



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

**«Утверждаю»**

Проректор по науке и инновациям,  
проф., д.т.н.



Филонов М. Р.

11.03.2019

## **Заключение № 131/18-501**

**«Исследование коррозионной стойкости к долговечности  
алюминиевых профилей-полуфабрикатов (PRESS), с  
анодно-оксидным (ANOD) и полимерным (RAL) покрытиями  
при воздействии сред слабой и средней степеней агрессивности»**

## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Научный руководитель,  
Заведующий кафедрой металлургии  
стали и защиты металлов,  
проф., д.т.н.

Дуб Алексей Владимирович

Ответственный исполнитель,  
научный сотрудник, к.т.н.

Волкова Ольга Владимировна

Исполнители:

зав. лабораторией МЗМ

Обухова Татьяна Анатольевна

доцент, к.х.н.

Сафонов Иван Александрович

научный сотрудник

Ковалев Александр Федорович

научный сотрудник

Шевейко Ольга Владимировна

инженер I категории, к.т.н.

Шибаета Татьяна Владимировна

Заявитель	АО «Системный алюминий»
Основание для проведения испытаний	Договор №131/18-501 от 07 ноября 2018 г.
Задачи испытаний	Определение коррозионной стойкости и оценки срока службы алюминиевых профилей-полуфабрикатов марки AISI 6063 с защитными покрытиями при воздействии сред слабой и средней степеней агрессивности
Образцы	Профили из алюминиевого сплава AISI 6063: - без дополнительной защиты; - с защитно-декоративными покрытиями (анолю-оксидным, порошково-полимерным)
Испытательное оборудование	- камера влажности (КВ); - камера сернистого газа (КСГ); - камера соляного тумана (КСГ); - климатическая камера (КК); - бинокулярный микроскоп МБС-200; - металлографический комплекс «Альтами МЕТ»
Результаты исследований	Заключение № 131/18-501

**Цель работы:** определение коррозионной стойкости алюминиевого сплава AISI 6063 без дополнительной защиты и с защитно-декоративными покрытиями при воздействии сред слабой и средней степеней агрессивности с прогнозированием сроков службы при условии сохранения эксплуатационных и эстетических свойств материалов.

**Образцы для испытаний:** на исследование предоставлены образцы профилей из алюминиевого сплава AISI 6063 без покрытия, с анодно-оксидным (ANOD) и полимерным (RAL) покрытиями.

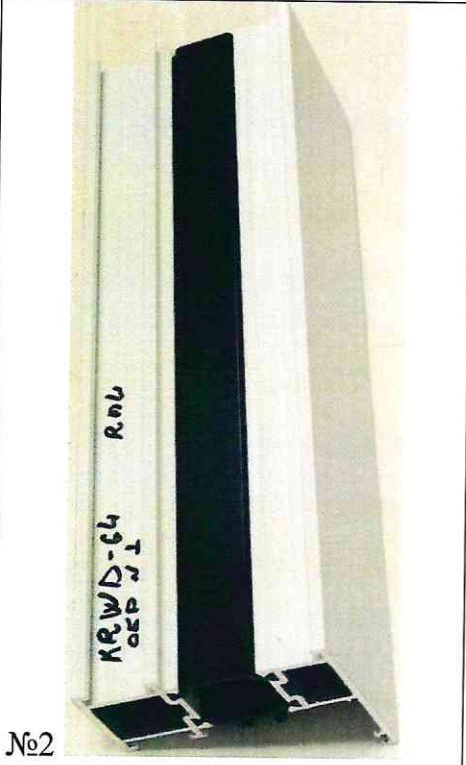
**Подготовка и изготовление образцов:** осуществлялись Заказчиком.

Описание исследуемых образцов и методы их испытаний представлены в таблице 1; внешний вид профилей, поступивших на исследование, - на рисунке 1.

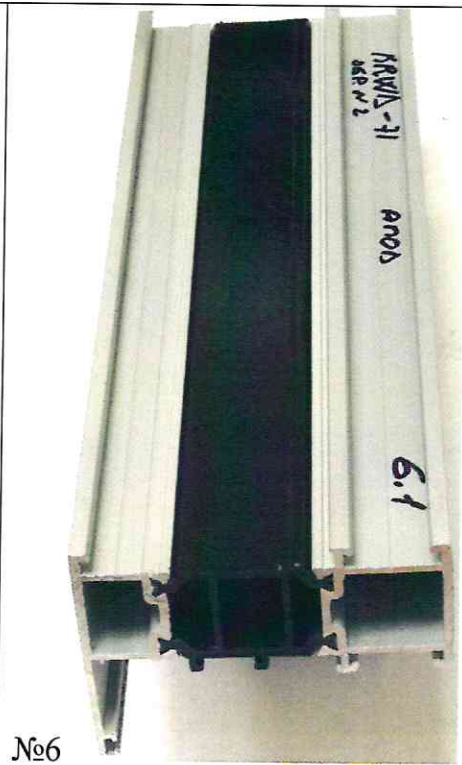
Таблица 1 – Маркировка, описание и методы испытаний исследуемых образцов

№ образца	Система	Покрытие	Испытания
1	KRWD-64	Без покрытия	КВ
2		Ral	Метод 6
3		Anod	КСГ
4	KRWD-71	Без покрытия	КСГ
5		Ral	КВ
6		Anod	КСГ
7	KRWD-45	Без покрытия	КВ
8		Ral	КК
9		Anod	КСГ
10	KRF-50	Без покрытия	КСГ
11		Ral	КСГ
12		Anod	КСГ
13	P-400	Без покрытия	КСГ
14		Ral	Метод 9
15	KRVF	Без покрытия	КСГ, КСТ
16	KRLS-64	Без покрытия	КСГ
17		Ral	Метод Б, КСТ
18		Anod	КВ, КСТ

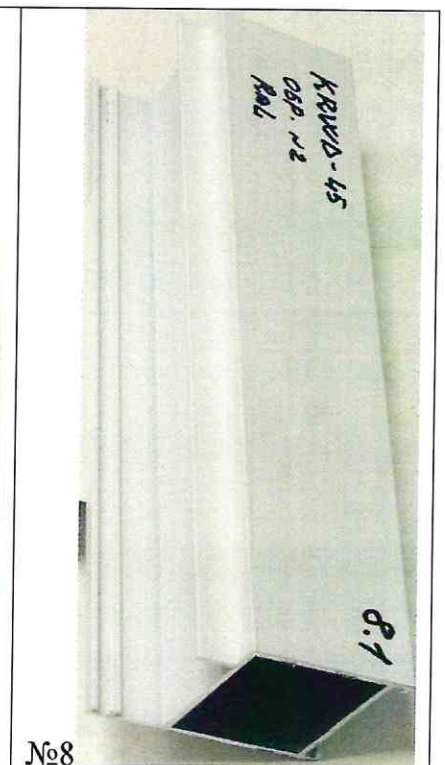




№2



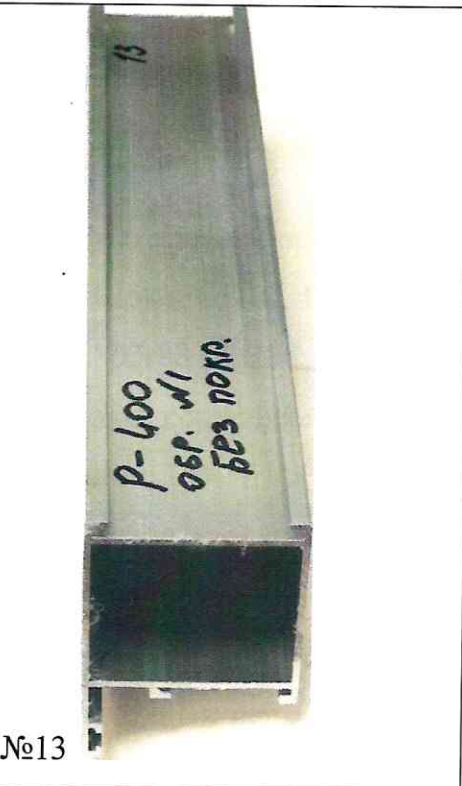
№6



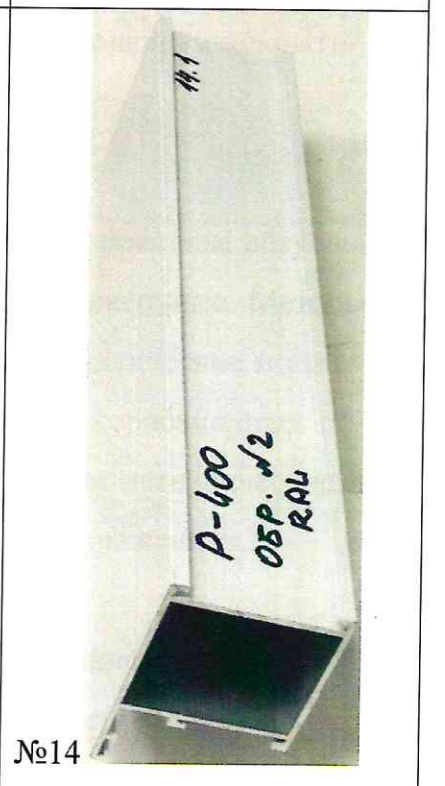
№8



№10



№13



№14

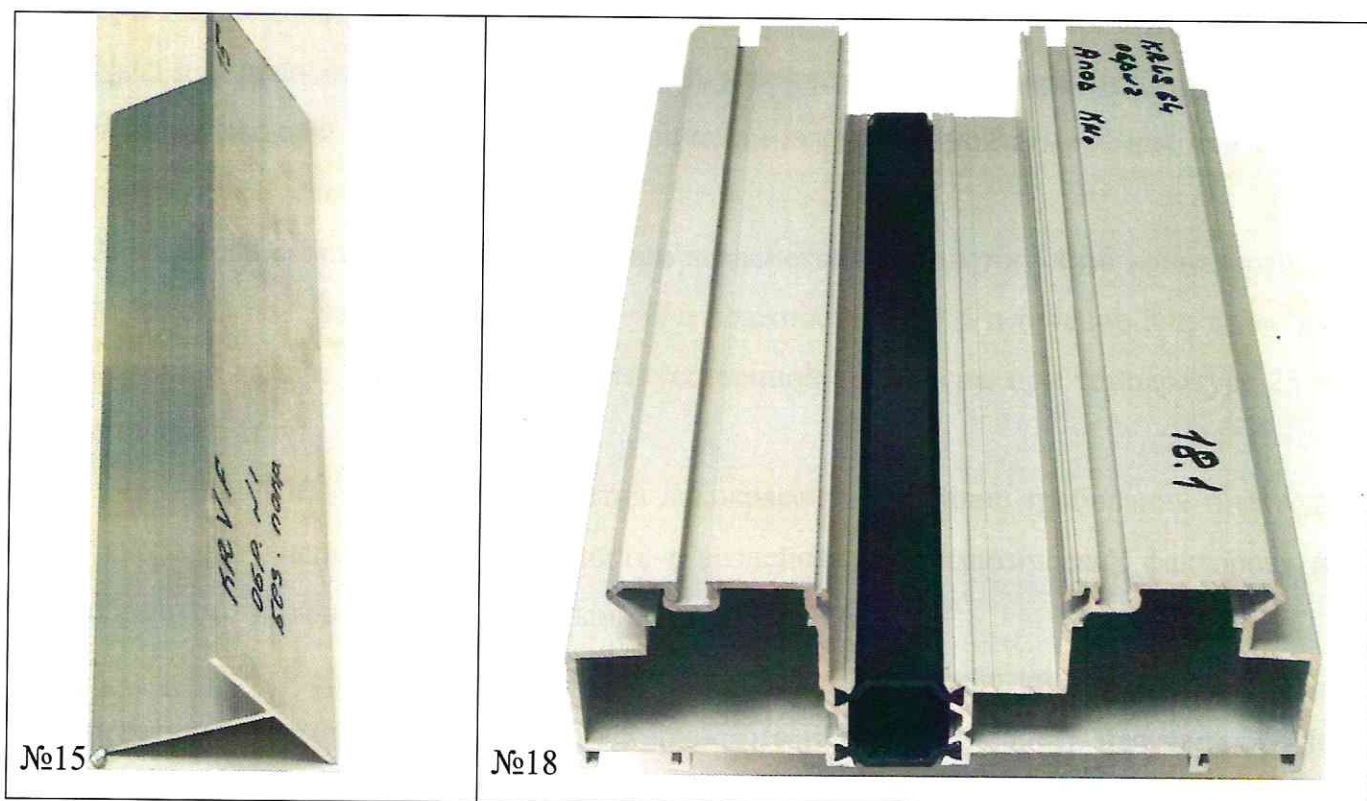


Рис. 1 Внешний вид профилей в состоянии поставки: без покрытия (№10, № 13, №15), с анодно-оксидным (ANOD) покрытием (№6, №18), с полимерным покрытием (№2, №8, №14)

#### Методики исследований:

1. Оценка внешнего вида до, во время и после испытаний проведена визуально в соответствии с ГОСТ 9.407-2015 «ЕСЗКС. Покрытия лакокрасочные. Методы оценки внешнего вида» и ГОСТ 9.302-88 «ЕСЗС. Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Методы контроля» п.2. Степень коррозионных повреждений оценивали в соответствии с ГОСТ 9.311-87 «Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Метод оценки коррозионных поражений».

2. Ускоренные коррозионные испытания проведены по:

2.1. ГОСТ 9.308-85 "Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Методы ускоренных коррозионных испытаний" в течение 720 ч (30 суток). Циклические коррозионные испытания проведены в испытательных камерах по следующим режимам (1 цикл):

1) в камере влажности (КВ) при относительной влажности 98 % и температуре в камере 40 °С в течение 8 ч, далее выдержка в камере при отключении искусственной атмосферы при температуре 25 °С в течение 16 ч;

*Handwritten signature*



2) в камере соляного тумана (КСТ) при периодическом распылении 3 %-го раствора NaCl при относительной влажности 98 % и температуре в камере 40 °С в течение 8 ч, далее выдержка в камере при отключении искусственной атмосферы при температуре 25 °С в течение 16 ч;

3) в камере сернистого газа (КСГ) при воздействии сернистого газа концентрацией  $(0,75 \pm 0,2)$  г/м<sup>3</sup>, температуры  $(40 \pm 2)$  °С и влажности  $97 \pm 3\%$  в течение 8 ч; далее выдержка в камере при отключении искусственной атмосферы при температуре 25 °С в течение 16 ч.

2.2. ГОСТ 9.401-91 «Покрытия лакокрасочные. Общие требования и методы ускоренных испытаний на стойкость к воздействию климатических факторов» на образцах с порошково-полимерным покрытием (RAL).

- метод 6 «Определение стойкости покрытий к воздействию переменной температуры, повышенной влажности, сернистого газа и солнечного излучения». Метод испытаний имитирует комплексное воздействие климатических факторов открытой промышленной атмосферы (УХЛ1, по ГОСТ 9.104-79 "ЕСЗКС. Покрытия лакокрасочные. Группы условий эксплуатации", II тип атмосферы по ГОСТ 15150-69 «Машины, приборы и другие технические изделия. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды»). Метод 6 предусматривает проведение 15 циклов испытаний покрытий. Для прогнозирования срока службы испытания должны продолжаться до достижения критических значений оценок в баллах по защитным свойствам.

Режим испытаний, последовательность перемещения и время выдержки образцов в климатических камерах в одном цикле по методу 6 приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Последовательность перемещения и время выдержки образцов в камерах и режимы испытаний по методу 6

Аппаратура	Режим испытаний		Продолжительность испытаний, час
	Температура, °С	Относительная влажность, %	
Камера влаги	40±2	97±3	2
Камера сернистого газа (концентрация SO <sub>2</sub> 5±1 мг/м <sup>3</sup> )	40±2	97±3	2
Камера холода	минус (30±3)	Не нормир.	6
Аппарат искусственной погоды	60±3	Не нормир.	5
Камера холода	минус (60±3)	Не нормир.	3
Выдержка на воздухе	15-30	Не более 80	6
Итого			24

- метод 9 «Определение стойкости покрытий к воздействию переменной температуры, повышенной влажности, соляного тумана и солнечного излучения». Метод 9 имитирует все климатические применения и предусматривает проведение 20 циклов испытаний покрытий. Режим испытаний, последовательность перемещения и время выдержки образцов в климатических камерах в одном цикле приведены в таблице 3.

Таблица 3 - Последовательность перемещения и время выдержки образцов в камерах и режимы испытаний по методу 9

Аппаратура	Режим испытаний		Продолжительность испытаний, час
	Температура, °С	Относительная влажность, %	
Камера влаги	55±2	97±3	5
Камера соляного тумана (концентрация 5±1г/л)	40±2	97±3	3
Камера влаги	55±2	97±3	5
Аппарат искусственной погоды	60±2	Не нормир	10
Выдержка на воздухе	15-30	Не более 80	1
Итого			24

- метод Б «Определение стойкости покрытия к воздействию нейтрального соляного тумана (распространение коррозии от надреза)». Коррозионные испытания образцов с надрезами проводили в климатической камере соляного тумана с постоянным распылением 3%-ного раствора NaCl при относительной влажности 98% и температуре в камере 40°С в течение 720 часов.

2.3. ГОСТ 27037-86 «Покрытия лакокрасочные. Метод определения устойчивости к воздействию переменных температур». Определение стойкости покрытия к перепаду температур от минус 60 °С до плюс 60 °С. Метод предусматривает проведение 10 циклов испытаний покрытий. Один цикл испытания: выдержка при температуре плюс 60°С в течение 1 часа, затем при минус 60 °С в течение 1 часа (время перемещения не более 2 мин) и при 20±5 °С в течение 15 мин. Изменение декоративных и защитных свойств определяли сравнением с контрольным образцом невооруженным глазом.

3. Металлографический анализ проведен по ГОСТ Р 51694-2000 «Материалы лакокрасочные. Определение толщины покрытия». Метод № 5. Исследования проведены на комплексе «Альтами МЕТ». Шлифы изготовлены в поперечном сечении образцов.

4. Химический состав алюминиевых сплавов определяли на атомно-эмиссионном спектрометре Bruker Tasman Q4 с искровым источником возбуждения спектра.



5. Адгезию полимерных покрытий определяли в соответствии с ГОСТ 15140-78 «Материалы лакокрасочные. Методы определения адгезии» по методу решетчатых надрезов адгезиметром Elcometer F107 с шестью лезвиями.

### Результаты исследования

В результате *спектрального анализа* установлено, что материал исследуемых деталей, взятых выборочно, соответствует алюминиевому сплаву марки 6063 по ГОСТ 22233-2001 «Профили прессованные из алюминиевых сплавов для светопрозрачных ограждающих конструкций. Технические условия». Химический состав материала профилей и результаты *спектрального анализа* приведены в таблице 4.

Таблица 4 - Химический состав алюминиевых сплавов

Алюминиевый сплав	Содержание в % по массе									
	Al	Fe	Mn	Mg	Si	Cr	Cu	Ti	Zn	Ni
KRWD45	основа	0,36	0,10	0,59	0,33	0,009	0,067	0,02	0,063	0,004
6063 (ГОСТ 22233-2001)	основа	0,15- 0,35	0,15	0,60- 0,90	0,3 - 0,6	0,05	0,10	0,10	0,15	<0,05

### Профили из алюминиевого сплава без дополнительной антикоррозионной защиты

В результате исследования внешнего состояния установлено, что поверхности алюминиевых образцов в состоянии поставки гладкие, полуматовые, с видимыми полосами направления проката (рис. 1).

После выдержки в камере влажности в течение 720 ч (30 суток) выявлено помутнение и потемнение поверхностей алюминиевых профилей, а также радужный отлив (табл. 5, рис. 2 а).

Таблица 5 - Результаты оценки внешнего вида алюминиевых профилей без покрытия после ускоренных испытаний в КВ

Образец	Результаты испытаний, сутки		
	5	10	30
№1	Без изменений	Помутнение поверхностей	Потемнение поверхностей
№7			

После испытаний в камере сернистого газа (табл. 6, рис. 2 б) на поверхностях профилей №10 и №16 выявлен сплошной белый налет с объемными продуктами коррозии алюминия, свидетельствующими о распространении коррозии вглубь материала. На поверхностях Т-образного профиля №15 зафиксирован белый налет и

множественные точки и пятна с объемными продуктами коррозии (рис. 2 в). После испытаний поверхность образцов шероховатая на ощупь.

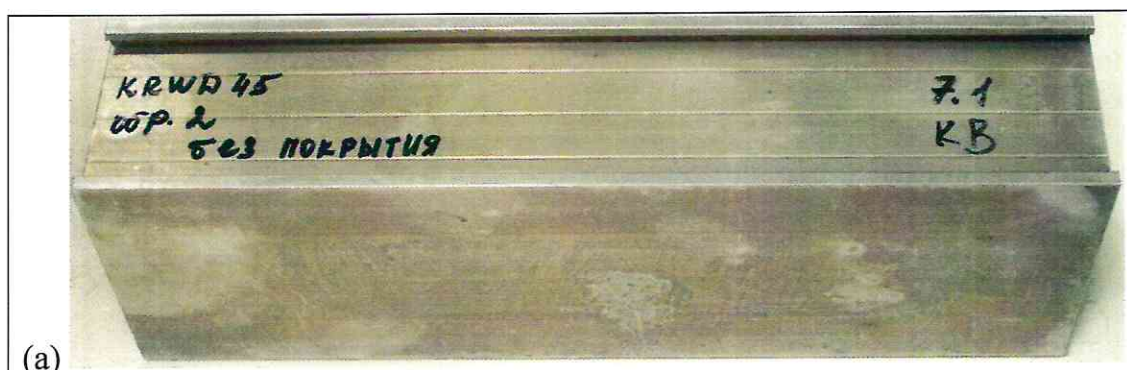
Таблица 6 - Результаты оценки внешнего вида алюминиевых профилей без покрытия после ускоренных испытаний в КСТ

Образец	Результаты испытаний, сутки		
	5	12	30
№10	Незначительное помутнение, множественные белые точки	Сплошной тонкий белый налет	Сплошной белый налет с объемными продуктами коррозии
№16			
№15	Незначительный белый налет	Белый налет, точки с объемными продуктами коррозии	Белый налет, множественные точки и пятна с объемными продуктами коррозии

После выдержки по ГОСТ 9.401-91 в камере соляного тумана в течение 720 ч на профиле №4 обнаружено помутнение и потемнение поверхностей при сохранении гладкости, а также зеренный рисунок (табл. 7, рис. 2 г). После циклических испытаний по ГОСТ 9.308-85 в КСТ в течение 720 ч на образцах №13 и №15 выявлено помутнение поверхностей и множественные точки и пятна белого и серого цветов диаметром не более 5 мм (рис. 2 д). Поверхность профилей №13 и №15 после испытаний шероховатая, №4 – гладкая.

Таблица 7 - Результаты оценки внешнего вида алюминиевых профилей без покрытия после ускоренных испытаний в КСТ

Образец	Результаты испытаний, сутки		
	5	10	30
№4	Помутнение поверхностей	Потемнение поверхностей пятнами до 50% площади	Потемнение до 98% площади поверхностей
№13	Незначительное помутнение поверхности, единичные светло-желтые пятна	Помутнение поверхности, единичные белые точки	Множественные точки и пятна шероховатые на ощупь
№15	Множественные светло-желтые пятна по всей поверхности	Помутнение поверхности	



(a)

*[Handwritten signature]*



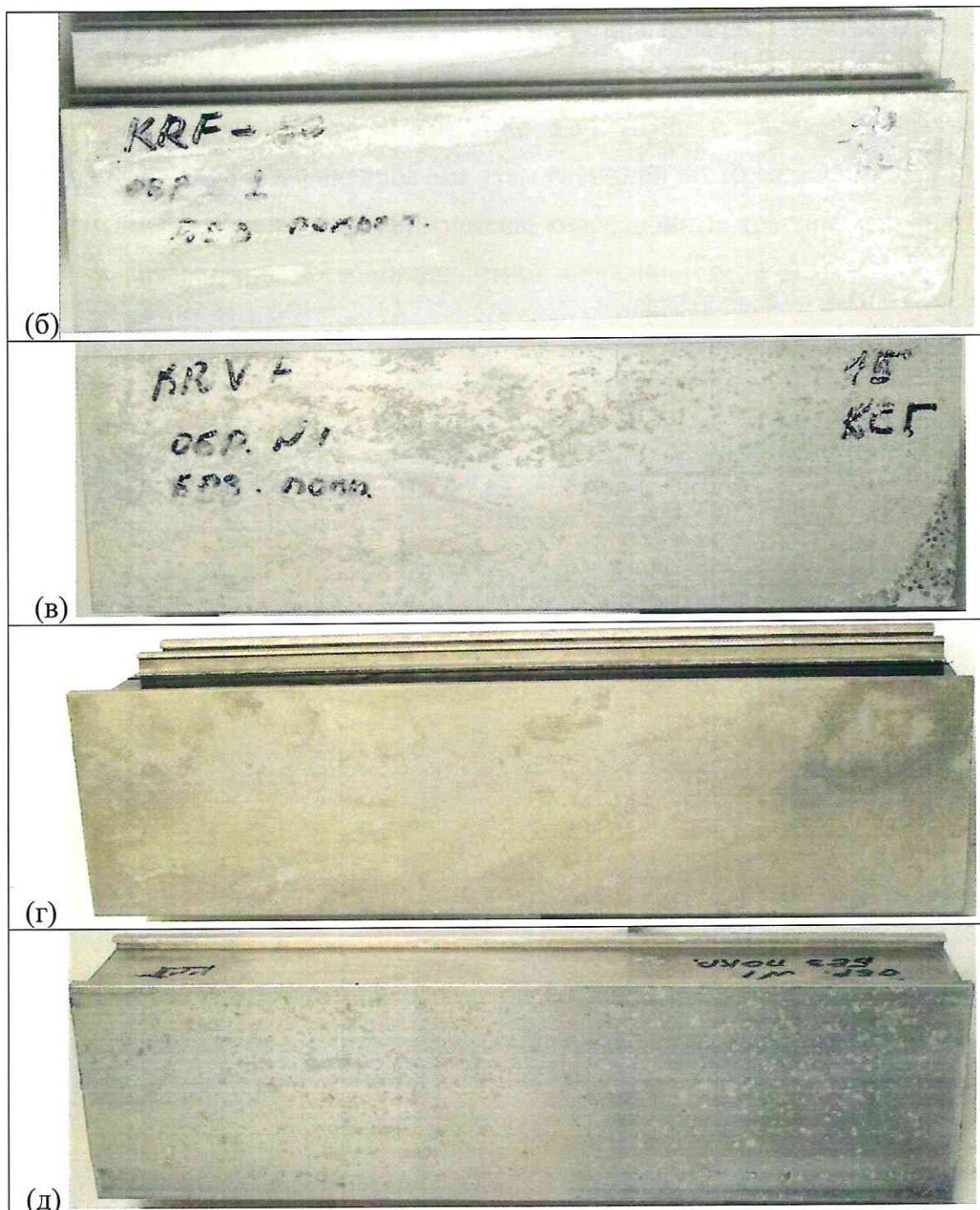


Рис. 2. Внешний вид алюминиевых образцов после испытаний в камерах влажности (а), сернистого газа (б, в) и соляного тумана (г, д) в течение 30 суток

С целью оценки состояния материала исследуемых алюминиевых профилей вблизи поверхностей, а также определения глубины и характера коррозионных повреждений после испытаний в течение 30 суток в камерах сернистого газа и соляного тумана проводили *металлографический анализ*.

В результате проведенного анализа установлено, что в материале алюминиевых профилей после испытаний в камере сернистого газа обнаружены язвы глубиной 15-35 мкм (рис. 3 а-в).



После выдержки в камере соляного тумана по ГОСТ 9.401-91 в материале образцов выявлены отдельные, единичные повреждения в виде округлых язв, глубина которых не превышает 10 мкм (рис. 3 г). После циклических испытаний по ГОСТ 9.308-85 в КСТ зафиксированы язвы глубиной до 10 мкм (рис. 3 д). Кроме вышеуказанных повреждений обнаружены коррозионные трещины глубиной около 60 мкм, характерные для межкристаллитной коррозии (рис. 3 е).

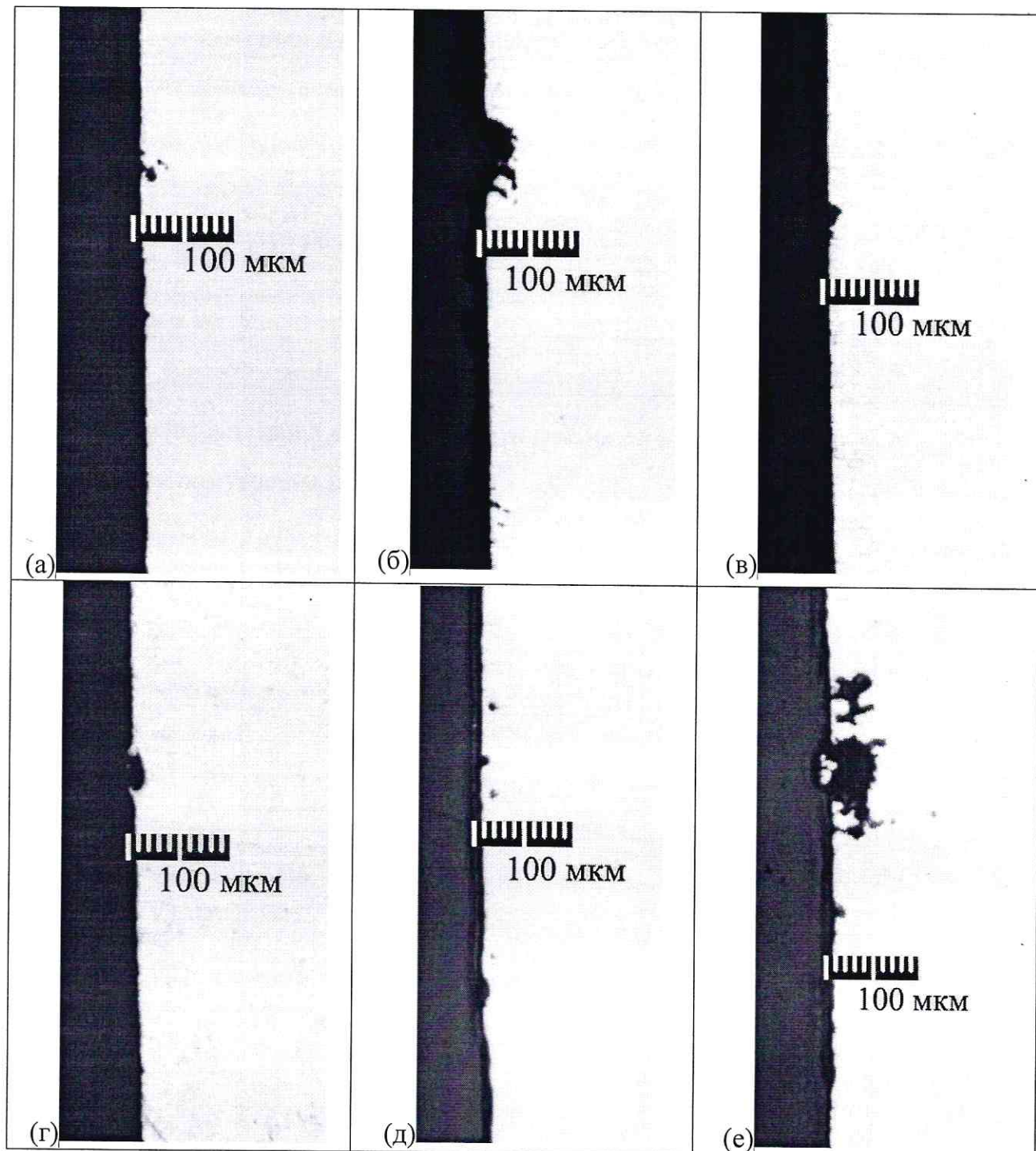


Рис. 3. Состояние материала алюминиевых образцов после испытаний в камерах сернистого газа (№10 – а, б; №16 - в) и соляного тумана (№4 – г, №15 – д, е) в течение 30 суток.

### Профили из алюминиевого сплава с анодно-оксидным (ANOD) покрытием

При оценке внешнего вида профилей в состоянии поставки установлено, что покрытие ровное, однородное, однотонное, серого цвета, матовое (рис. 1), что соответствует требованиям ГОСТ 9.407-2015.

После испытаний в камере влажности в течение 720 ч изменений внешнего вида покрытия не зафиксировано.

После испытаний в камере сернистого газа в течение 720 ч на профилях №3 и №9 обнаружено помутнение поверхностей в виде белёсых и серых потеков (табл. 8, рис. 4 а, б).

Таблица 8 - Результаты оценки внешнего вида алюминиевых профилей с анодно-оксидным покрытием после ускоренных испытаний в КСТ

Образец	Результаты испытаний, сутки		
	5	12	30
№3	Единичные белые блестящие пятна	Увеличение количества и размеров пятен	Помутнение потеками белого и серого цветов
№9			

После испытаний в камере соляного тумана по ГОСТ 9.401-91 в течение 720 ч наблюдается помутнение поверхностей профиля №18 (табл. 9, рис. 4 в). После испытаний по ГОСТ 9.308-85 в КСТ в течение 720 ч на образцах №6 и №12 выявлено помутнение и потемнение поверхностей.

Таблица 9 - Результаты оценки внешнего вида алюминиевых профилей с анодно-оксидным покрытием после ускоренных испытаний в КСТ

Образец	Результаты испытаний, сутки		
	5	10	30
№18	Без изменений	Локальное помутнение поверхностей	Помутнение поверхностей
№6	Без изменений	Помутнение поверхностей	Потемнение поверхностей
№12	Единичное помутнение пятнами		



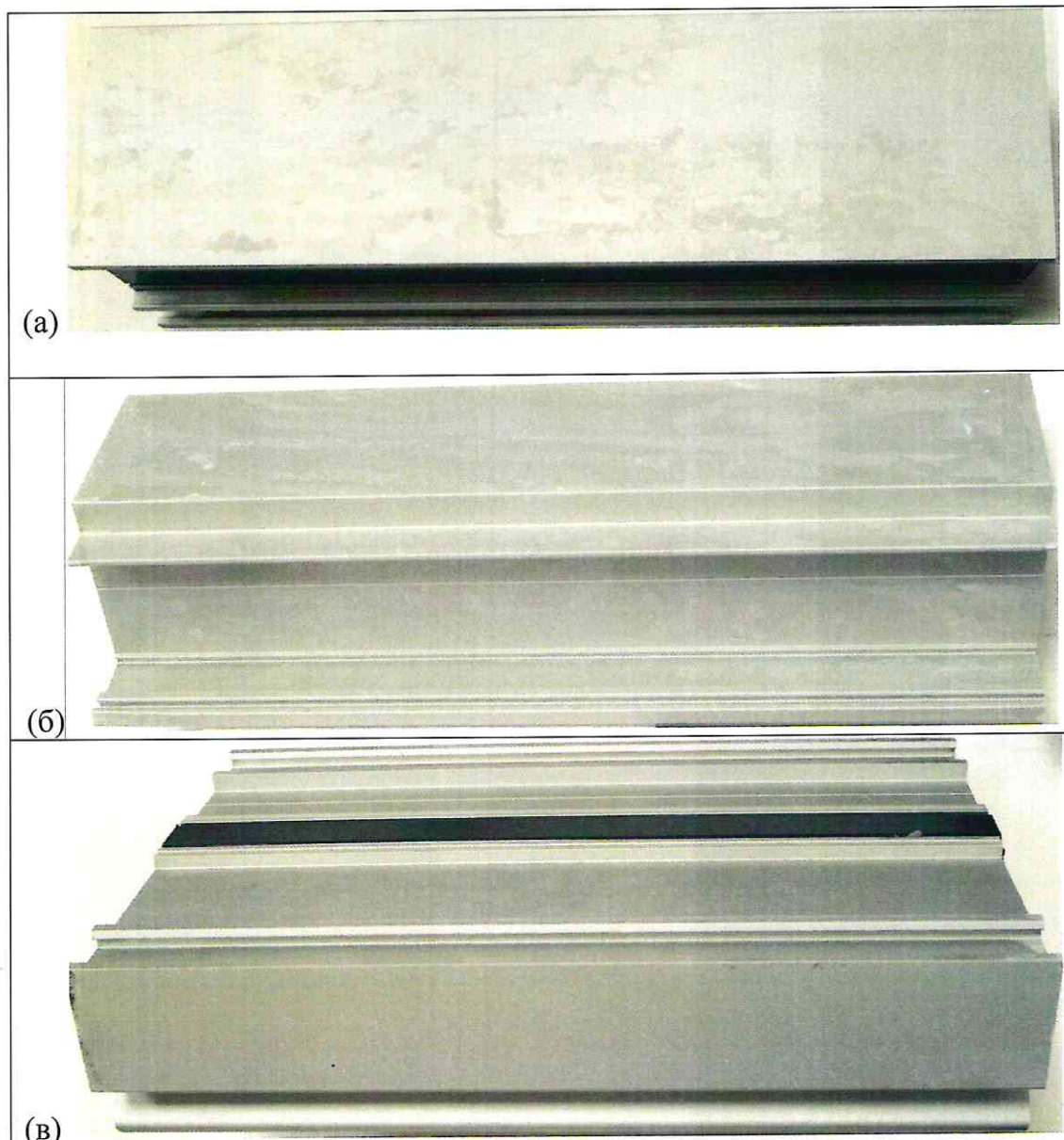


Рис. 4. Внешний вид алюминиевых образцов после испытаний в камерах сернистого газа (№3 – а, №9 – б) и соляного тумана (№18 – в) в течение 30 суток

В результате металлографического анализа установлено, что толщина анодно-оксидного слоя, нанесенного на поверхность алюминиевого сплава, составляет 22-25 мкм. Покрытие равномерно по всему периметру шлифа, отслоений не зафиксировано (рис. 5 а). После испытаний в КСГ и КСТ обнаружены язвенные повреждения покрытия преимущественно глубиной до 10 мкм округлой формы и единичные язвы, соизмеримые с толщиной покрытия (рис. 5 б-г).



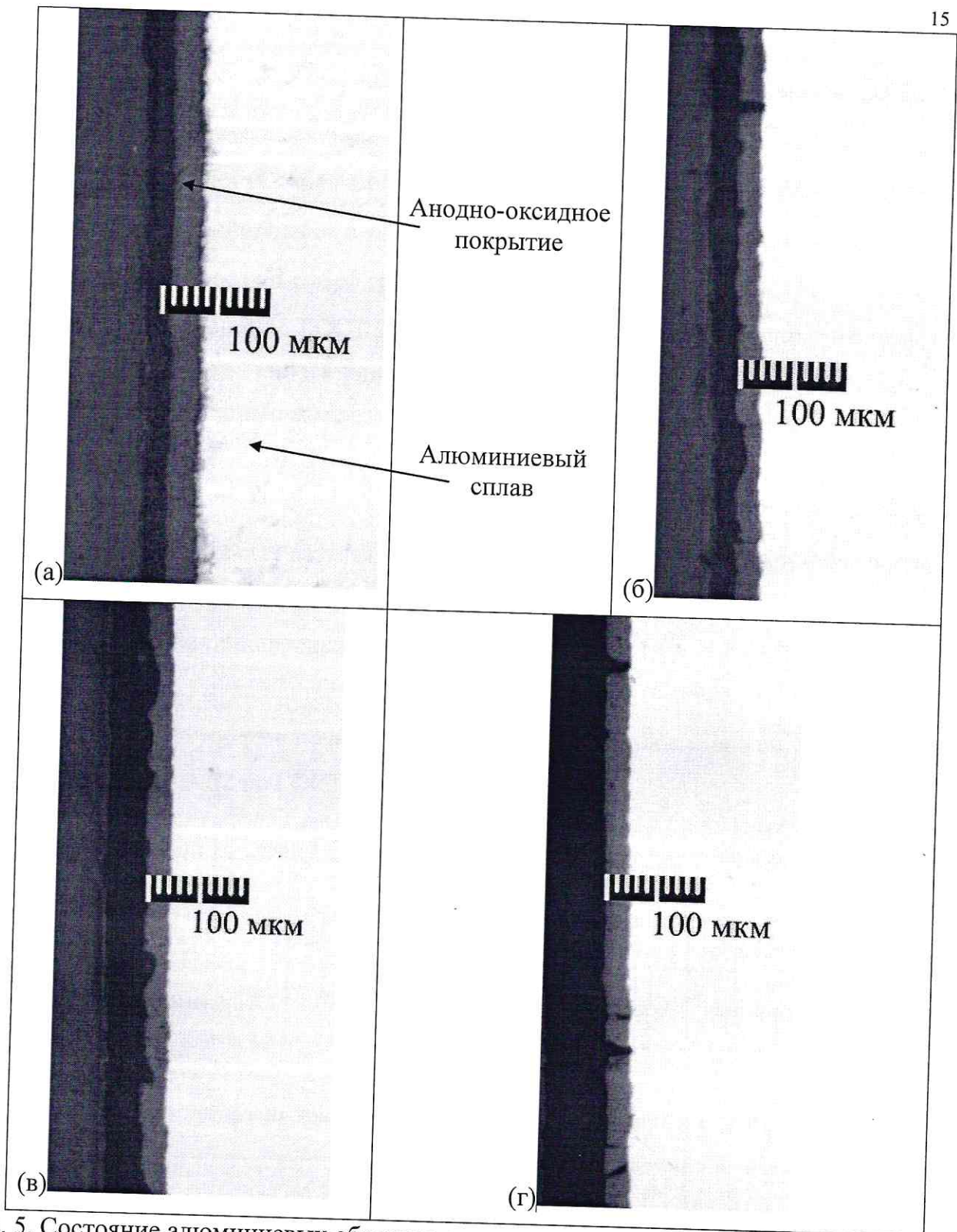


Рис. 5. Состояние алюминиевых образцов с анодно-оксидным покрытием в состоянии поставки (а) и после испытаний в КСТ (№9 - б), в КСТ (№6 - в, №18 - г)

### Профили из алюминиевого сплава с полимерным (RAL) покрытием

Оценку состояния полимерного покрытия на образцах проводили в соответствии с ГОСТ 9.407-2015 «ЕСЗКС. Покрытия лакокрасочные. Методы оценки внешнего вида». Поверхность окрашенных образцов в состоянии поставки (новых) гладкая, полуматовая, однородная и однотонная белого цвета с мелкими блестящими вкраплениями, что соответствует требованиям ГОСТ 9.407-2015 (рис. 1).

После испытаний по ГОСТ 9.308-85 в камерах влажности, сернистого газа и соляного тумана изменений внешнего вида полимерного покрытия не обнаружено.

Для оценки защитно-декоративных свойств и определения срока службы полимерного покрытия на профилях из алюминиевого сплава в средах слабой агрессивности проведены ускоренные коррозионные испытания по ГОСТ 9.401-91 по методу 6. На исследуемых деталях после 100 циклов испытаний обнаружены коррозионные повреждения в виде проколов, что соответствует А32 (К2 – едва видимые зрением с нормальной коррекцией) по ГОСТ 9.407-2015. При оценке декоративных свойств покрытия выявлено изменение блеска 1 балла ( $B_n$  – степень изменения блеска (%);  $5 < B_n \leq 20$ ) и изменение цвета 2 балла (Ц2) (слабое, хорошо различимое), что соответствует АД2 по ГОСТ 9.407-2015 (табл. 10).

Таблица 10 - Результаты оценки внешнего вида покрытия после ускоренных испытаний по методу 6

Образец	Результаты испытаний, сутки		
	50	80	100
№2	Без изменений	Незначительное изменение цвета – белые локальные матовые пятна по всей поверхности	Единичные проколы, незначительное изменение цвета и блеска

Для оценки защитно-декоративных свойств полимерного покрытия на алюминиевых листах и определения срока службы в средах средней агрессивности проведены ускоренные коррозионные испытания по ГОСТ 9.401-91 по методу 9 (табл. 11). После 80 циклов испытаний на поверхностях профилей обнаружены единичные проколы, что соответствует 2 баллу оценки защитных свойств (А32 (К2)). При оценке декоративных свойств покрытия зафиксировано изменение цвета полосами (Ц2), что соответствует АД2.



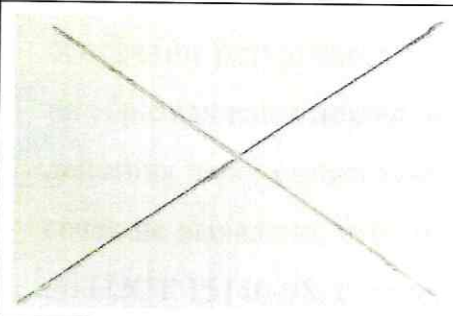
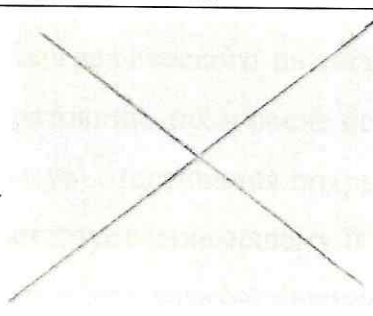
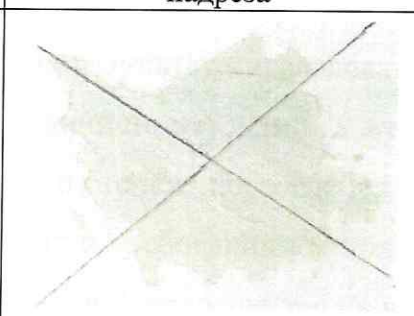
Таблица 11 - Результаты оценки внешнего вида покрытия после ускоренных испытаний по методу 9

Образец	Результаты испытаний, сутки		
	20	80	100
№14	Без изменений	Единичные проколы. Потемнение полосами	Без дальнейших изменений

Исследования по определению стойкости покрытия под воздействием климатических внешних факторов проводили по ГОСТ 9.401-91 по методу Б - *распространение коррозии от надреза*.

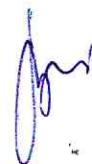
После воздействия коррозионно-агрессивной атмосферы в зонах царапин после снятия покрытия коррозионных повреждений не обнаружено (табл. 12), что соответствует требованиям ГОСТ 9.401-91, согласно которым распространение коррозии от надреза не должно превышать 2 мм.

Таблица 12 – Внешний вид поверхностей образцов в зоне надреза

Внешний вид перед испытанием	Внешний вид образцов после 500 часов испытаний	Внешний вид образцов после снятия покрытия в зоне надреза
		

После 10 циклов испытаний на **воздействие переменных температур** (от минус 60 °С до плюс 80 °С) по ГОСТ 27037-86 проведена сравнительная визуальная оценка внешнего вида с контрольным образцом. На поверхности исследуемых алюминиевых профилей с полимерным покрытием (RAL) коррозионных повреждений не зафиксировано (А30). Изменений декоративных свойств не обнаружено (АД0).

В результате металлографического анализа установлено, что толщина полимерного слоя, нанесенного на поверхность алюминиевого сплава, составляет 100-110 мкм. Покрытие равномерно по всему периметру шлифа, отслоений не зафиксировано (рис. 6).





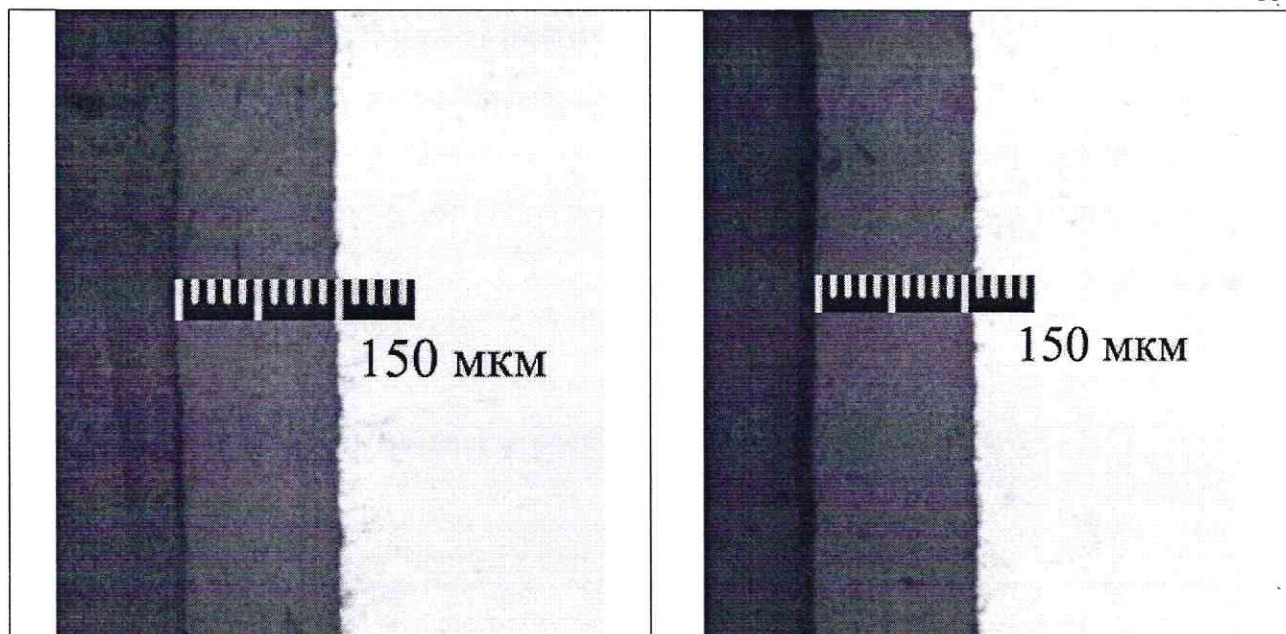


Рис. 6. Состояние алюминиевых образцов с полимерным покрытием в состоянии поставки

**Определение адгезии покрытий.** Слой полимерного покрытия обладает высокой адгезией к металлической основе, что подтверждено результатами тестов по «методу решетчатого надреза», расстояние между надрезами составляет 2 мм (на основании результатов металлографического анализа). В результате исследований на образцах как в исходном состоянии, так и после испытаний по методам 6, 9 и воздействия переменных температур, отслаивания покрытия на точках пересечения насечек не выявлено, что соответствует наивысшему 0 баллу и требованиям метода А по ГОСТ 15140-78, согласно которого адгезия покрытия по методу решетчатых надрезов должна составлять не более балла 3.

Таким образом, в ходе коррозионных испытаний при контроле качества защитного полимерного покрытия на алюминиевых профилях отклонений от норм не выявлено. Результаты испытаний свидетельствуют о сохранении защитных и декоративных свойств покрытия в течение 80 циклов испытаний до баллов АД2 и А32, что гарантирует с учетом коэффициента ускорения ( $K_y$ ) 41 (для условий УХЛ1 по ГОСТ 9.401-91 прил.10) срок службы полимерного покрытия 15-18 лет.

## Анализ результатов исследования


Целью работы является исследование коррозионной стойкости комбинированных профилей из алюминиевых сплавов без антикоррозионной защиты и с антикоррозионными покрытиями внешних сторон: анодно-оксидным (ANOD) и полимерным (RAL).

Проведены ускоренные циклические коррозионные испытания по ГОСТ 9.308-85, имитирующие среды слабой (камера влажности) и средней (камеры сернистого газа и соляного тумана) агрессивностей в соответствии с СП 28.13330.2017 (СНиП 2.03.11-85).

Анализ характера повреждений после испытаний в камере влажности материала профилей (6063) без антикоррозионной защиты и с покрытиями свидетельствует об его устойчивости к общей и локальным видам коррозии. Таким образом, алюминиевые профили без антикоррозионной защиты и с анодно-оксидным и полимерным покрытиями могут эксплуатироваться в средах слабой агрессивности в течение не менее 50 лет.

При исследовании профилей из алюминиевых сплавов (6063) без антикоррозионного покрытия в камере сернистого газа выявлена язвенная коррозия, глубина отдельных язв составляет от 10 до 35 мкм, причем повреждения репассивированы (имеют округлую форму) и, как следствие, не провоцируют развитие межкристаллитной коррозии (МКК). После циклических испытаний в камере соляного тумана обнаружены как неглубокие (до 10 мкм) язвы, так и повреждения глубиной до 60 мкм, характерные для МКК. Учитывая химический состав сплава, характер и глубину повреждений после испытаний (при отсутствии контакта с другими сплавами) следует, что долговечность исследуемых профилей без антикоррозионного покрытия в средах средней агрессивности составляет не более 35 лет.

После ускоренных коррозионных испытаний профилей из алюминиевых сплавов с анодно-оксидным покрытием толщиной 22-25 мкм в камерах сернистого газа и соляного тумана обнаружены язвенные повреждения глубиной до 25 мкм. Следовательно, срок службы покрытия ANOD, нанесенного на алюминиевый сплав 6063 с повышенным содержанием железа, в средах средней агрессивности составляет 7-10 лет. Долговечность исследуемых алюминиевых профилей с анодно-оксидным (ANOD) покрытием в средах средней агрессивности составляет не более 40 лет.





При анализе защитных и декоративных свойств полимерного покрытия были проведены ускоренные коррозионные испытания по ГОСТ 9.401-91 (методы 6, 9, 21), имитирующие комплексное воздействие климатических факторов открытой промышленной атмосферы умеренного и холодного климатов. Анализ результатов испытаний показал, что покрытие толщиной 100-110 мкм, нанесенное на поверхность алюминиевого сплава, обладают высокими физико-механическими свойствами, так как до и после климатических испытаний адгезия покрытия по методу решетчатых надрезов по ГОСТ 15140-78 составляет 0 балл. Покрытие выдержало 80 циклов испытаний и оценивается баллами А30 (сохранило защитные свойства) и АД0 (без изменений внешнего вида).

При оценке стойкости к циклическому воздействию знакопеременных ( $-30/+80$  °С) температур установлено, что полимерное покрытие не претерпело видимых изменений после 10 циклов испытаний, что соответствует требованиям ГОСТ 27037-86.

Оценку атмосферостойкости покрытия проводили по методу воздействия нейтрального соляного тумана (метод Б). В результате исследования установлено, что покрытие обладают высокой адгезией и обеспечивают защиту изделий от воздействия коррозионно-агрессивной среды без признаков коррозии алюминиевой основы в течение более 500 часов, что свидетельствует о высокой адгезии покрытий к металлической основе.

Сроки службы покрытия с учетом коэффициентов ускорения 41 для открытой атмосферы (ГОСТ 9.401-91 приложение 10) рассчитываются: количество циклов умножаем на коэффициент ускорения и делим на 365 дней (количество дней в году).

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что исследуемое полимерное покрытие обладают высокими защитно-декоративными свойствами и рекомендуются для применения в средах средней агрессивности без изменения эксплуатационных и эстетических качеств материала в течение не менее 15 лет. Долговечность алюминиевых профилей с полимерным покрытием толщиной не менее 100 мкм в среднеагрессивных средах составляет не менее 50 лет.

### Выводы

1. Алюминиевые профили без антикоррозионной защиты, с анодно-оксидным (ANOD) и полимерным (Ral) покрытиями устойчивы к атмосферной коррозии в

средах слабой и средней степеней агрессивности в соответствии с СП 28.13330.2017 (СНиП 2.03.11-85).

2. В результате проведенных исследований, оценки качества и скорости коррозии материалов установлено, что алюминиевые профили (6063) без антикоррозионной защиты могут эксплуатироваться в условиях:

- слабоагрессивных сред сроком не менее 50 лет;
- среднеагрессивных сред сроком не более 35 лет;

3. Установлено, что срок службы алюминиевых профилей (6063) с анодированным покрытием ANOD (22-25 мкм) составит в условиях эксплуатации:

- слабоагрессивных сред: не менее 50 лет;
- среднеагрессивных сред: не более 40 лет.

4. Долговечность полимерного покрытия Ral толщиной ~100 мкм, нанесенного на поверхность профилей из алюминиевого сплава 6063, составит в условиях эксплуатации

➤ слабоагрессивных сред:

- 10-15 лет без изменения внешнего вида;
- 15-18 лет возможна потеря декоративных свойств;
- 18 лет возможна потеря защитных свойств;


➤ среднеагрессивных сред:

- 10-12 лет без изменения внешнего вида;
- 12-15 лет возможна потеря декоративных свойств;
- 15 лет возможна потеря защитных свойств.

5. Сроки службы алюминиевых профилей (6063) с полимерным покрытием Ral (не менее 100 мкм) в условиях эксплуатации сред слабой и средней агрессивности составят не менее 50 лет.

7. Анализ результатов и выводы относятся только к исследованным алюминиевым профилям без учета воздействия других элементов конструкций.

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





НИТУ «МИСиС»

Сброшировано и пронумеровано

21 стр.

