



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

«Утверждаю»

Проректор,
проф., д.т.н.

Филонов М. Р.

20.11.2014

Заключение № 050/14-503

**«Исследование коррозионной стойкости элементов ZIAS из
низкоуглеродистых сталей с защитным покрытием Magnelis»**

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Научный руководитель,
проф., д.т.н.

Дуб Алексей Владимирович

Исполнители:

Ответственный исполнитель,
научный сотрудник

Волкова Ольга Владимировна

Зав. лабораторией
кафедры ЗМиТП

Обухова Татьяна Анатольевна

Инженер, к.х.н.

Сафонов Иван Александрович

Научный сотрудник

Шевейко Ольга Владимировна

Научный сотрудник

Ковалев Александр Федорович

Заявитель	ООО «АЛЮКО-СЕРВИС»
Основание для проведения испытаний	Договор №050/14-503 от 23 июля 2014 г.
Задачи испытаний	Определить коррозионную стойкость и сроки службы элементов ZIAS изготовленных из углеродистых сталей с защитным покрытием Magnelis при воздействии неагрессивной, слабо- и среднеагрессивной сред.
Образцы	Стальные элементы ZIAS с покрытием Magnelis.
Испытательное оборудование	- камера влажности; - камера сернистого газа; - камера соляного тумана; - бинокулярный микроскоп МБС-200; - металлографический комплекс «Альтами МЕТ».
Нормативные документы	1. 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. 2. Свод правил СП 28.13330.2012 «Защита строительных конструкций от коррозии» (актуализированная редакция СНиП 2.03.11-85)
Результаты исследований	Заключение № 050/14-503

Цель работы: определение коррозионной стойкости элементов НФС «ZIAS» изготовленных из сталей с покрытием Magnelis (цинк + алюминий 3,5% + магний 3%) производства ArcelorMittal, применяемых для изготовления деталей навесных фасадных систем при воздействии неагрессивной, слабо- и среднеагрессивной сред с прогнозированием их срока службы при условии сохранения эксплуатационных свойств.

Образцы для испытаний: на исследование предоставлены элементы НФС «ZIAS» (условно обозначенные №№1-5) с защитным покрытием Magnelis пяти типов:

№1 Magnelis ZM90;

№2 Magnelis ZM120;

№3 Magnelis ZM310;

№4 Magnelis ZM250;

№5 Magnelis ZM430.

Подготовка образцов: осуществлялась Заказчиком.

При исследовании были выполнены следующие работы:

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

Проведение ускоренных коррозионных испытаний:

- испытания по ГОСТ 9.401-91 на стойкость к воздействию соляного тумана (постоянное распыление 5%-го раствора NaCl при относительной влажности 98% и температуре в камере 35⁰ C) проводились в течение 1000 часов;
- испытания в соответствии с ГОСТ 9.308-85 проводились в течение 30 суток в климатических камерах, имитирующих среды разной степени агрессивности:
 - а) влажности, имитирующей слабоагрессивную среду (при относительной влажности 98% и температуре в камере 40⁰ C);

- б) сернистого газа, имитирующей влажную среднеагрессивную среду (при относительной влажности 98%, температуре в камере 40 °С и воздействии SO₂ концентрация - 0,75 г/м³);
- в) соляного тумана, имитирующей среднеагрессивную среду (периодическое распыление 5% -го раствора NaCl при относительной влажности 98% и температуре в камере 40° С).

Материалы исследования

Исследование *внешнего состояния поверхностей образцов* в состоянии поставки, во время и после испытаний проводилось визуально и методом оптической фрактографии с использованием бинокулярного микроскопа МБС-200 и металлографического комплекса Альтами МЕТ (по ГОСТ 9.311-87). Оценку состояния покрытия проводили в соответствии с ГОСТ 9.307-89 «ЕСЗКС. Покрытия цинковые горячие. Общие требования и методы контроля».

В результате анализа установлено, что поверхности образцов с покрытием Magnelis серого цвета, гладкие, чистые, без признаков нарушения сплошности, без наплывов, включений и зерен кристаллизации, что соответствует требованиям ГОСТ 9.307-89.

Коррозионные испытания на стойкость к воздействию соляного тумана проводились на образцах №3, №5 (после гибки) в течение 1000 часов (рис.1а-в). В результате анализа установлено, что на поверхностях образцов выявлены множественные пятна белого цвета, характерные для коррозии цинковой составляющей покрытия, в зоне изгиба – сплошной белый налет без признаков коррозии стальной основы.

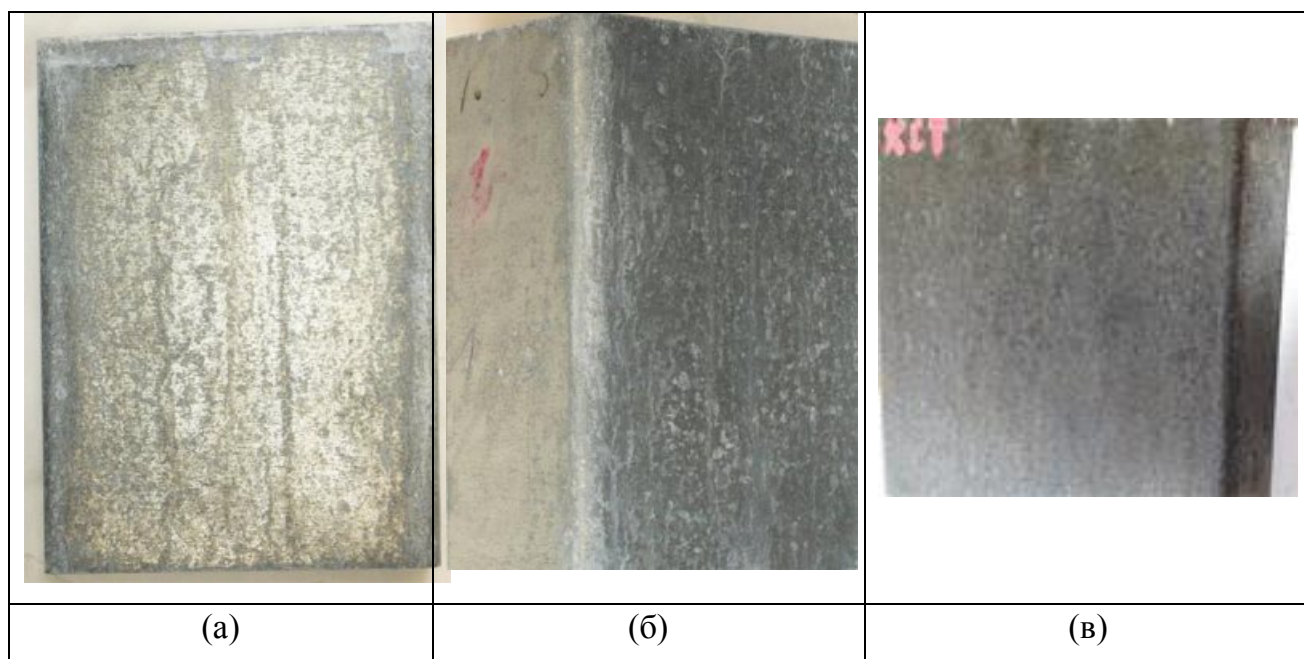


Рис. 1 Внешний вид образцов №3 (а, б) и №5 (в) после испытаний в камере соляного тумана в течение 1000 часов.

Испытания покрытия Magnelis на атмосферостойкость проводились в камерах влажности, сернистого газа и соляного тумана в течение 30 суток (табл.1).

В результате анализа внешнего вида установлено, что на поверхностях всех исследуемых образцов имеются коррозионные повреждения, однако степень поражения различна. После выдержки в камере влажности к концу испытаний наиболее заметные повреждения в виде множественных мелких точек темного цвета, размер которых не превышает $\sim 0,2$ мм, обнаружены на образцах №1 и №2. На образцах №3 и №4 выявлено лишь незначительное помутнение поверхностей (табл. 1 а).

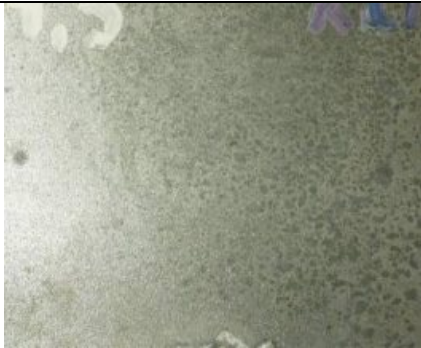
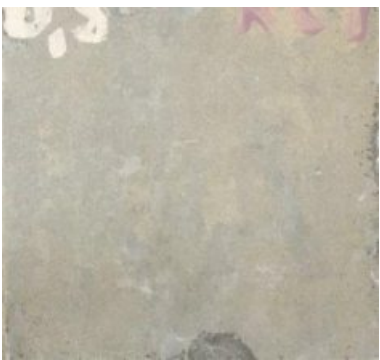
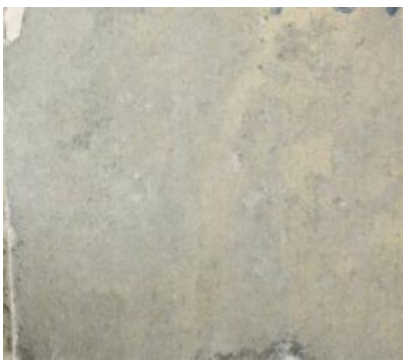
После воздействия сернистого газа на образцах №3 и №4 выявлено сплошное потемнение поверхности и локальные точки с объемными продуктами коррозии белого цвета, на образцах №1 и №2 – множественные белые точки (табл. 1 б).

После выдержки в камере соляного тумана на образцах №3 и №4 обнаружен практически сплошной налет белого цвета, на образцах №1 и №2 – точечное

повреждение защитного слоя без признаков коррозии стальной основы (табл. 1 в).

Исследуемое покрытие представляет собой сплав, состоящий из цинка, алюминия и магния. Благодаря химическому составу исследуемое 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 химическую реакцию с водой, и, корродируя, обеспечивает «жертвенную» защиту базовому металлу на кромках и в местах механических повреждений. Покрытие обладает высокой протекторной защитой и гарантирует сохранение коррозионной стойкости даже при механическом повреждении защитного слоя. Кроме того, легирование покрытия магнием увеличивает коррозионную стойкость и улучшает протекторное действие покрытия по отношению к стали.

Таблица 1

	№1	№2	№3	№4
Камера влажности (а)				
Камера сернистого газа (б)				
Камера соляного тумана (в)				

С целью оценки толщины покрытия и состояния материала исследуемых образцов вблизи поверхностей проводился *металлографический анализ* (ГОСТ Р 51694 метод № 5). Шлифы были приготовлены как в продольных, так и в поперечных сечениях.

В результате анализа установлено, что покрытие на образцах №№1-5 (рис.2) равномерное, обладает высокой адгезией.

Номер образца	Толщина листовой стали, мм	Толщина покрытия, мкм
1	0,55	6-8
2	1,0	10-12
3	1,25	25-30
4	1,5	18-20
5	2,0	36-40

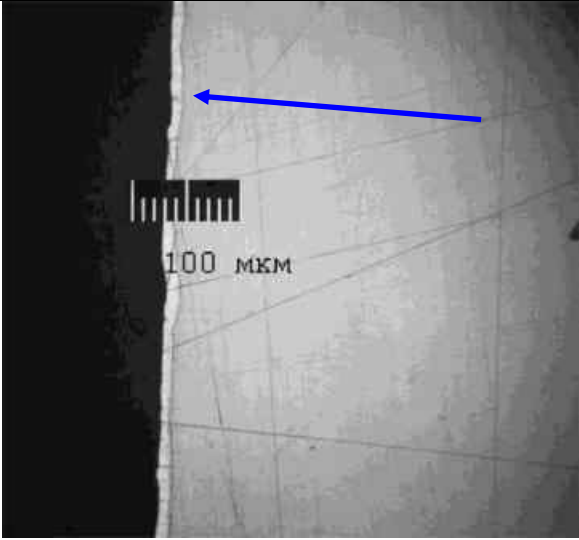
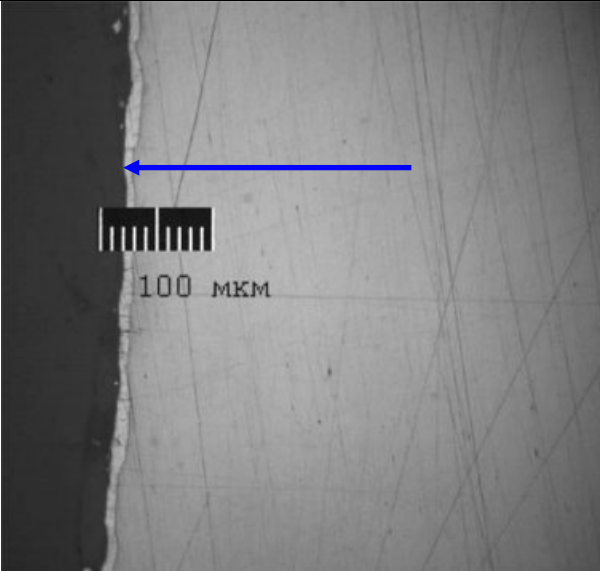
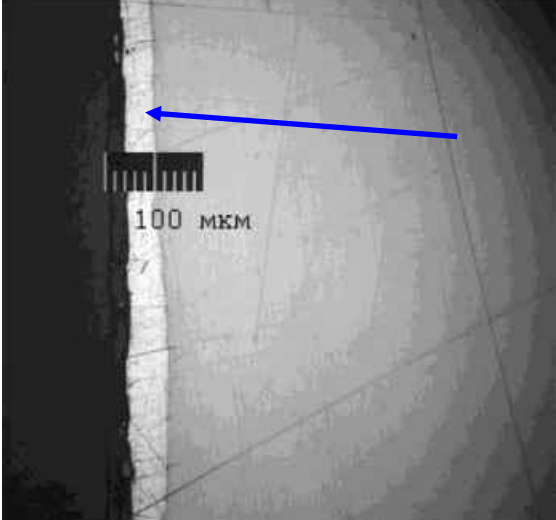
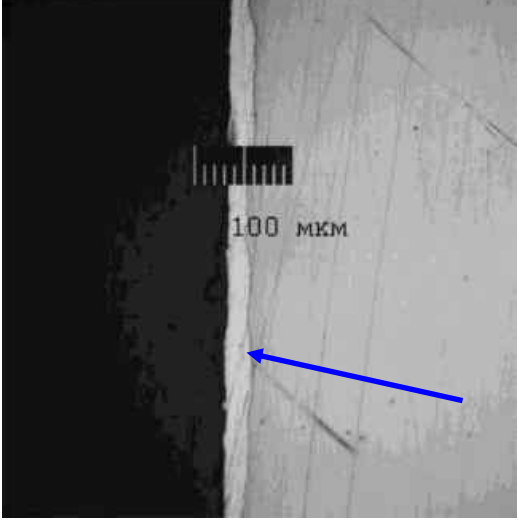
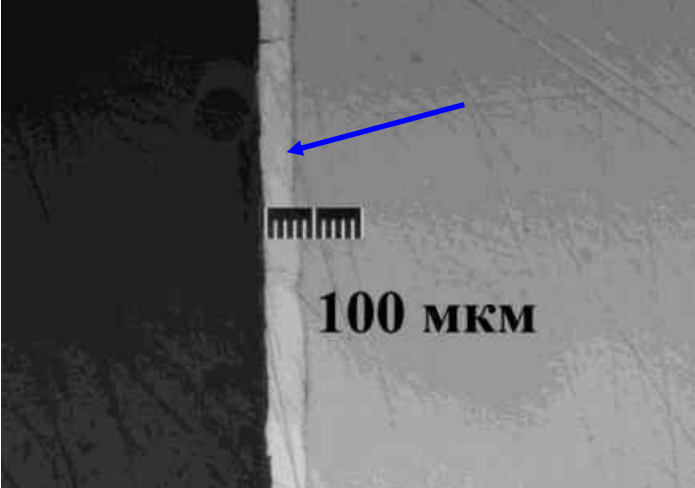
После испытаний в камере влажности покрытие на образцах №№1-4 (рис.2а-г) сохранилось практически полностью, коррозионных повреждений в защитном слое не выявлено.

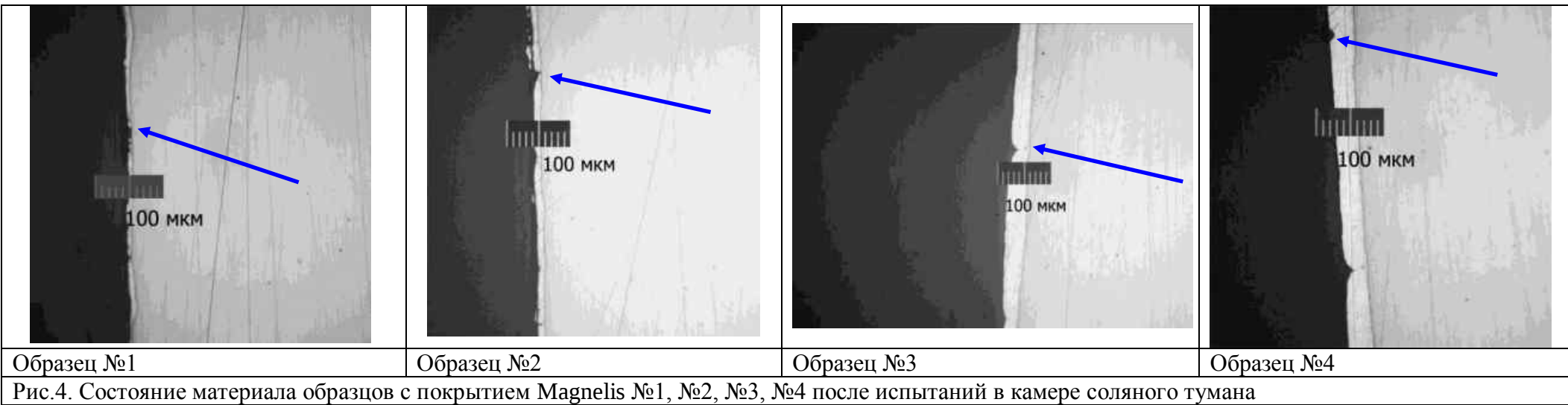
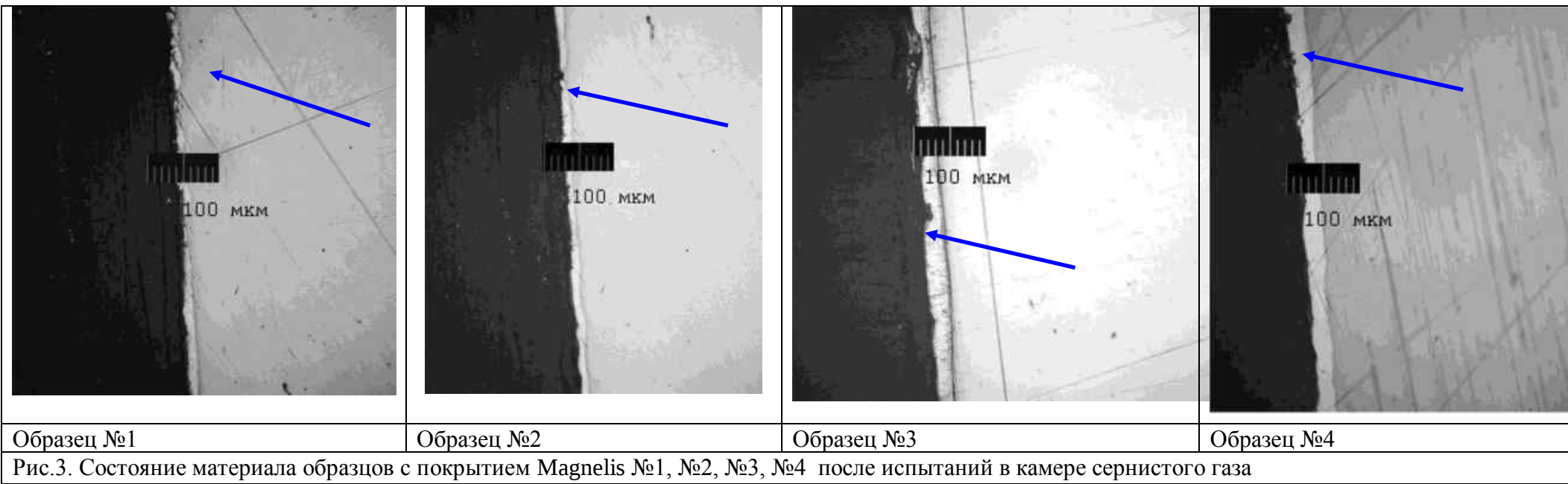
После испытаний в камере сернистого газа (рис.3) выявлена равномерно-язвенная коррозия защитного слоя, глубина которой достигает 5-7 мкм, что составляет до 90 % толщины покрытия на образцах №1 и №2, причем уменьшение толщины покрытия вследствие коррозии происходит равномерно; язвенных повреждений в слое цинка практически не выявлено.

После испытаний в камере соляного тумана (рис.4) в слое покрытия выявлены локальные язвенные повреждения глубиной ~ 10 мкм, что соизмеримо с толщиной покрытия на образцах №1 и №2.

Наиболее значительные повреждения в виде множественных язв и трещин, глубина которых соизмерима с толщиной покрытия и составляет до 25 мкм, выявлены на образце №3 в зоне изгиба (рис.5а).

В материале образца №5 выявлены аналогичные по глубине и характеру повреждения (рис.5б) при толщине защитного слоя не менее 35 мкм. После воздействия соляного тумана в покрытии выявлены отдельные незначительные коррозионные трещины, развивающиеся как от поверхности образца, так и от язв.

	
Образец №1	Образец №2
	
Образец №3	Образец №4
	
Образец №5	
Рис.2. Состояние материала образцов с покрытием Magnelis №1, №2, №3, №4, №5 после испытаний в камере влажности (стрелками показано покрытие)	



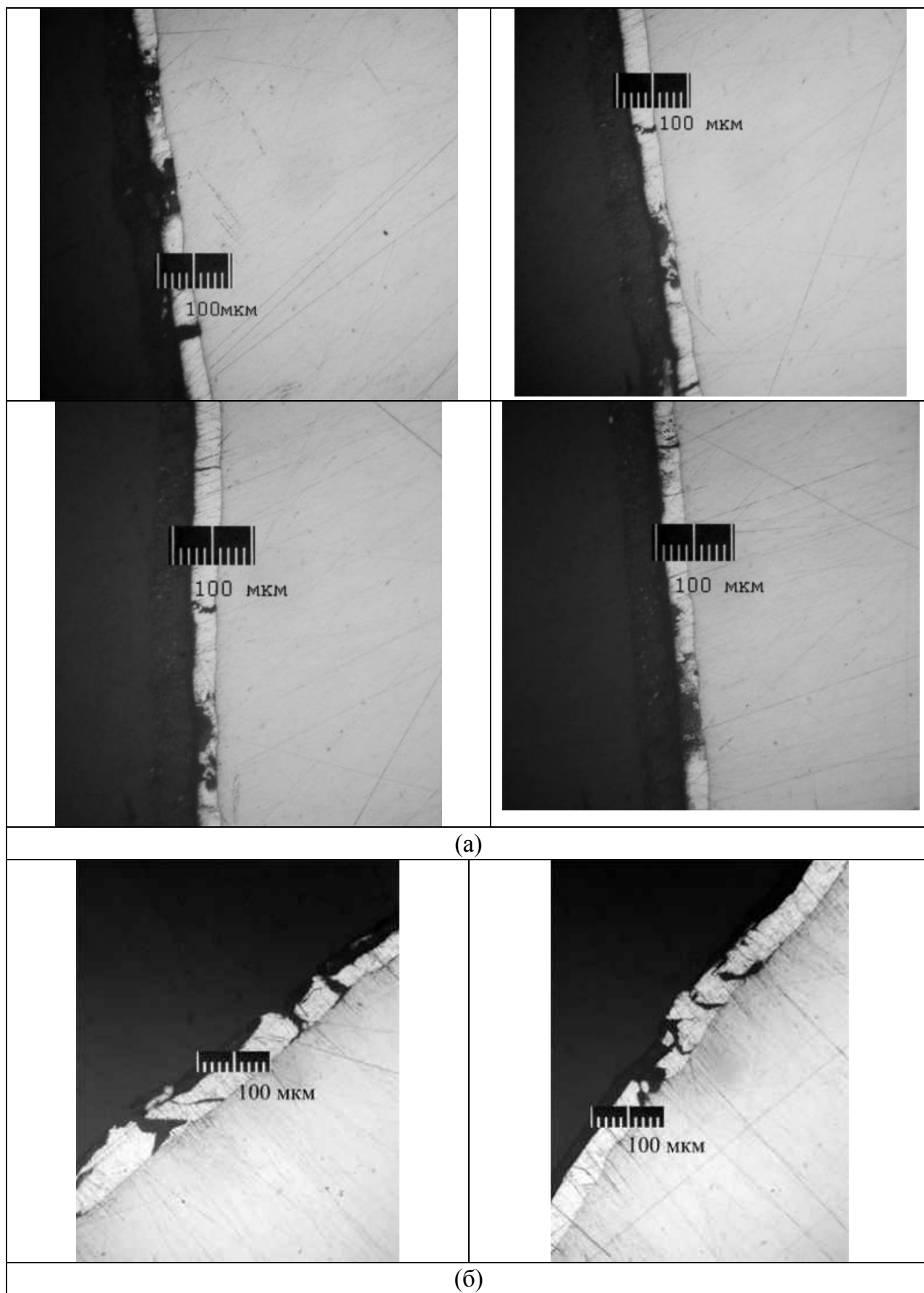


Рис.5 Состояние материала образца №3 (а) и №5 (б) в зоне гибки после испытаний в камере соляного тумана в течение 30 суток.

Анализ результатов исследования

Целью работы является исследование коррозионной стойкости элементов НФС «ZIAS» из сталей с покрытием Magnelis до и после профилирования, используемых для изготовления несущей конструкции навесной фасадной системы.

При анализе были проведены ускоренные коррозионные испытания по ГОСТ 9.401-91 и ГОСТ 9.308-85, имитирующие воздействие климатических факторов промышленных слабо- и среднеагрессивных сред с целью оценки защитных свойств и скорости коррозии покрытия Magnelis. Оценка состояния образцов и деталей производилась методами визуального анализа с применением бинокулярного микроскопа Альтами-MET и металлографического анализа. При расчете скорости коррозии был использован глубинный показатель (K_h) скорости коррозии, который для стали с покрытием Magnelis характеризует изменение толщины защитного слоя.

Оценивая поведение защитного покрытия, изменение цвета, появление коррозионных повреждений на поверхностях образцов, а также глубину и характер коррозионных повреждений было установлено, что за время испытаний наилучшие результаты получены на образцах №3 и №4. После профилирования образцов в зоне гибки выявлены множественные трещины, наличие которых значительно снизило коррозионную стойкость покрытия из-за преждевременного начала коррозионного процесса. Вне зоны гибки покрытие обладает высокой коррозионной стойкостью.

В материале образца №5 в зоне гибки также выявлены трещины, однако, их глубина (25 мкм) меньше толщины (35-40 мкм) слоя. Следовательно, наибольшей коррозионной стойкостью обладает сталь с покрытием Magnelis, толщина которого составляет 35-40 мкм. При длительной эксплуатации в зонах изгиба образующиеся продукты коррозии будут препятствовать взаимодействию участков металла, подвергнутых коррозии, с агрессивной средой.

Условия эксплуатации исследуемых сталей соответствуют ГОСТу 15150 «Машины, приборы и другие технические изделия. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды» соответствуют У2 (в условиях умеренного климата, под навесом) при воздействии воздушной слабо- и среднеагрессивных сред по СП

28.13330.2012 (СНиП 2.03.11-85) «Защита строительных конструкций от коррозии».

В результате исследования установлено, что покрытие Magnelis обладает высокими защитными свойствами. Скорость коррозии в слабоагрессивных и влажных 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 гибки, вследствие образования в покрытии множественных микротрещин. Срок службы покрытия Magnelis, толщина которого составляет 20-25 мкм, по экспертному прогнозу, в средах средней агрессивности составит порядка 25 лет; срок службы деталей с покрытием Magnelis толщиной 35-40 мкм составит порядка 50 лет.

Таким образом, в результате проведенного анализа установлено, что покрытие Magnelis рекомендуется использовать при изготовлении элементов НФС «ZIAS» для эксплуатации в промышленных средах, что весьма актуально, так как по действующим стандартам в средах средней агрессивности детали с цинковым покрытием без дополнительных лакокрасочных покрытий применены быть не могут.

Выводы

1. Элементы НФС «ZIAS» из низкоуглеродистых сталей с покрытием Magnelis обладают высокими защитными свойствами и рекомендуются для изготовления несущей конструкции навесных фасадных систем.

2. В результате проведенного анализа установлено, что срок службы элементов НФС «ZIAS» с покрытием Magnelis толщиной не менее 18 мкм в неагрессивной и слабоагрессивной средах составит не менее 50 лет.

3. Срок службы элементов НФС «ZIAS» с покрытием Magnelis толщиной не менее 25 мкм в среднеагрессивных средах (с повышенным содержанием сернистого газа и хлоридов) составит порядка 25 лет.

4. Срок службы элементов НФС «ZIAS» из с покрытием Magnelis толщиной не менее 35 мкм в среднеагрессивных средах (под навесом) составит порядка 50 лет.

каф. ЗМиТП
Тел.: 8(495) 951-22-34
e-mail: mail@expertcorr.misis.ru