



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.

20.04.2017

Заключение № 035/16-503-2

**«Исследование коррозионной стойкости и долговечности
профессиональных анкеров WAM, TSL, DRM, TUS и прочих
крепежных элементов, изготовленных из углеродистых сталей
с различными видами антикоррозионных покрытий»**

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Научный руководитель, заведующий кафедрой металлургии стали 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

Ковалев Александр Федорович

научный сотрудник

Шевейко Ольга Владимировна

Заявитель	ООО «ПТО «Тех-КРЕП»
Основание для проведения испытаний	Договор № 035/16-503 от 11 июля 2016 г.
Акт отбора образцов	от 17.01.2017
Дата проведения испытаний	начало 24 января 2017 г. окончание 20 апреля 2017 г
Задачи испытаний	Определение качества и оценка устойчивости к атмосферной коррозии анкеров и прочих крепежных элементов из коррозионностойких и углеродистых с различными видами цинковых покрытий сталей.
Испытательное оборудование	- камера влажности; - камера сернистого газа; - камера соляного тумана; - оптико-эмиссионный анализатор металлов «Bruker Elemental» - бинокулярный микроскоп МБС-200; - металлографический комплекс «Альтами МЕТ»
Образцы	Крепежные элементы изготовлены из: 1. Углеродистых сталей с цинковыми покрытиями: - электролитическим; - «горячим»; - термодиффузионным. 2. Коррозионностойких сталей.
Нормативные документы	1. ГОСТ 9.307-89 «ЕСЗКС. Покрытия цинковые горячие. Общие требования и методы контроля» 2. ГОСТ Р 9.316 «ЕСЗКС. Покрытия термодиффузионные цинковые». 3. ГОСТ 15150-69 «Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов, категории, условия эксплуатации в части воздействия климатических факторов» внешней среды» 4. Свод правил СП 28.13330.2012 «Защита строительных конструкций от коррозии» (актуализированная редакция СНиП 2.03.11-85).
Результаты исследований	Заключение № 035/16-503-2

На исследование поступили крепежные элементы, изготовленные из коррозионно-стойких и углеродистых оцинкованных сталей (табл.1).

Отбор образцов проводился представителями Заказчика в соответствии с актом отбора образцов от 15.11.16.

Таблица 1

Область применения	Наименование	Фото изделия	Материал и тип защитного покрытия
Анкер для высоких нагрузок с нейлоновым кольцом	TSL		Гальваническое цинковое покрытие. Термодиффузионное цинковое покрытие.
Анкер клиновой	WAM		Гальваническое цинковое покрытие. Горячее цинковое покрытие Термодиффузионное цинковое покрытие Коррозионностойкая сталь A4
Забивной анкер	DRM		Гальваническое цинковое покрытие Горячее цинковое покрытие Термодиффузионное цинковое покрытие
Анкер-шуруп	TUS		Гальваническое цинковое покрытие. Термодиффузионное цинковое покрытие
Металлическая шпилька для химических анкеров	SKA		Термодиффузионное цинковое покрытие
Шпилька резьбовая	TR		Термодиффузионное цинковое покрытие
Болт	din 933		Термодиффузионное цинковое покрытие

Гайка	din 934		Термодиффузионное цинковое покрытие
Шайба	din 9021		Термодиффузионное цинковое покрытие
	din 125		
	din 127		
Гвоздь для дюбелей для теплоизоляции	IZM/IZL-T		Термодиффузионное цинковое покрытие
Гвоздь для дюбель-гвоздя	SM/SMX		Термодиффузионное цинковое покрытие
Саморез для деревянных лаг	GL		Термодиффузионное цинковое покрытие
Саморез кровельный	KPcZP		Термодиффузионное цинковое покрытие
Саморез для сэндвич-панелей	SSP		Термодиффузионное цинковое покрытие
Универсальный металлический дюбель	MUD		Термодиффузионное цинковое покрытие
Шуруп по бетону	FRS-S		Термодиффузионное цинковое покрытие
Гайка	TR din 6334		Термодиффузионное цинковое покрытие

Цель работы: оценить качество и коррозионную стойкость материалов крепежных элементов при эксплуатации в средах слабой и средней степеней агрессивности.

При исследовании были выполнены следующие работы:

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



Проведение ускоренных коррозионных испытаний

Ускоренные испытания в соответствии с ГОСТ 9.308-85 проводили в течение 30 суток в климатических камерах, имитирующих среды со степенями агрессивности:

- в камере влажности, имитирующей слабоагрессивную среду (при относительной влажности 98% и температуре в камере 40⁰ С);
- в камере сернистого газа, имитирующей среднеагрессивную промышленную среду (при относительной влажности 98%, температуре в камере 40⁰ С и воздействии SO₂);
- в камере соляного тумана, имитирующей среднеагрессивную приморскую среду (периодическое распыление 3% -ного раствора NaCl при относительной влажности 98% и температуре в камере 40⁰ С).

Результаты испытаний представлены в протоколах (прил. 1-3).

Материалы исследования

Коррозионностойкая сталь. В результате спектрального анализа установлено, что материал исследуемых анкеров, взятых выборочно, соответствует коррозионностойкой аустенитной стали марки A4 по DIN (03X17H14M2 по ГОСТ 5632-72 «Стали высоколегированные и сплавы. Коррозионностойкие, жаростойкие и жаропрочные. Марки»).

Состав стали и результаты спектрального анализа приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Марка стали	Содержание в % по массе										
	Fe	C	Si	Mn	Cr	S	P	Mo	Ni	W	Cu
Анкер	основа	0,036	0,367	0,704	16,81	0,010	0,016	1,856	10,36	1,273	0,156
A4 (DIN)	основа	<0,08	<1,0	<2,0	16-18	0,03	0,05	2-2,5	10-14	-	-

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

Крепежные элементы с электролитическим цинковым покрытием. В результате анализа установлено, что после испытаний в камере влажности на поверхностях деталей (рис.1) наблюдаются локальные пятна белого цвета, свидетельствующие о

вующие о коррозии цинкового покрытия в начальной стадии, площадь которых составляет не более 5 %.



Рис. 1. Внешний вид анкеров с гальваническим цинковым покрытием с голубой (а, г) и радужной (б, в) пассивацией после испытаний в камере влажности.

Металлографический анализ проводили с целью определения толщины и качества покрытий, а также оценки глубины и характера коррозионных повреждений. Шлифы приготовлены в продольном и поперечном сечениях деталей.

В результате анализа установлено, что **гальваническое цинковое покрытие** равномерно по всему периметру шлифов. Толщина защитного слоя составляет 10-12 мкм (рис.2). После испытаний в камере влажности в течение 30 суток коррозионных повреждений в цинковом слое не выявлено.



	 100 мкм	Анкер-болт TSL M8 из углеродистой стали с покрытием гальванический цинк + голубая пассивация Толщина 8-10 мкм
	 100 мкм	Анкер клиновой WAM из углеродистой стали с покрытием гальванический цинк + радиужная пассивация Толщина 10 мкм
	 100 мкм	Распорный элемент TSX-500 из углеродистой стали с покрытием гальванический Zn + голубая пассивация Толщина 10 мкм
	 100 мкм	Распорный элемент TSX-S из углеродистой стали с покрытием гальванический Zn+ радиужная пассивация Толщина 10 мкм

Рис.2. Состояние материалов анкеров с гальваническим цинковым покрытием после испытаний в камере влажности в течение 30 суток.

Анкеры с горячим цинковым покрытием. В результате анализа внешнего вида установлено, что горячее цинковое покрытие светло-серого цвета, без наплывов, механических включений и без видимого рисунка кристаллизации, что соответствует требованиям ГОСТ 9.307–89 «ЕСЗКС. Покрытия цинковые горячие. Общие требования и методы контроля».

После испытаний в течение 30 суток в *камере влажности* (рис.3 а) на поверхностях деталей выявлено незначительное помутнение в виде тонкого белого налета, типичного для коррозии цинка в начальной стадии. После выдержки в *камерах сернистого газа* (рис.3 а) и *соляного тумана* (рис.3 б) на головках и цилиндрических частях анкеров выявлен сплошной белый налет. Кроме вышеуказанных повреждений в камере соляного тумана на резьбовой части наблюдаются локальные пятна белого цвета с объемными продуктами коррозии цинка (рис.3в).



Рис. 3. Внешний вид анкеров с горячим цинковым покрытием после испытаний в камерах влажности (а), сернистого газа (б) и соляного тумана (в).

В результате металлографического анализа установлено, что толщина горячего цинкового покрытия на анкерах составляет 45-50 мкм (рис.4а). Анализ шлифов показал, что после испытаний в камере влажности коррозионных повреждений в защитном слое не зафиксировано (рис.4б), после выдержки в атмосфере соляного

тумана в цинковом покрытии выявлена равномерно-язвенная коррозия глубиной до 20 мкм (рис.4в).

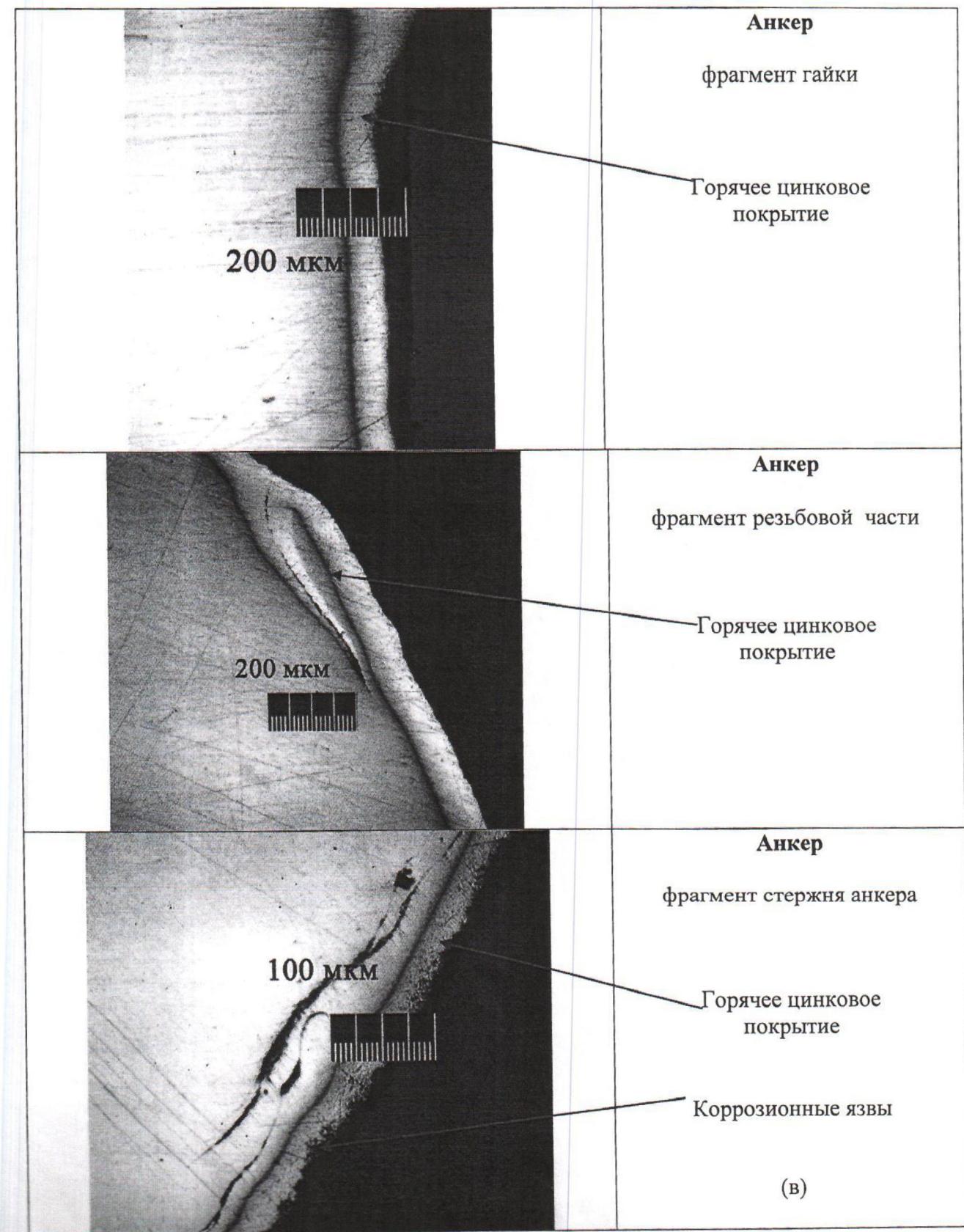
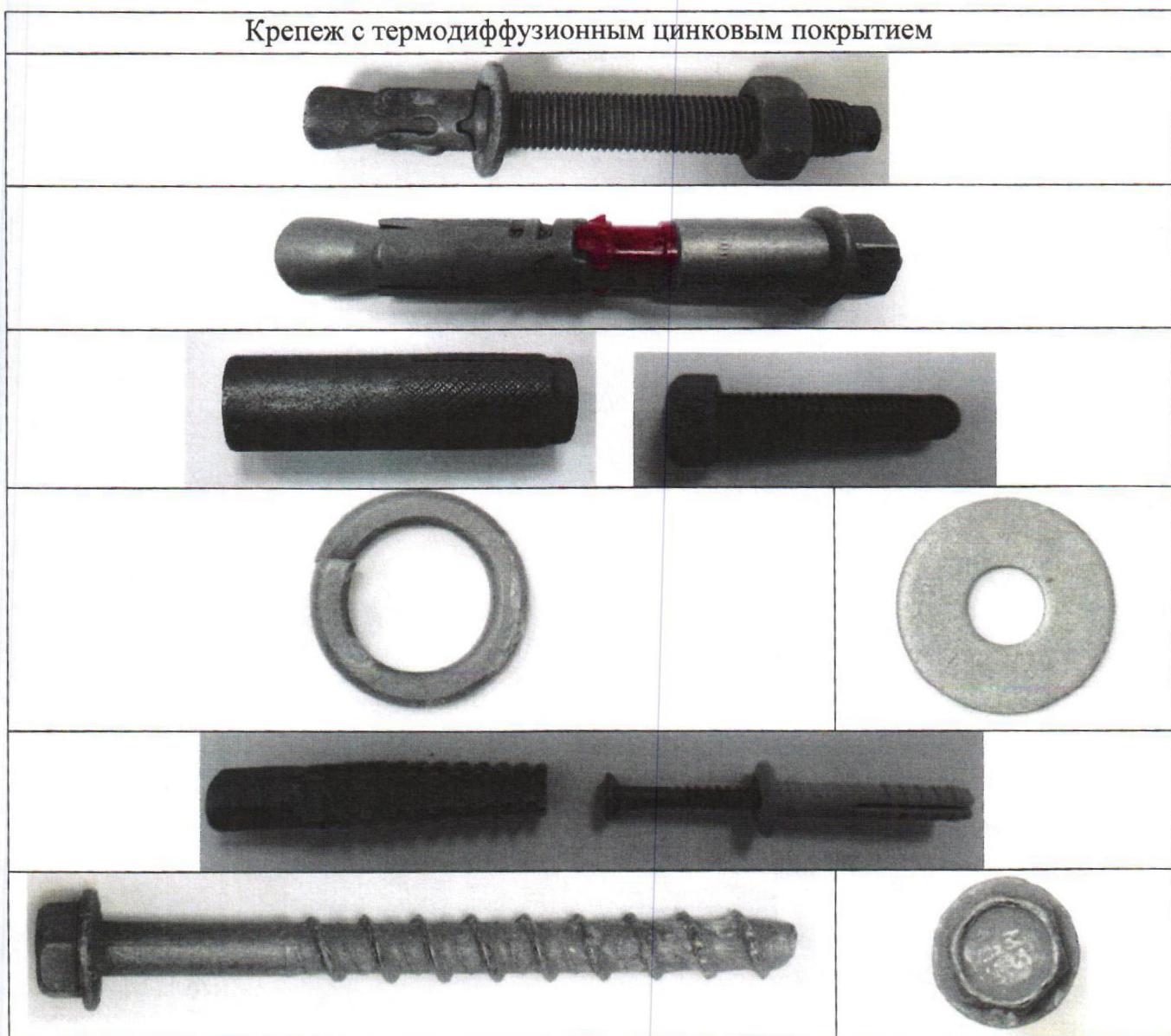


Рис.4. Состояние материалов анкеров с горячим цинковым покрытием в состоянии поставки (а) и после испытаний в камерах влажности (б) и соляного тумана (в) в течение 30 суток.

Крепежные элементы с термодиффузионным цинковым покрытием.

Термодиффузионное покрытие на изделиях в состоянии поставки темно-серого цвета, равномерное, гладкое, без признаков нарушения сплошности, что соответствует требованиям ГОСТ 9.316–2006 «ЕСЭКС. Покрытия термодиффузионные цинковые. Общие требования и методы контроля».

После испытаний *в камере влажности* (рис.5а) на деталях выявлено незначительное помутнение поверхностей. После выдержки *в камере сернистого газа* (рис.5 б) на поверхностях крепежа обнаружен сплошной белый налет и локальные пятна ржавчины в зонах острых кромок; после воздействия *соляного тумана* (рис.5 в) – тонкий белый налет, локальные пятна с объемными продуктами коррозии цинка и пятна ржавчины.





Брн



Рис



Камера соляного тумана (в)

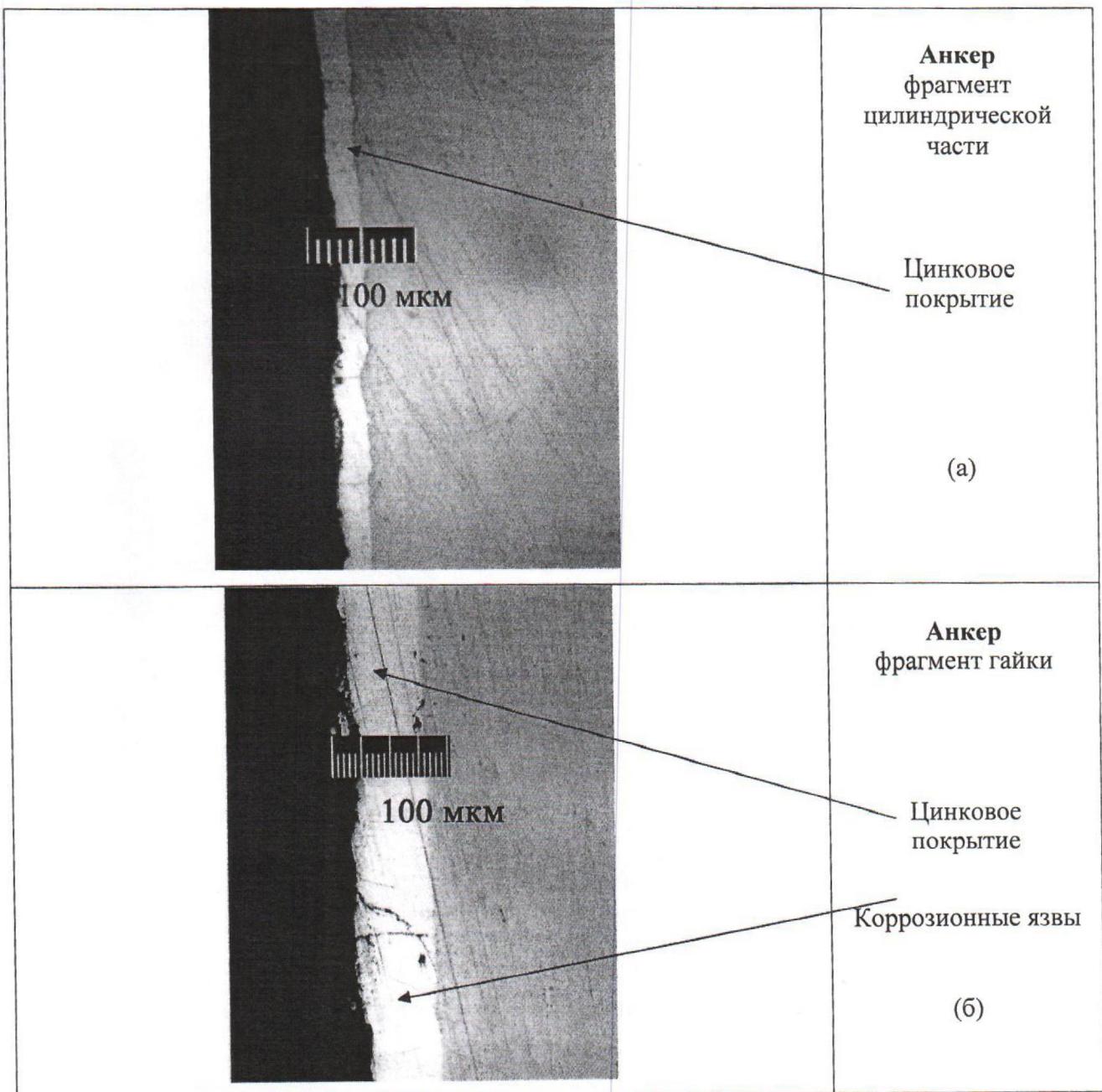
Рис. 5. Внешний вид крепежных элементов с термодиффузионным цинковым покрытием после испытаний в камерах влажности (а), сернистого газа (б) и соляного тумана (в).

В результате металлографического анализа установлено, термодиффузионное цинковое покрытие на исследуемых деталях равномерное как на резьбовых, так и

Bur

на цилиндрических частях, толщина которого составляет 25-30 мкм (рис.6 а) и 60-100 мкм (рис.6 б-г).

После испытаний в камере сернистого газа в защитном слое выявлены коррозионные язвы глубиной до 10 мкм (рис.6 б), после выдержки в камере соляного тумана в материале деталей обнаружена равномерно-язвенная коррозия глубиной до 15 мкм (рис.6 в, г).



Борисов

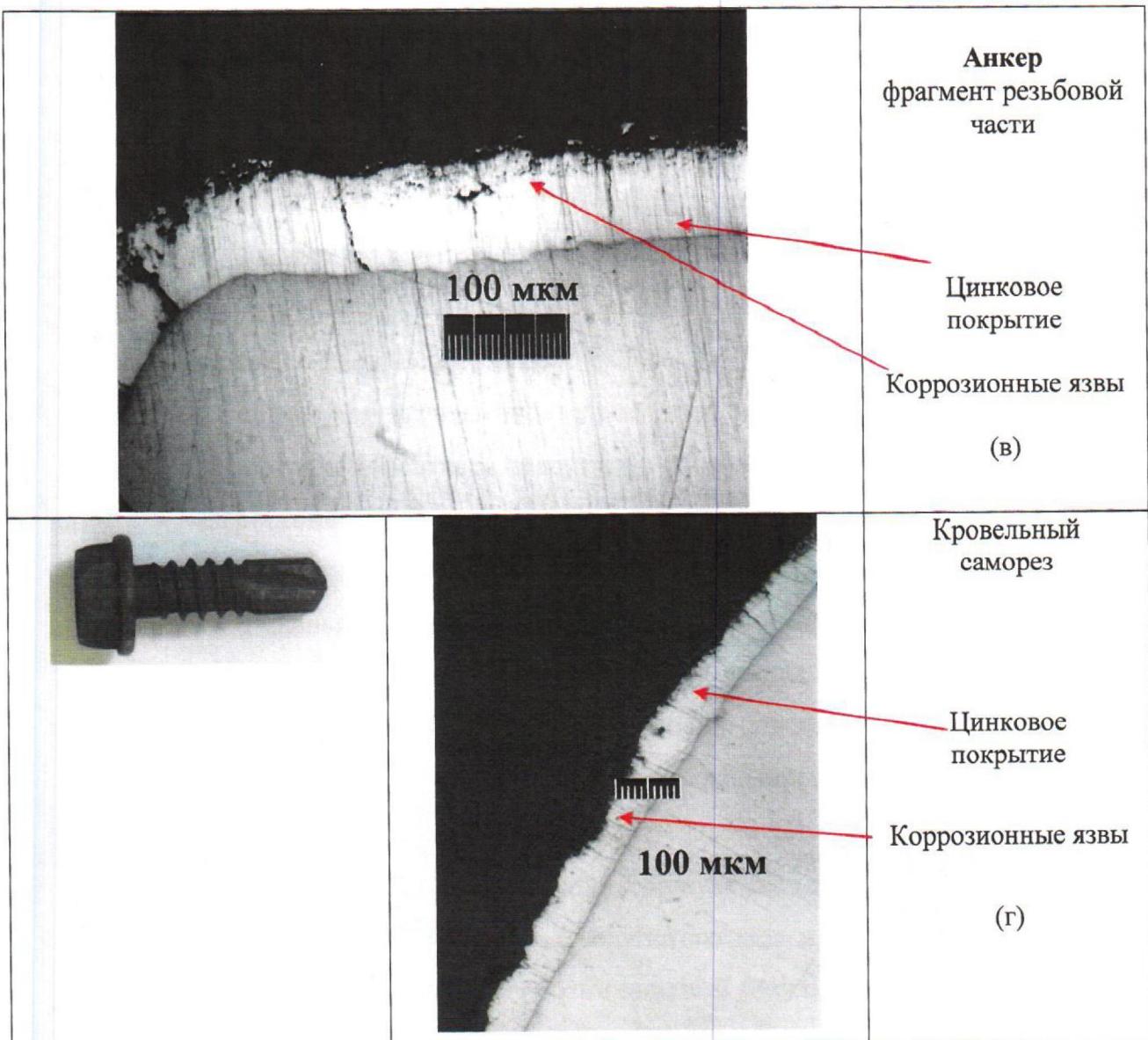


Рис.6. Состояние материалов крепежа с термодиффузионным цинковым покрытием после испытаний в камере влажности (а), сернистого газа (б) и соляного тумана (в, г).

Анализ результатов исследования

В результате исследований **крепежных элементов** проведена оценка коррозионной стойкости и долговечности деталей при эксплуатации в средах слабой и средней степени агрессивности. При анализе проведены ускоренные коррозионные испытания по ГОСТ 9.308-85 в камерах влажности, сернистого газа и соляного тумана с целью оценки защитных свойств и скорости коррозии гальванических, горячих и термодиффузионных цинковых покрытий. Оценку состояния деталей производили методами визуального и металлографического анализов с применением бинокулярного микроскопа Альтами-МЕТ.

Бур

Анкеры, изготовленные из коррозионностойкой стали А4, устойчивы при эксплуатации в средах слабой и средней агрессивности. Высокая коррозионная стойкость сталей А4 объясняется высоким содержанием хрома (от 16 до 19%), который на поверхности деталей образует защитную пассивную пленку. Стали после закалки имеют однородное строение аустенита. Молибден, входящий в состав сталей, повышает устойчивость пассивного состояния и обеспечивает более высокую стойкость аустенитных сталей в хлоридсодержащих средах.

Гальваническое покрытие относительно устойчиво в неагрессивных и слабоагрессивных атмосферах. Толщина исследуемого слоя составляет 10-12 мкм, для повышения атмосферостойкости и улучшения внешнего вида деталей применена голубая и радужная пассивации. После испытаний в камере влажности на поверхностях деталей выявлено локальное помутнение защитного слоя. Скорость атмосферной коррозии исследованного покрытия в слабоагрессивных средах (под навесом) составит не более 1 мкм/год. Учитывая возможность капельной конденсации влаги и, следовательно, язвенного повреждения цинка, можно прогнозировать сохранение защитной способности цинкового покрытия в течение порядка 20 лет.

Горячее цинковое покрытие. На поверхностях деталей с «горячим» цинковым покрытием после испытаний в камерах сернистого газа и соляного тумана выявлен сплошной белый налет продуктов коррозии цинка. В результате металлографического анализа установлено, что толщина покрытия составляет не менее 45 мкм. После испытаний в каждой из коррозионно-агрессивных атмосфер в покрытии выявлены коррозионные повреждения глубиной до 20 мкм. Высокая коррозионная стойкость исследуемых деталей обусловлена тем, что во время эксплуатации на покрытии образуются продукты коррозии цинка, создающие барьерный эффект, тормозящие развитие коррозионного процесса и препятствующие разрушению слоя защитного покрытия. Пленка, образующаяся на поверхности цинка, определяет конечную скорость течения процесса коррозии, идущего с торможением во времени.

Термодиффузионное покрытие представляет собой цинко-железистый сплав, который обладает более высокой коррозионной стойкостью, чем горячие и гальванические цинковые покрытия. На поверхностях деталей с термодиффузионным цинковым покрытием после испытаний в камерах сернистого газа и соляного тумана выявлен белый налет продуктов коррозии цинка и локальные пятна ржавчины. При оцен-

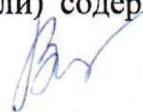
ке скорости коррозии принято, что толщина слоя на деталях составляет не менее 50 мкм и не менее 25 мкм.

Оценка скорости коррозии с учетом полученных экспериментальных результатов позволяет установить, что в средах средней агрессивности (в соответствии со Сводом правил СП 28.13330.2012) скорость коррозии горячего и термодиффузионного цинковых покрытий под навесом составляет 2-3 мкм/год и 1-2 мкм/год соответственно; на открытом воздухе скорость коррозии термодиффузионного цинкового покрытия составит 2-3 мкм/год (при расчете скорости коррозии принято, что 30 суток непрерывных испытаний в специальных атмосферах соответствуют 15 годам реальной эксплуатации в среде средней агрессивности).

Аппроксимация коррозионного поражения на длительный срок эксплуатации позволяет установить, что оценка относительной долговечности стальных элементов с покрытиями гальванический (не менее 10 мкм), горячий (не менее 45 мкм) и термодиффузионный (не менее 25 мкм) в средах слабой агрессивности составит порядка 20 лет (для гальванического покрытия) и 50 лет (для горячего и термодиффузионного покрытия соответственно). Для крепежных деталей с термодиффузионным цинковым покрытием, толщина которого составляет 50-60 мкм, срок службы в среднеагрессивных средах срок составит порядка 50 лет при эксплуатации под навесом и порядка 30 лет - на открытом воздухе.

Выходы

1. В результате проведенных испытаний и оценки качества покрытий на деталях установлено, что крепежные элементы с:
 - гальваническим цинковым покрытием, толщина которого составляет 10-12 мкм, относительно устойчивы к коррозии и могут эксплуатироваться в неагрессивных и слабоагрессивных средах сроком до 20 лет;
 - горячим цинковым покрытием, толщина которого составляет не менее 45 мкм, и с термодиффузионным цинковым покрытием, толщина которого составляет не менее 25 мкм, устойчивы к коррозии и могут эксплуатироваться в средах слабой агрессивности сроком до 50 лет (под навесом);
 - термодиффузионным цинковым покрытием, толщина которого составляет не менее 50 мкм, устойчивы к коррозии и могут эксплуатироваться в средах слабой, промышленной (при повышенной влажности и (или) содержании



- сернистого газа) и приморской (при повышенной влажности и содержании хлоридов) сред средней агрессивности сроком до 50 лет.
2. Срок службы деталей с термодиффузионным цинковым покрытием, толщина которого составляет не менее 50 мкм при эксплуатации на открытом воздухе составит порядка 40 лет и 30 лет в средах слабой и средней агрессивностей соответственно.
 3. Крепежные изделия, изготовленные из коррозионностойкой стали A4 устойчивы к коррозии и рекомендуются для эксплуатации в слабоагрессивных и среднеагрессивных промышленных (при повышенной влажности и (или) содержании сернистого газа) и приморских (при повышенной влажности и содержании хлоридов) средах сроком до 50 лет при эксплуатации на открытом воздухе.
 4. Анализ результатов и выводы относятся только к испытанным деталям без учета воздействия других элементов строительных 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

