



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.

05.12.2016

## **Заключение № 066/16-503**

**«Исследование коррозионной стойкости и долговечности  
кляммеров TORAY (Япония)»**

## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

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



Дуб Алексей Владимирович

Ответственный исполнитель,  
научный сотрудник



Волкова Ольга Владимировна

Исполнители:

зав. лабораторией МЗМ



Обухова Татьяна Анатольевна

доцент, к.х.н



Сафонов Иван Александрович

научный сотрудник



Шевейко Ольга Владимировна

научный сотрудник



Ковалев Александр Федорович

Заявитель	ООО «Рус Интерра»
Основание для проведения испытаний	Договор № 066/16-503 от 14 ноября 2016 г.
Задачи испытаний	Оценки коррозионной стойкости клеммеров с покрытием цинк-алюминий-магний
Описание элементов системы	Клеммеры из низкоуглеродистой стали с покрытием Zn-Al-Mg (ZAM).
Испытательное оборудование	<ul style="list-style-type: none"> <li>- камера влажности;</li> <li>- камера сернистого газа;</li> <li>- камера соляного тумана;</li> <li>- металлографический комплекс Альтами МЕТ</li> </ul>
Документ и материалы	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ГОСТ 9.308-85 ЕСЗКС. «Покрытия металлические и неметаллические органические. Методы ускоренных коррозионных испытаний»</li> <li>- ГОСТ 9.302-88 ЕСЗКС. «Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Методы контроля»</li> <li>- ГОСТ 9.311-87 ЕСЗКС. «Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Метод оценки коррозионных поражений»</li> <li>- Свод правил СП 28.13330.2012 «Защита строительных конструкций от коррозии» (актуализированная редакция СНиП 2.03.11-85).</li> </ul>
Результаты исследований	Заключение № 066/16-503

**Образцы для испытаний:** на исследование предоставлены клеммеры TORAY (Япония) двух типов TORAY CP-205 (рис.1а) и TORAY CP-215S (рис.1б), изготовленные из углеродистых сталей с покрытием цинк-алюминий-магний

**Отбор и изготовление образцов** осуществлялись Заказчиком.

**Цель работы:** определение коррозионной стойкости и долговечности клеммеров изготовленных из стали с покрытием цинк-алюминий-магний (ZAM) при эксплуатации в неагрессивной, слабоагрессивной и среднеагрессивной средах в соответствии с СП 28.13330.2012 (СНиП 2.03.11-85).

**При исследовании были выполнены следующие работы:**

- ускоренные коррозионные испытания;
- анализ внешнего состояния поверхностей деталей;
- металлографический анализ.

**Проведение ускоренных коррозионных испытаний**

Испытания проводились в течение 30 суток в климатических камерах, имитирующих различные атмосферные условия, в соответствии с ГОСТ 9.308-85 «Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Методы ускоренных коррозионных испытаний»:

- в камере влажности, имитирующей слабоагрессивную среду (при относительной влажности 98% и температуре в камере 40<sup>0</sup> С);
- в камере сернистого газа, имитирующей городскую среднеагрессивную среду (при относительной влажности 98%, температуре в камере 40<sup>0</sup> С и воздействии SO<sub>2</sub> концентрация - 0,75 г/м<sup>3</sup>);
- в камере соляного тумана, имитирующей приморскую среднеагрессивную среду (периодическое распыление 3% -ного раствора NaCl при относительной влажности 98% и температуре в камере 40<sup>0</sup> С).

### **Материалы исследования**

В соответствии с данными технической документации клеммеры выполнены из листовой низкоуглеродистой стали с покрытием из цинкового сплава с содержанием алюминия и магния. Оценку состояния деталей проводили в соответствии с ГОСТ 9.307-89 ЕСЗКС «Покрытия цинковые горячие. Общие требования и методы контроля».

Исследование внешнего состояния поверхностей деталей во время и после испытаний проводилось визуально и методом оптической фрактографии с использованием бинокулярного микроскопа МБС-200.

В результате анализа установлено, что поверхности клеммеров с покрытием ZAM в состоянии поставки гладкие, чистые, без признаков нарушения сплошности покрытия. Цвет покрытия серебристо-серый полублестящий. Наплывы покрытия на отобранных образцах отсутствуют (рис.1а, б).

Внешний вид клеммеров после испытаний в камере влажности практически не изменился, признаки коррозии покрытия в виде локального помутнения, что не превышает 5 % от общей площади, выявлены лишь к концу испытаний в зонах изгибов, остальная поверхность сохранилась полностью (рис. 1 в).

После воздействия сернистого газа (рис.1 г) обнаружено потемнение поверхностей деталей. После выдержки в камере соляного тумана (рис.1 д) на клеммерах зафиксирован тонкий белый налет, характерный для продуктов коррозии цинковой составляющей покрытия.

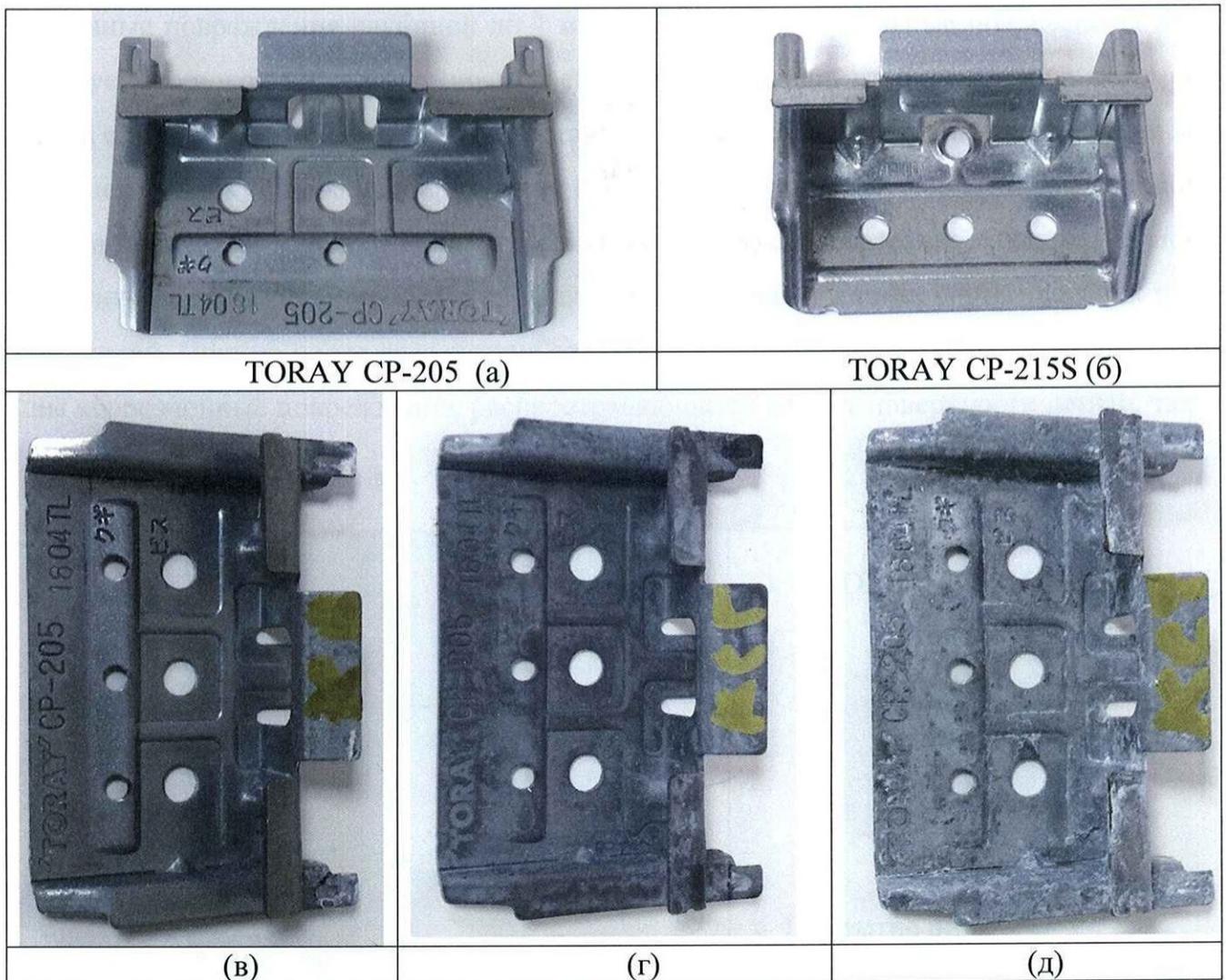


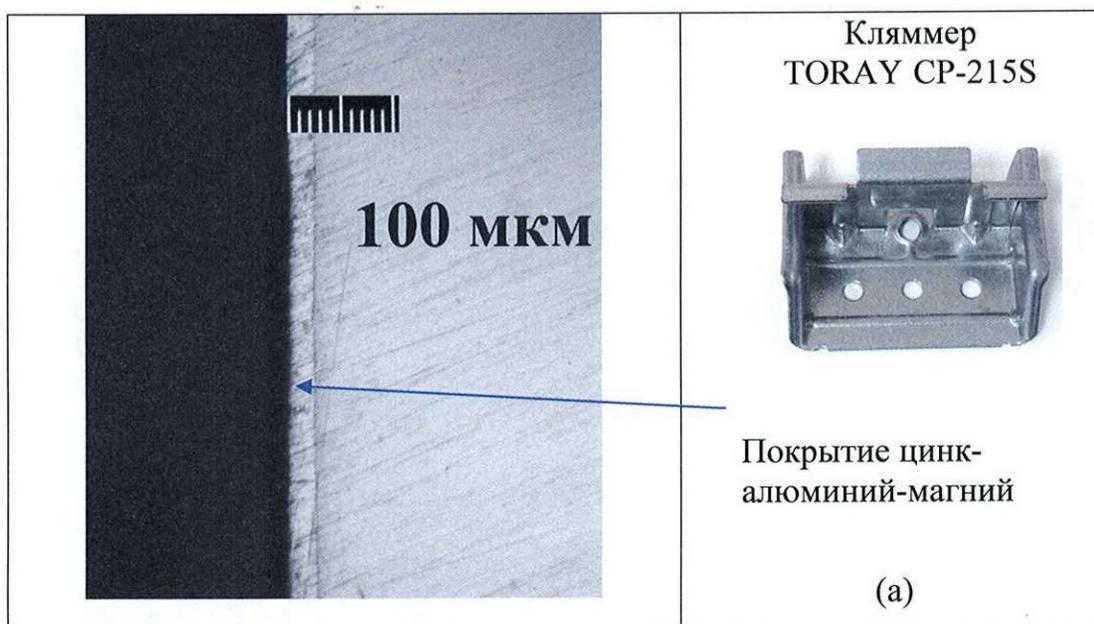
Рис. 1. Внешний вид клеммеров в состоянии поступления на исследования (а, б), после испытаний в камере влажности (в), сернистого газа (г) и соляного тумана (д).

С целью оценки состояния материала исследуемых деталей вблизи поверхностей, а также определения качества покрытия, глубины и характера коррозионных повреждений проводился *металлографический анализ* с применением бинокулярного микроскопа Альтами-MET.

Исследование проводилось на кляммерах TORAY CP-215S (рис.2) и TORAY CP-205 (рис.3) в состоянии поставки и после испытаний в течение 30 суток в камерах влажности и соляного тумана. Шлифы были приготовлены в продольном и поперечном сечениях.

Толщина покрытия на кляммерах рядовых составляет 20-25 мкм (рис.2, рис.3). После выдержки в камере влажности покрытие сохранилось практически без изменений: признаков коррозионных повреждений и отслаивания не выявлено (рис. 2б).

После выдержки в камере соляного тумана (рис.2 в, рис.3в) покрытия выявлены язвенные повреждения глубиной до 7 мкм. Наиболее значительные повреждения исследуемого покрытия в виде множественных язв и трещин, глубина которых соизмерима с толщиной защитного слоя и составляет до 20 мкм, обнаружены в зоне перегиба деталей (рис.2в). Так как повреждения наблюдаются как в состоянии поставки, так и после испытаний в коррозионно-агрессивных средах, следовательно, трещины в покрытии образовались в процессе профилирования деталей в зонах растягивающих напряжений. Причем после воздействия соляного тумана в материале покрытия выявлены коррозионные повреждения, распространяющиеся как от поверхности детали, так от трещин.



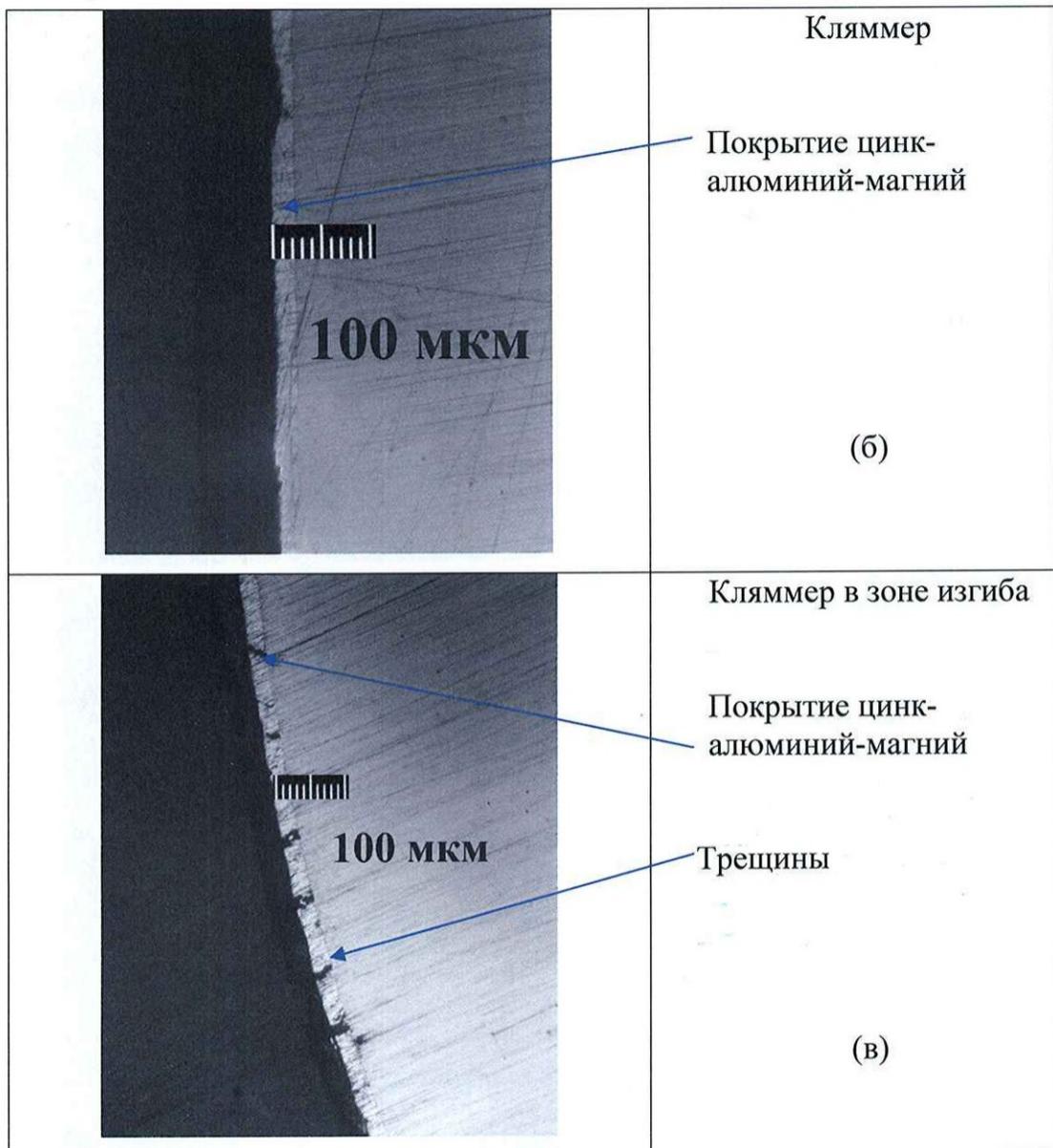
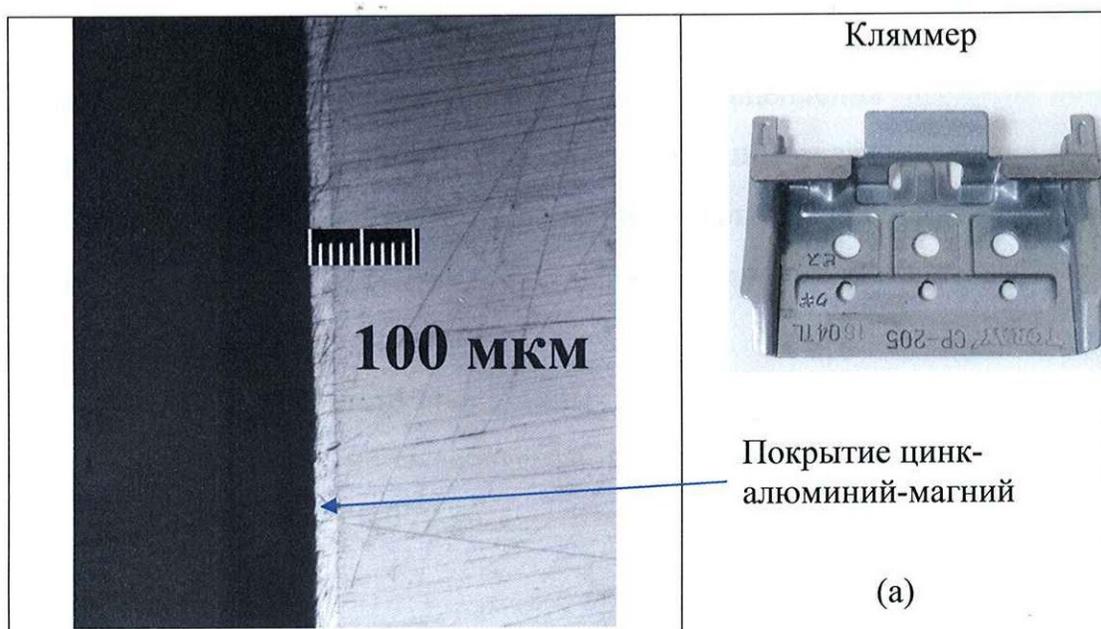


Рис.2 Состояние кляммеров TORAY CP-215S в состоянии поставки (а), после испытаний в камерах влажности (б) и соляного тумана (в).



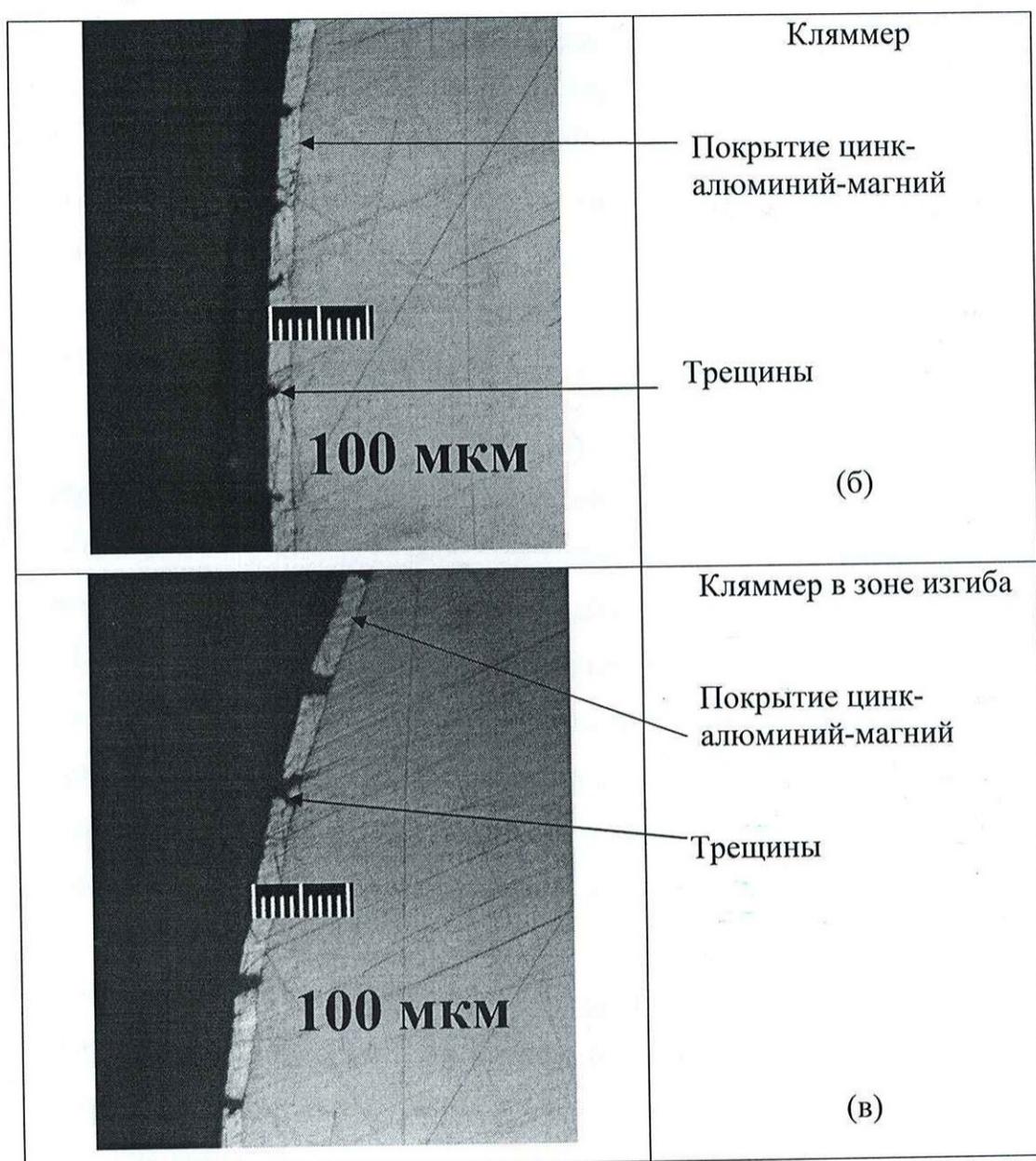


Рис.3. Состояние кляммеров TORAY CP-205 в состоянии поставки (а), после испытаний в камере солевого тумана (б, в).

Отобранные образцы для определения прочности сцепления покрытия подвергались нагреву до  $190^{\circ}\text{C}$  в течение 1 часа с последующим охлаждением на воздухе (по ГОСТ 9.307-89 п.4.4.3.). Вздутия и отслаивания покрытия не обнаружено, что означает хорошую прочность сцепления и подтверждает данные металлографического анализа.

Таким образом, в результате проведенных исследований отклонений от норм в состоянии покрытия не выявлено, исследуемое покрытие цинк-алюминий-магниий соответствует требованиям ГОСТ 9.037-89.

### Анализ результатов исследования:

Целью работы является исследование коррозионной стойкости кляммеров TORAY (Япония) (TORAY CP-205 и TORAY CP-215S) с покрытием цинк-алюминий-магний (ZAM), которые предназначены для невидимого крепления декоративных панелей в навесных вентилируемых фасадах. Экспертиза технических решений по антикоррозионной защите металлических элементов фасадной системы проведена в соответствии с СП 28.13330.2012 «Защита строительных конструкций от коррозии».

Коррозионная агрессивность среды определяется продолжительностью увлажнения поверхности металла и концентрацией коррозионно-активного агента. В соответствии с ГОСТ 9.039-74 «ЕСЗКС. Коррозионная агрессивность атмосферы» основными коррозионно-активными агентами являются двуокись серы и хлориды. В соответствии с 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» условия эксплуатации фасадных систем соответствуют У2 (условия умеренного климата, под навесом) при воздействии воздушных сред, степень агрессивности которых соответствует СП 28.13330.2012.

При анализе были проведены ускоренные коррозионные испытания по ГОСТ 9.308-85, имитирующие комплексное воздействие климатических факторов атмосфер умеренного и холодного климатов с целью исследования защитных свойств исследуемого покрытия.

Оценка состояния деталей производилась методами визуального и металлографического анализов. При расчете скорости коррозии был использован глубинный показатель ( $K_n$ ) скорости коррозии, который *для сталей с покрытием Zn-Al-Mg* характеризует изменение толщины защитного слоя. В результате исследования установлено, что покрытие Zn-Al-Mg обладает высокими защитными свойствами. Исследуемое покрытие представляет собой сплав, состоящий в основном из алюминия и цинка. Благодаря химическому составу алюмо-цинковое покрытие обеспечивает многоуровневую антикоррозионную защиту стальной основы. Алюминий образует устойчивый оксид на поверхности образцов и интерметаллическое соединение, которые обладают высокой коррозионной стойкостью, и, кроме того, способствуют особо прочному сцеплению покрытия с основой, что препятствует проникновению окисляющей атмосферы вглубь металла, создавая надёжный защитный барьер. В свою очередь цинк вступает в хими-

ческую реакцию с водой, и, корродируя, обеспечивает «жертвенную» защиту базовому металлу на кромках и в местах механических повреждений. Алюмо-цинковое покрытие обладает высокой протекторной защитой и гарантирует сохранение коррозионной стойкости даже при механическом повреждении защитного слоя. Кроме того, микролегирование алюмо-цинкового покрытия магнием увеличивает коррозионную стойкость и улучшает протекторное действие покрытия по отношению к стальной основе.

В результате проведенного анализа установлено, что алюмо-цинковые покрытия, легированные магнием могут быть использованы при изготовлении клеммеров, что весьма актуально, так как по действующим СП в среднеагрессивных средах детали с цинковым покрытием не могут быть применены. Скорость коррозии в слабоагрессивных средах составляет не более 0,2 мкм/год; в среднеагрессивных средах (с повышенным содержанием сернистого газа и хлоридов) – 0,5 мкм/год и достигает 1-1,5 мкм/год в зонах перегиба, вследствие образования в покрытии множественных микротрещин. Срок службы Zn-Al-Mg покрытия, толщина которого составляет 20-25 мкм, по экспертному прогнозу, в средах средней агрессивности составит порядка 35 лет.

Таким образом, предлагаемые технические решения соответствуют требованиям СП 28.13330.2012 (СНиП 2.03.11-85) и обеспечивают защиту от коррозии клеммеров в условиях неагрессивных, слабо- и среднеагрессивных сред.

### **Выводы**

1. В результате проведенных без учета механических нагрузок испытаний, оценки качества и скорости коррозии исследуемых материалов установлено, что клеммеры **TORAY** (Япония) устойчивы к атмосферной коррозии и могут эксплуатироваться:
  - в условиях неагрессивных и слабоагрессивных сред порядка 50 лет;
  - в условиях среднеагрессивных сред порядка 35 лет.
2. Анализ результатов и выводы относятся только к испытанным клеммерам без учета воздействия других элементов конструкций, для крепления которых они предназначены.

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



НИТУ «МИСиС»

Сброшюровано и пронумеровано  
10 стр.

*[Handwritten signature]*