2/А2.</p> <p>Анкеры, фасадные дюбели.</p>	<p>• <b>Конструкция DVF-21 с облицовкой металлокомпозитными кассетами</b></p> <p>Кронштейны, удлинители кронштейнов, направляющие, салазки, зацепы, икли, закладные, соединители из алюминиевых сплавов 6060Т6 (Т66); 6063Т6 (Т66)</p> <p>Заклепки из алюминиевого сплава с сердечником из коррозионностойкой стали.</p> <p>Заклепки, винты самонарезающие из коррозионностойкой стали А2/А2.</p> <p>Анкеры, фасадные дюбели.</p>
<p>• <b>Конструкция DVF-31 с облицовкой керамогранитными, натурально-гранитными, агломератно-гранитными и керамическими плитами (терракота) со скрытым креплением</b></p> <p>Кронштейны, удлинители кронштейнов, направляющие, закладные, соединители, кляммеры, аграфы из алюминиевых сплавов 6060Т6 (Т66); 6063Т6 (Т66).</p> <p>Кляммеры из коррозионностойких сталей 08Х18Н10 (АISI 304), 12(08)Х18Н10Т (АISI 321).</p> <p>Заклепки из алюминиевого сплава с сердечником из коррозионностойкой стали.</p> <p>Заклепки, винты самонарезающие из коррозионностойкой стали А2/А2.</p> <p>Анкеры, фасадные дюбели.</p>	<p>• <b>Конструкция DVF-31(2) с облицовкой фиброцементными, асбестоцементными панелями, HPL-панелями, фасадными панелями из минеральной (каменной) ваты</b></p> <p>Кронштейны, комплектующие профили, аграфы, соединители, закладные из алюминиевых сплавов 6060Т6 (Т66); 6063Т6 (Т66).</p> <p>Заклепки из алюминиевого сплава с сердечником из коррозионностойкой стали.</p> <p>Заклепки, винты самонарезающие из коррозионностойкой стали А2/А2.</p> <p>Анкеры, фасадные дюбели.</p>

Настоящее Заключение составлено на основании результатов лабораторных и натурных испытаний, проведенных на кафедре «Защиты металлов и технологии поверхности», по проверке устойчивости к атмосферной коррозии деталей, изготовленных из алюминиевых сплавов 6060Т6 (Т66) и 6063Т6 (Т66), коррозионностойких и оцинкованных сталей.

### *Результаты исследования*

В соответствии с данными, представленными в технической документации, исследуемые фасадные системы «DoksAl» предназначены для решения комплекс-





ных задач по облицовке и утеплению наружных стен зданий и сооружений различного назначения.

Эксплуатация исследуемых фасадных систем предполагается в различных климатических зонах, в том числе г. Москве и г. Санкт-Петербурге. Для анализа коррозионной стойкости принято исполнение деталей, работающих в условиях умеренного климата под навесом, в соответствии с ГОСТ 15150-69 «Машины, приборы и другие технические изделия. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды» при воздействии воздушных слабо- и среднеагрессивных сред в соответствии с СП 28.13330.2012. Тип атмосферы определяется по концентрации диоксида серы и хлоридов (табл.2).

Таблица 2. Содержание в атмосфере коррозионно-активных агентов

Тип атмосферы		Содержание коррозионно-активных компонентов
Обозначение	Наименование	
I	Условно-чистая	Диоксид серы не более 0,025 мг/м <sup>3</sup> Хлориды менее 0,3 мг/м <sup>2</sup> сут
II	Промышленная	Диоксид серы от 0,025 до 0,31 мг/м <sup>3</sup> Хлориды менее 0,3 мг/м <sup>2</sup> сут
III	Морская	Диоксид серы не более 0,025 мг/м <sup>3</sup> Хлориды от 30 до 300 мг/м <sup>2</sup> сут
IV	Приморско-промышленная	Диоксид серы от 0,025 до 0,31 мг/м <sup>3</sup> Хлориды от 0,3 до 30 мг/м <sup>2</sup> сут

Основные узлы подконструкций системы "DoksAl" (табл.1, рис.1) состоят из:

1. Кронштейнов, направляющих и элементов, согласно спецификациям из альбома технических решений, изготовленных из алюминиевых сплавов 6060Т6 и 6063Т6 (состав сплавов по ГОСТ 22233-2001 приведен в табл.3).

Таблица 3.

Химический состав алюминиевых сплавов EN 6060 и EN 6063

Элемент	Алюминиевый сплав EN 6060	Алюминиевый сплав EN 6063
Al	Основа	Основа
Fe	0.1 - 0.3	0.15 - 0.35
Si	0.3 - 0.6	0.3 - 0.6
Mg	0.35 - 0.6	0.6 - 0.9
Mn	< 0.1	< 0.1
Ti	< 0.1	< 0.1
Cu	< 0.1	< 0.1
Zn	< 0.15	< 0.15
Cr	<0,05	<0,05



2. Кляммеров (для системы DVF-11) из коррозионностойких сталей AISI 321 (08X18H10T и 12X18H10T); AISI 304 (08X18H9 и 08X18H10), AISI 201 (12X15Г9НД), AISI 430 (12X17).

3. Крепежных элементов:

- заклепок из алюминиевых сплавов и коррозионностойкой стали А2;
- самонарезающих винтов из коррозионностойкой стали А2;
- анкерных дюбелей (для крепления кронштейнов) из низкоуглеродистых сталей с дополнительными антикоррозионными покрытиями и коррозионностойкой (А2) стали.

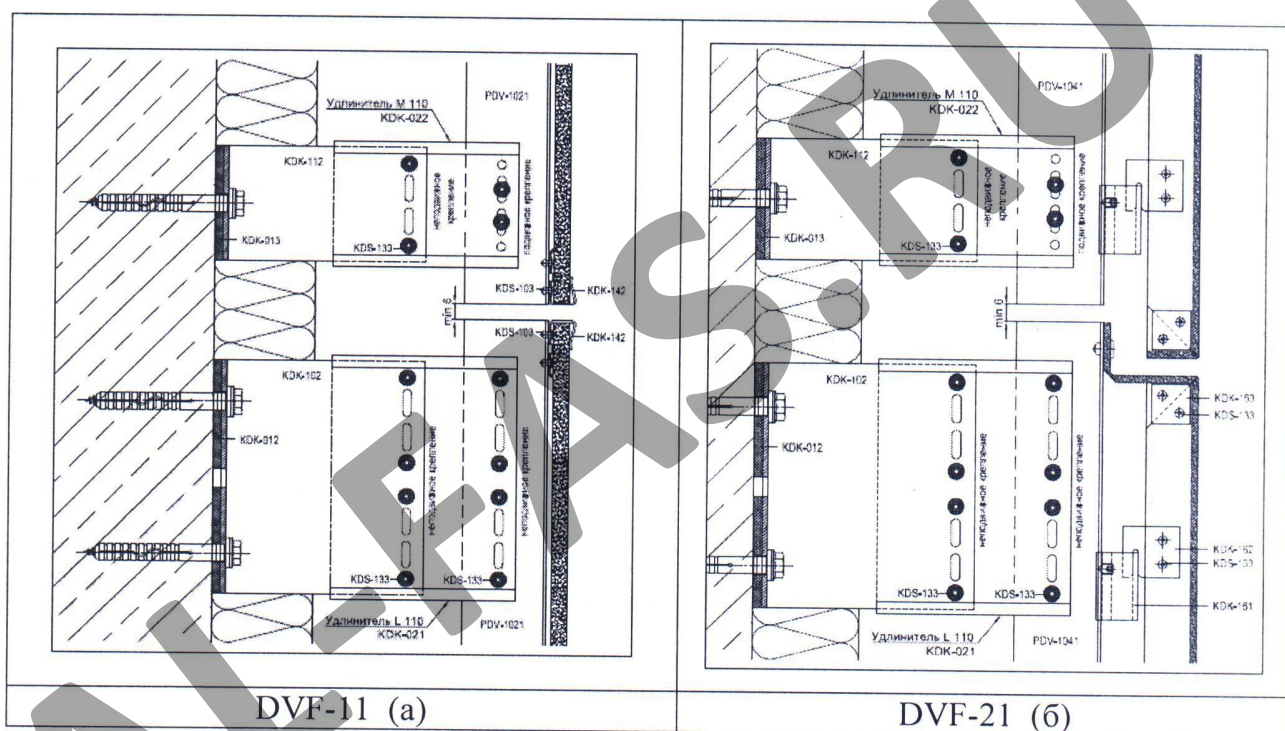


Рис.1. Общий вид узлов крепления навесных фасадных систем DVF-11 (а) и DVF-21 (б)

Экспертиза технических решений по антикоррозионной защите металлических элементов фасадной системы проведена в соответствии со Сводом правил СП 28.13330.2012 (СНиП 2.03.11-85).

Кронштейны и направляющие (рис.2 а, б, в) изготовлены из алюминиевых сплавов EN 6060T6 (Т66) и EN 6063T6 (Т66) (ГОСТ 22233-2001) закаленных и состаренных, что соответствует рекомендациям СНиП 2.03.06-85 «Алюминиевые конструкции». Несмотря на то, что алюминий является сильно электроотрицательным металлом ( $E_{\text{равн}} = -1,67\text{В}$ ), он достаточно устойчив в городских атмосферах с пониженным содержанием хлоридов вследствие большой склонности к пассиви-

*Вас*



рованию. Кроме того, в состав исследуемого сплава входит магний, который увеличивает защитный эффект пассивации поверхности, тем самым повышая коррозионную стойкость деталей.

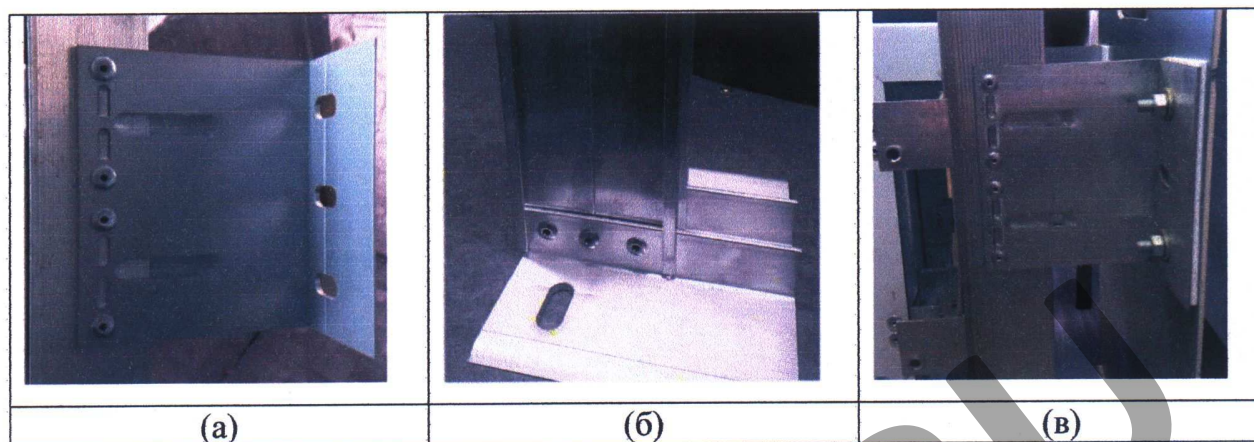


Рис. 2 Внешний вид элементов несущих конструкций систем Doksa1

Коррозионная стойкость алюминиевых сплавов определяется преимущественно локальной коррозией, которая в зависимости от структуры развивается избирательно по границам зерен, вдоль интерметаллических фаз и т.п. Как показали длительные испытания, независимо от характера распространения коррозии ее скорость для алюминиевых сплавов уменьшается во времени, что обусловлено образованием продуктов коррозии, которые препятствуют взаимодействию участков металла, подвергнутого коррозии, с агрессивной средой.

Эксплуатация исследуемой фасадной системы предполагается в средах слабой агрессивности в соответствии с СП 28.13330.2012 в условиях умеренного и холодного климата по ГОСТ 15150-69, в частности, применительно к условиям г. Москвы.

Исследуемые алюминиевые сплавы 6060Т6 и 6063Т6 в вышеуказанной среде является коррозионностойким материалом, который не склонен к локальным видам коррозии, таким как межкристаллитная (МКК) и расслаивающая. Однако, в атмосферных условиях алюминиевые сплавы подвергаются не только поверхностной (общей), но и точечной коррозии (рис. 3).

Точечные повреждения невелики по размерам, а скорость их развития может тормозиться со временем настолько, что становится близкой к нулю. Вышеуказанный тип коррозии является частным характерным для начальной стадии процесса явлением, когда значительная часть поверхности находится в пассивном состоя-



нии. Такое состояние обычно реализуется при эксплуатации алюминия в атмосферных условиях.

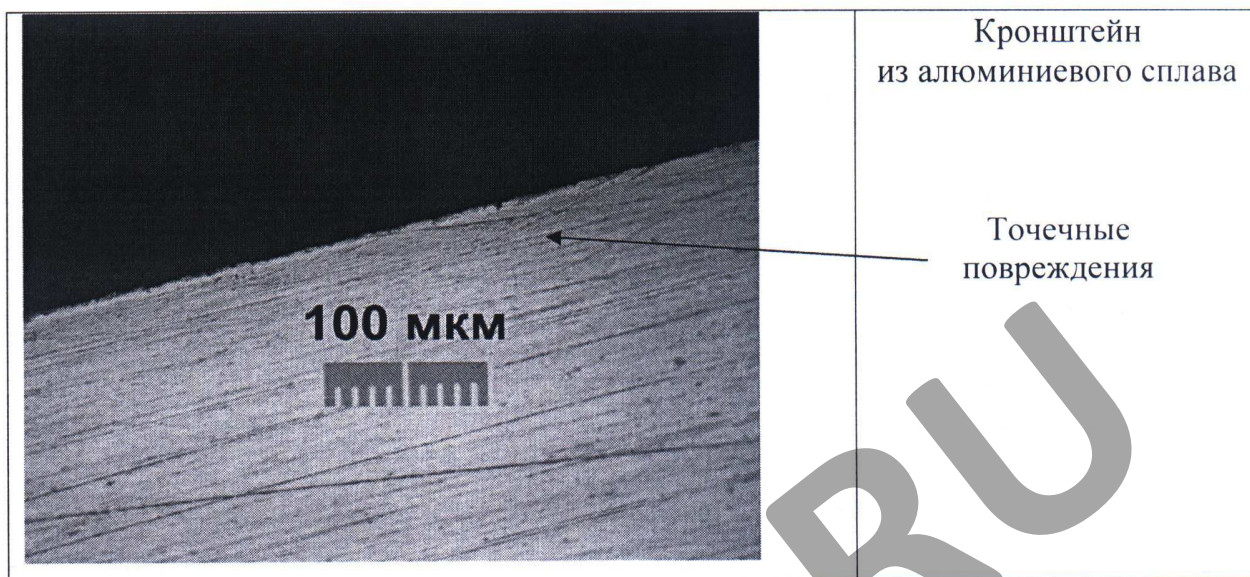


Рис.3. Состояние материала алюминиевых деталей после испытаний в камере влажности.

Анализ характера и глубины повреждений материала деталей свидетельствует о том, что средняя (за время эксплуатации) общая скорость коррозии алюминиевых сплавов 6060 и 6063 составляет не более 0,05 мкм/год.

Таким образом, алюминиевые сплавы 6060Т6 (Т66) и 6063Т6 (Т66) в средах слабой агрессивности устойчивы к общей и локальным видам коррозии и могут эксплуатироваться в составе подконструкций НФС в течение не менее 50 лет без дополнительных мер противокоррозионной защиты.

Эксплуатация исследуемой фасадной системы предполагается в средах средней агрессивности в соответствии с СП 28.13330.2012 во влажном умеренном климате, в частности, применительно к условиям г. Санкт-Петербурга при средней продолжительности увлажнения поверхности до 3000-4000 ч/год и воздействии агрессивных газов с пониженной концентрацией хлоридов.

В камере сернистого газа (рис.4), имитирующей среднеагрессивную среду, в материале алюминиевых деталей выявлена равномерно-язвенная коррозия, причем повреждения репассивированы (имеют округлую форму) и, как следствие, не провоцируют развитие МКК.



Применение алюминиевых сплавов в контакте с оцинкованной и коррозионно-стойкой сталями в средах слабой агрессивности не требует специальных мер, включающих контактную коррозию.

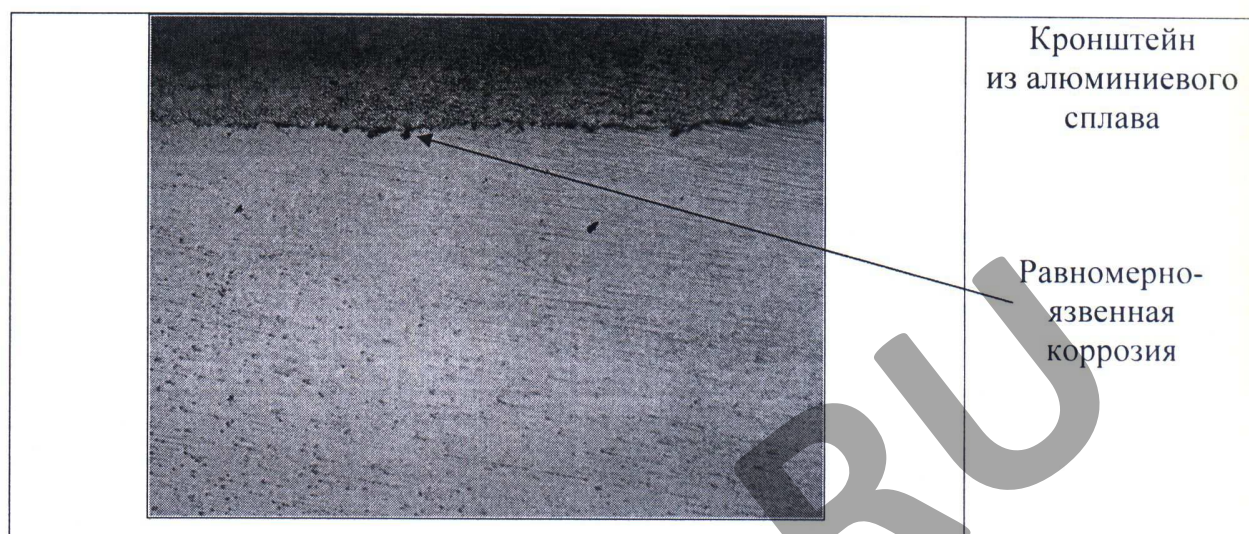


Рис.4 Состояние материала алюминиевых деталей после испытаний в камере сернистого газа.

Скорость коррозии исследуемых алюминиевых сплавов в городских средах средней агрессивности, в частности, применительно к условиям г. Санкт-Петербурга, составляет 0,07-0,1 мкм/год, следовательно, для исследуемых фасадных систем допустимо рекомендовать безремонтный срок службы в городской промышленной среде средней агрессивности не менее 50 лет.

Эксплуатация исследуемых систем предполагается в умеренном теплом влажном климате с мягкой зимой при повышенном содержании хлоридов (тип атмосферы III). Как показали проведенные исследования, в приморских средах (при повышенном содержании хлоридов) алюминиевые сплавы 6060Т6 с содержанием железа менее 0,3 % не склонны к межкристаллитной коррозии в хлоридсодержащих средах. После испытаний на склонность к МКК в материале деталей выявлены отдельные язвенные повреждения глубиной не более 10 мкм.

Сплавы 6063Т6 склонны к питтинговой коррозии (рис.3), механизм которой заключается в нарушении пассивного состояния при достижении потенциала пробы в отдельных точках. Питтинговая коррозия является наиболее распространенным видом коррозионных повреждений в хлорсодержащих средах. Она особенно опасна, когда начинает развиваться по границам зерен и переходит в межкристаллитную, которая наиболее значительно ухудшает прочностные характеристики алю-



миниевых сплавов. Развитие коррозии в глубину металла имеет сложный характер, что связано с изменением путей ее распространения. На первой стадии при преимущественно транскристаллитном развитии, т.е. по тоннельно-кристаллографическим путям, скорость продвижения относительно невелика. При переходе к межграничному механизму скорость коррозии резко возрастает.

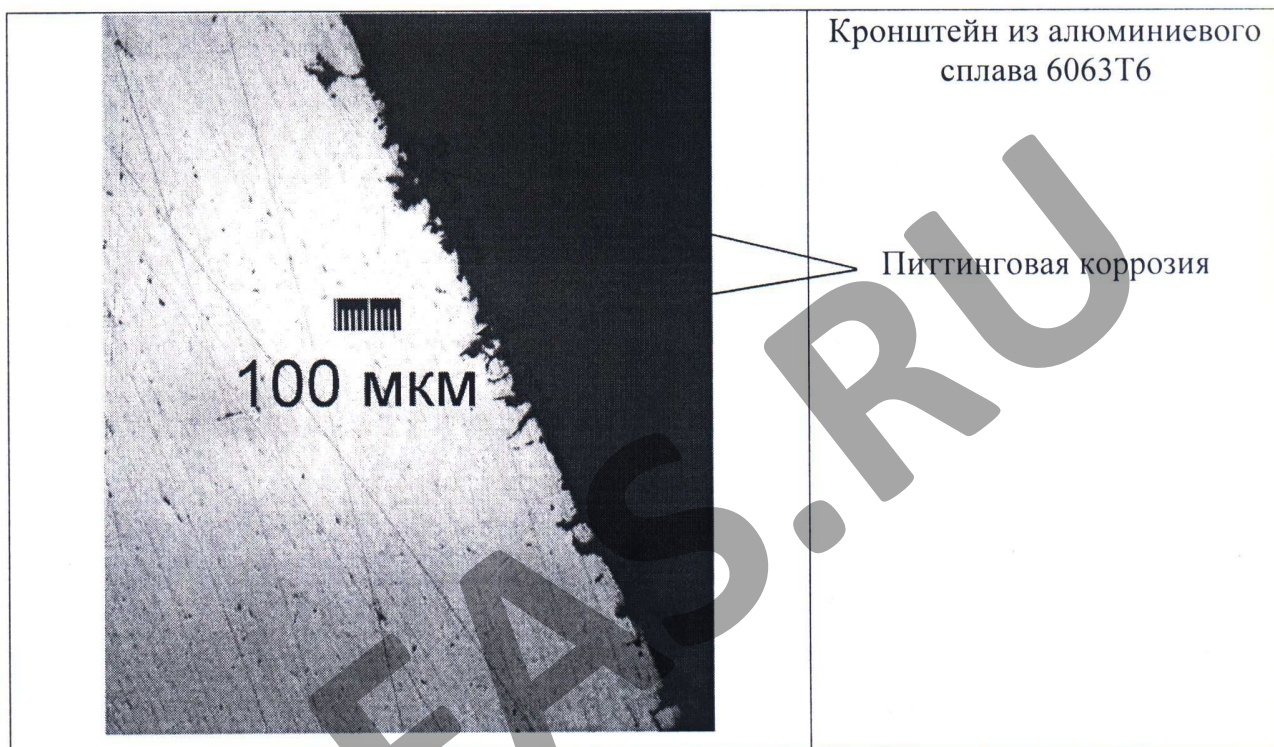


Рис.3. Состояние материала алюминиевых деталей из сплава 6063Т6 в зоне контакта с коррозионностойкой сталью после испытаний в камере соляного тумана.

Непосредственный контакт алюминиевого сплава с коррозионностойкой сталью в среднеагрессивной среде может спровоцировать начало межкристаллитной коррозии на локальных «контактных» участках. Наиболее уязвимыми участками подконструкции следует считать соединение алюминиевой направляющей и кляммера из коррозионностойкой стали. В случае нарушения влажностного режима внутри подконструкции (появление конденсата) поверхность участка направляющей под кляммером может корродировать более интенсивно по сравнению с остальной поверхностью профиля. Следовательно, для длительной эксплуатации подобной комбинации материалов в средах средней агрессивности для предотвращения коррозионного повреждения алюминиевого сплава следует рекомендовать



изоляцию профиля и кляммера в месте сопряжения путем окрашивания последнего.

Контакт алюминиевый сплав - коррозионностойкая сталь с минераловатным или стекловатным утеплителем в условиях конденсации влаги создает дополнительную коррозионно-агрессивную среду, что вызывает местное повреждение алюминиевых сплавов, усиление коррозионных процессов и соответственно уменьшению срока эксплуатации системы в целом. Следовательно, в местах крепления сборных алюминиевых кронштейнов, находящихся в зоне утеплителя, заклёпками из коррозионностойкой стали (рис. 2 б - сборный кронштейн), для обеспечения указанных в выводах сроков эксплуатации системы необходимо либо применение заклёпок из алюминиевых сплавов, либо проведение дополнительных мер по изоляции вышеуказанного контакта посредством анодирования или окраски алюминиевых деталей.

В приморских средах исследуемые алюминиевые сплавы устойчивы к общей, но чувствительны к локальным видам коррозии, следовательно, безремонтный срок службы анализируемой фасадной системы в городских приморских средах средней агрессивности составит порядка 40 лет для сплава 6060Т6 и 30 лет для сплава 6063Т6. Для обеспечения максимально длительной не менее 50 лет безаварийной эксплуатации в вышеуказанных средах навесных фасадных систем, изготовленных из алюминиевых сплавов, рекомендуется использование дополнительных мер противокоррозионной защиты в виде как анодных, так и атмосферостойких полимерных покрытий, соответствующих требованиям ГОСТ 52146-2003, в частности, покрытия полиэстр, порошковое и т.д.

Кляммеры. В соответствии с альбомом технических решений для изготовления кляммеров в системе DVF-1 используется коррозионностойкая сталь по ГОСТ 4986-79. Для длительной эксплуатации системы рекомендуется применение кляммеров, изготовленных из сталей аустенитного класса, таких как 08X18H10 (AISI 304, AISI 304L), 12X18H10T (AISI 321), 12X15Г9НД (AISI 201).

Вышеуказанные стали относятся к классу коррозионностойких аустенитных сталей. Стали после закалки имеют однородное строение аустенита. Однако, при изготовлении деталей сталь подвергается деформации при механической обработке, что приводит к частичному фазовому превращению  $\gamma$ -аустенита в мартенсит и



рассматриваемые стали могут иметь двухфазную аустенитно-мартенситную структуру, вследствие чего при конденсации влаги в них могут происходить процессы электрохимической коррозии за счет работы микрогальванических элементов, что объясняет появление следов ржавчины на срезах деталей.

При применении ферритных сталей типа AISI 430 с целью повышения коррозионной стойкости на наружную поверхность кляммеров, со стороны подконструкции фасада, рекомендуется наносить защитное покрытие.

Заклепки, применяемые для соединения направляющих и кронштейнов, должны быть изготовлены из алюминиевых сплавов типа АМГ или других марок, разрешенных СНиП 2.03.06-86, в том числе с сердечником из коррозионностойких сталей. При оценке длительности эксплуатации заклепочного соединения следует учитывать лишь скорость коррозии материала заклепки, так как из-за значительной разницы в толщине стенок гильзы заклепки (до 0,5 мм) и алюминиевой пластины (3-5 мм) гильза разрушится быстрее, чем более толстостенная деталь. В слабоагрессивных средах контакт между алюминиевыми сплавами различного состава вполне допустим, следовательно, применение заклепок из алюминиевых сплавов типа АМГ для крепления направляющих и кронштейнов из сплавов типа 6060Т6, 6063Т6 в исследуемых конструкциях не приведет к возникновению контактной коррозии между ними. Материал сердечника - коррозионностойкая сталь не оказывает влияния на коррозионные процессы в материале гильзы (алюминиевого сплава) заклепки, что связано с практическим отсутствием коррозионной среды в зоне контакта гильза-сердечник.

Элементы крепления. В соответствии с проектной документацией для изготовления крепежных элементов используются коррозионностойкие стали А2 (болты, гайки, шайбы, заклепки, анкерные болты) или А4 (анкерные болты) по ГОСТ 5632-72. В средах слабой и средней степени агрессивности в системе возможно использование анкерных болтов, изготовленных из углеродистой стали с дополнительными антикоррозионными покрытиями, рекомендованными ФЦС.

Таким образом, с учетом проведенных исследований и требований СП 28.13330.2012 (СНиП 2.03.11-85) рекомендуется применять алюминиевые сплавы 6060Т6 (Т66) и 6063Т6 (Т66) без дополнительных мер противокоррозионной защиты



для изготовления несущих конструкций НФС «DoksAl» для эксплуатации в средах слабой и средней агрессивности.

### **Выводы**

1. В результате проведенных исследований, оценки качества и скорости коррозии материалов элементов навесных фасадных систем «DoksAl» установлено, что системы относительно устойчивы к атмосферной коррозии и могут эксплуатироваться:

- в условиях слабо- и среднеагрессивных (при повышенной влажности и(или) содержании сернистого газа) сред сроком не менее 50 лет;
- приморской городской среды средней агрессивности (при повышенной влажности и содержании хлоридов) сроком порядка 40 лет – для сплава 6060Т6 (Т66) и порядка 30 лет – для сплава 6063Т6 (Т66).

2. Для увеличения долговечности алюминиевых деталей подконструкции навесных фасадных систем «DoksAl» при эксплуатации в приморских городских средах рекомендуется дополнительная защита алюминиевых элементов противокоррозионными анодными или полимерными покрытиями, применение которых увеличивает срок службы системы на 15-25 лет.

3. После вышеуказанных сроков необходимо предусмотреть возможность периодических осмотров несущей конструкции с целью оценки коррозионного состояния материалов для дальнейшей эксплуатации системы.

Отв. исп. Волкова О.В., научный сотрудник  
каф. ЗМиТП  
Тел.: 8(495) 951-22-34  
e-mail: mail@expertcorr.misis.ru

