



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.

12.01.2022

Заключение № 110/21-501

**«Исследование коррозионной стойкости и долговечности
монтажных систем EASYFIX из углеродистых сталей с
защитными покрытиями»**

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Научный руководитель, заведующий
кафедрой металлургии 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

Инженер научного проекта, к.х.н.



Сафонов Иван Александрович

Научный сотрудник



Шевейко Ольга Владимировна

Научный сотрудник



Ковалев Александр Федорович

Инженер I категории, к.т.н.



Шибеева Татьяна Владимировна

Заявитель	ООО «ПРОМРЕГИОН»
Основание для проведения испытаний	Договор № 110/21-501 от 23.09.2021 г.
Дата проведения исследований	начало 24.11.2021 г. окончание 15.12.2021 г.
Задачи испытаний	Оценка качества и долговечности элементов монтажной системы EASYFIX в слабо-, средне-, сильноагрессивных средах
Образцы	Пластины угловые из углеродистой стали с цинковыми покрытиями: гальваническим, горячим; цинк-ламельным покрытием. Образцы в сборки
Оборудование	- камера сернистого газа Liebisсh KEA 300A; - камера соляного тумана SST-6MS; - климатическая камера тепла, холода и влаги КЛИМАТИКПРО КТ-ТХВ-80 (КВ); - микроскоп ZEISS с системой анализа изображения «Thixomet»
Документация	1. ГОСТ 9.307-89 «ЕСЗКС. Покрытия цинковые горячие. Общие требования и методы контроля» 2. ГОСТ Р 9.301-86 «ЕСЗКС. Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Общие требования». 3. ГОСТ ISO 2081-2017 «Металлические и другие неорганические покрытия. Электролитические покрытия цинком с дополнительной обработкой по чугуноу и стали». 4. ГОСТ 15150-69 Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов, категории, условия эксплуатации в части воздействия климатических факторов внешней среды. 5. СП 28.13330.2017 «Защита строительных конструкций от коррозии» (актуализированная редакция СНиП 2.03.11-85) 6. ГОСТ ISO 9223-2017 Коррозия металлов и сплавов. Коррозионная агрессивность атмосферы. Классификация, определение и оценка
Результаты исследований	Заключение № 110/21-501

Цель работы: оценка коррозионной стойкости и долговечности элементов монтажной системы EASYFIX из углеродистых сталей с гальваническим цинковым, горячим цинковым, цинк-ламельным покрытиями, при эксплуатации в слабо-, средне, сильноагрессивных средах СП 28.13330.2017 и ГОСТ ISO 9223-2017.

Образцы для испытаний: фрагменты элементов монтажной системы EASYFIX из углеродистых сталей с защитными покрытиями (рис. 1).

№1 – Пластина угловая EFA 2 3D с гальваническим цинковым покрытием.

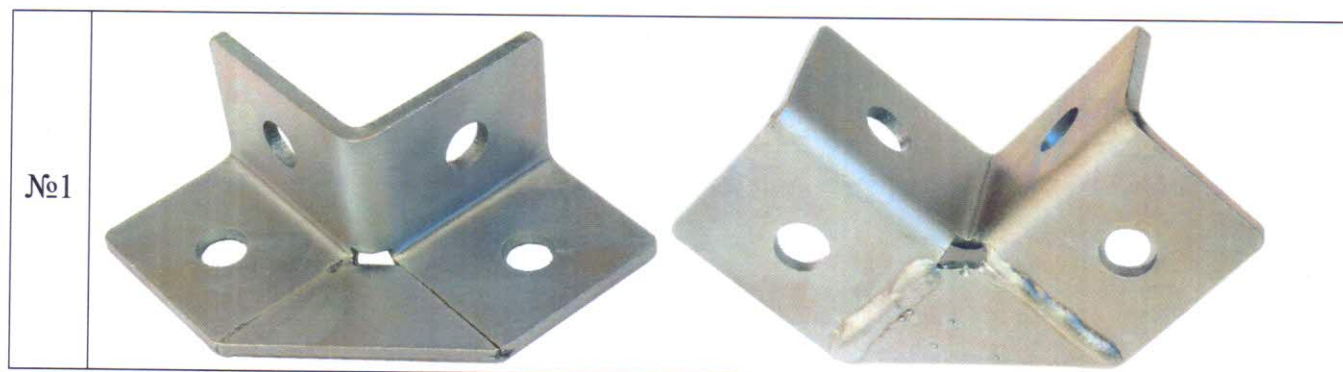
№2 – Пластина угловая EFA 2 3D с горячим цинковым покрытием.

№3 – Пластина угловая EFA 2 3D с цинк-ламельным покрытием.

№4 – В сборе. Профиль монтажный EF 41/20 с покрытием сендзимир + пластина угловая, угол 135 градусов EFA 45 с гальваническим цинковым покрытием + Болт M10*25 к.п. 8.8, с гальваническим цинковым покрытием + Шайба M10 с гальваническим цинковым покрытием + Гайка закладная EFN 10 с гальваническим цинковым покрытием.

№5 – В сборе. Профиль монтажный EF 41/20 ГЦ с покрытием горячий цинк + пластина угловая, угол 135 градусов EFA 45 ГЦ с покрытием горячий цинк + Болт M10*25 к.п. 8.8 Delta с цинк-ламельным покрытием + Шайба M10 Delta с цинк-ламельным покрытием + Гайка закладная EFN 10 Delta с цинк-ламельным покрытием.

Отбор образцов проводился представителями Заказчика.



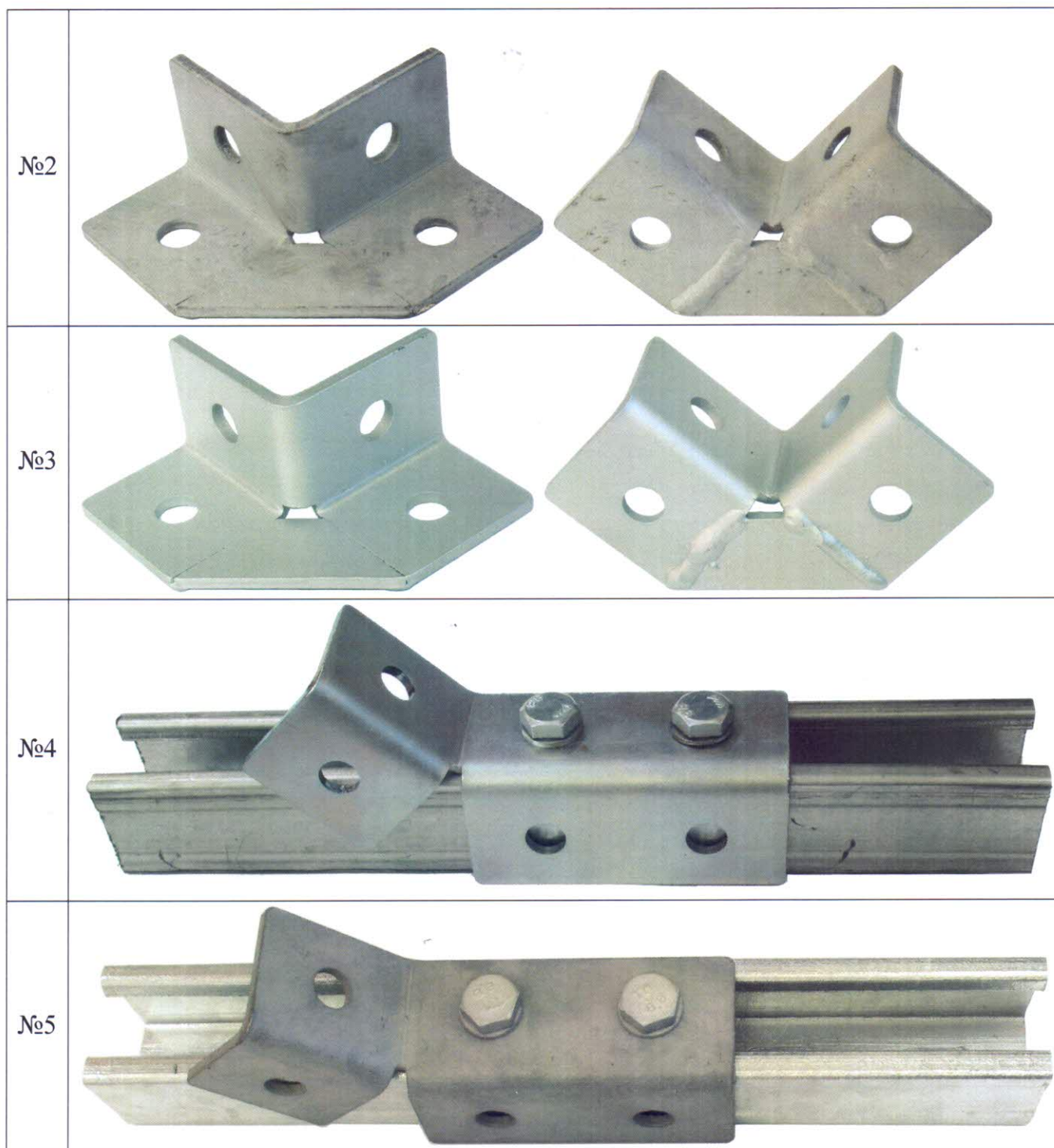


Рис. 1 Внешний вид фрагментов элементов монтажной системы EASYFIX в состоянии поставки

При исследовании были выполнены следующие работы:

1. Ускоренные коррозионные испытания.
2. Анализ внешнего состояния поверхностей деталей.
3. Металлографический анализ.
4. Оценка коррозионной стойкости и долговечности.

Методики исследований.

1. Ускоренные коррозионные испытания проведены по ГОСТ 9.308-85 «Покрyтия металлические и неметаллические неорганические. Методы ускоренных коррозионных испытаний» в течение 500 ч в климатических камерах:

– влажности (КВ), имитирующей слабоагрессивную среду (при относительной влажности 98 % и температуре в камере 40 °С;

– сернистого газа (КСГ), имитирующей среднеагрессивную среду (при относительной влажности 98%, температуре в камере 40 °С и воздействии SO₂);

– соляного тумана (КСТ), имитирующей среднеагрессивную среду (периодическое распыление 3%-го раствора NaCl при относительной влажности 98% и температуре в камере 40 °С).

Один цикл испытаний в камере: воздействие агрессивной атмосферы в течение 8 ч, далее выдержка в камере при отключении искусственной атмосферы при температуре 25 °С в течение 16 ч.

2. Внешний вид поверхностей деталей до, во время и после испытаний оценивали визуально по ГОСТ 9.307-89 «Покрyтия цинковые горячие. Общие требования и методы контроля», ГОСТ Р 9.301-86 «ЕСЗКС. Покрyтия металлические и неметаллические неорганические. Общие требования», ГОСТ 9.311-87 «Покрyтия металлические и неметаллические неорганические. Метод оценки коррозионных поражений».

3. Металлографические исследования проведены на микроскопе ZEISS с системой анализа изображения «Thixomet». Шлифы изготовлены в поперечном сечении исследуемых образцов.

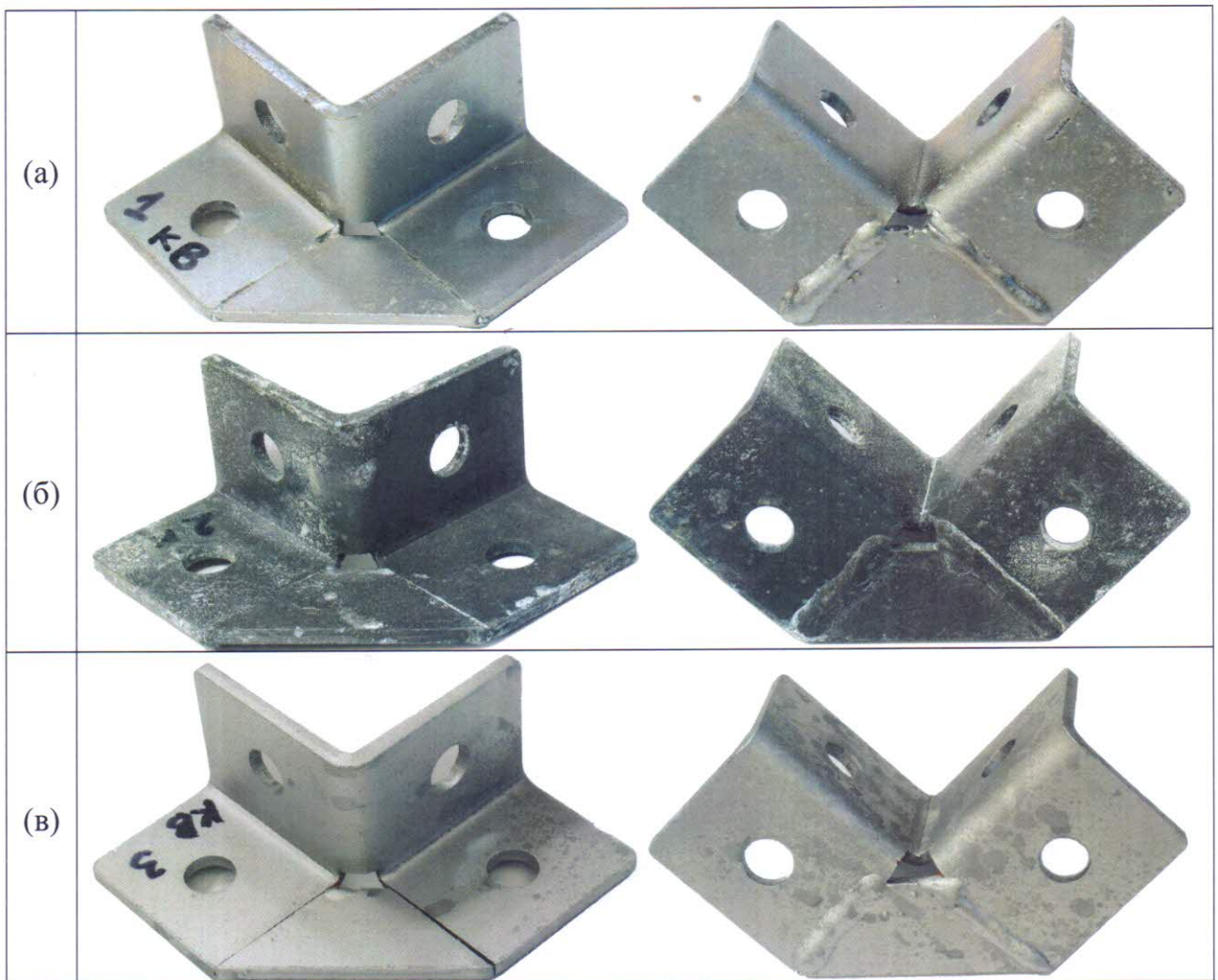
4. Долговечность покрытий оценивали согласно агрессивности эксплуатируемых сред по СП 28.13330.2017 «Защита строительных конструкций от коррозии» (СНиП 2.03.11-85), ГОСТ ISO 9223-2017 «Коррозия металлов и сплавов. Коррозионная активность атмосфер».

Результаты исследования

В результате исследования *внешнего вида* образцов установлено, что пластины угловые №1-№3 изготовлены с применением сварки в один проход. В состоянии поставки покрытие гальванический цинк (№1) серебристого цвета, с радужным блеском, ровное, гладкое. Видимые дефекты гальванического цинкового покрытия,

такие как пузыри, ямки, шероховатость, трещины или непокрытые участки отсутствуют, что соответствует требованиям ГОСТ ISO 2081-2017. Горячее цинковое покрытие (№2) шероховатое, матовое, серебристо-серого цвета, без наплывов, трещин, забоин и вздутий; коррозионных повреждений покрытия и стальной основы не наблюдается, что соответствует требованиям ГОСТ 9.307-89 «ЕСЗКС. Покрытия цинковые горячие. Общие требования и методы контроля». Цинк-ламельное покрытие (№3) светло-серого цвета, равномерное, гладкое, полублестящее, без признаков нарушения сплошности и без коррозионных повреждений.

После испытаний в камере влажности в течение 500 ч на оцинкованных образцах наблюдается потемнение поверхностей и локальный белый налет (рис. 2 а, б, г, д). На поверхностях образца №3 выявлено потемнение цинк-ламельного покрытия в виде пятен (рис. 2 в).



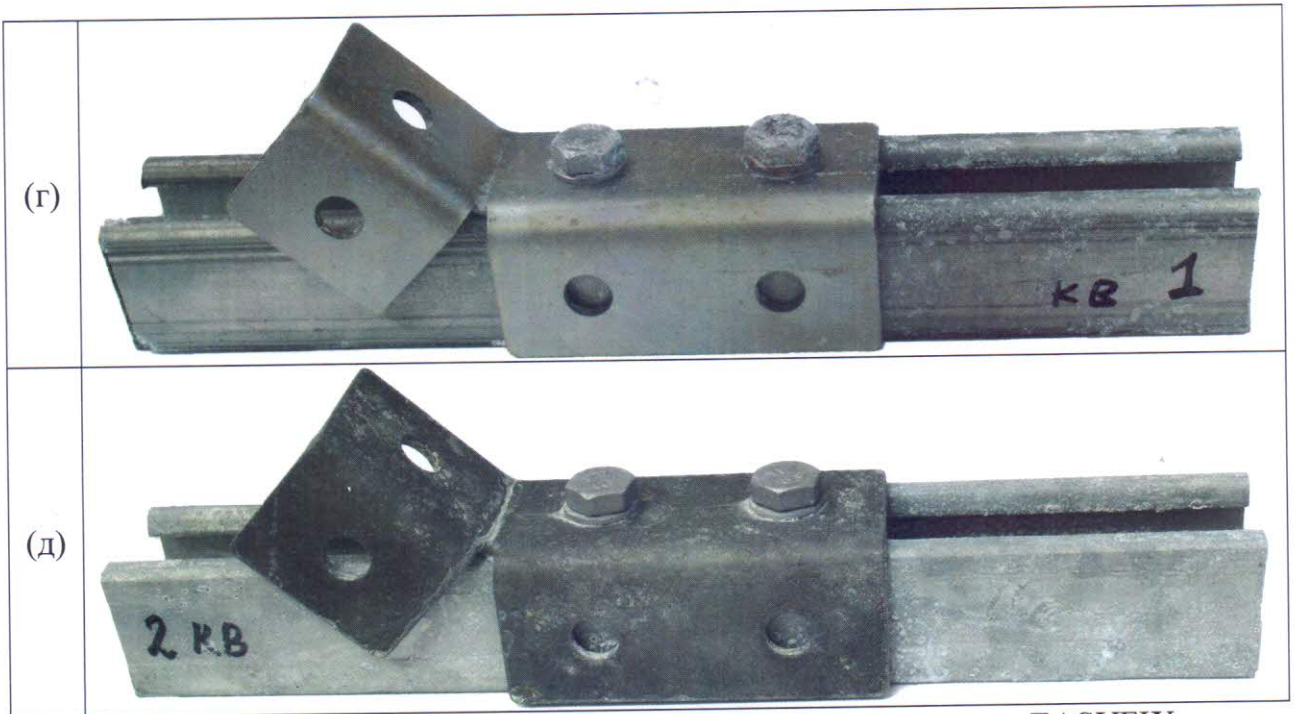
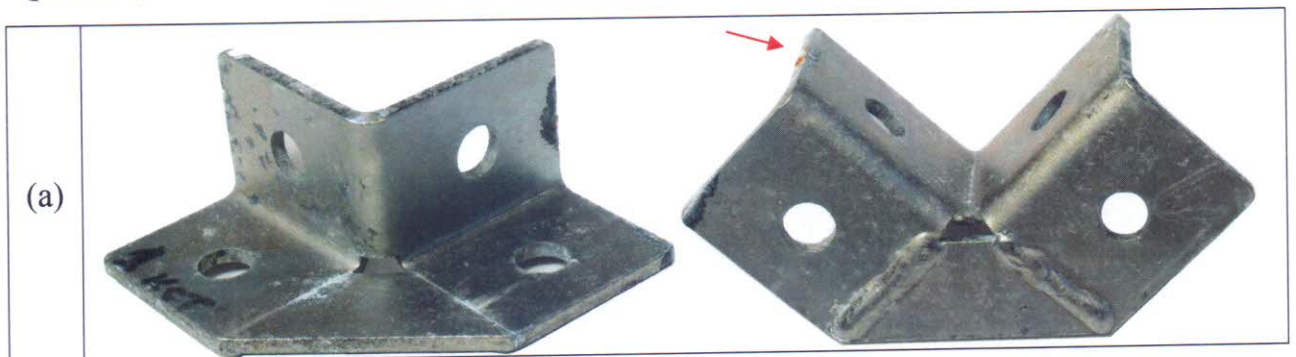


Рис. 2 Внешний вид фрагментов элементов монтажной системы EASYFIX: угловые пластины №1-№3 (а-в) и фрагменты в сборе №4 (г), №5 (д) после испытаний в КВ в течение 500 часов

После испытаний в камере соляного тумана в течение 500 ч обнаружено потемнение гальванического цинкового покрытия на угловой пластине №1 и №4 и тонкий белый налет (рис. 3 а, г). Также в области сварных швов и торцах образца №1 наблюдаются более плотные потеки продуктов коррозии цинка белого цвета (рис. 3 а); на торцах присутствуют темные пятна и точки ржавчины (указаны стрелкой).

На поверхностях образцов с горячим цинковым покрытием наблюдается сплошной плотный белый налет (рис. 3 б, г, д); с цинк-ламельным покрытием – сплошной тонкий белый налет и точки ржавчины в зоне сварного соединения (рис. 3 в).



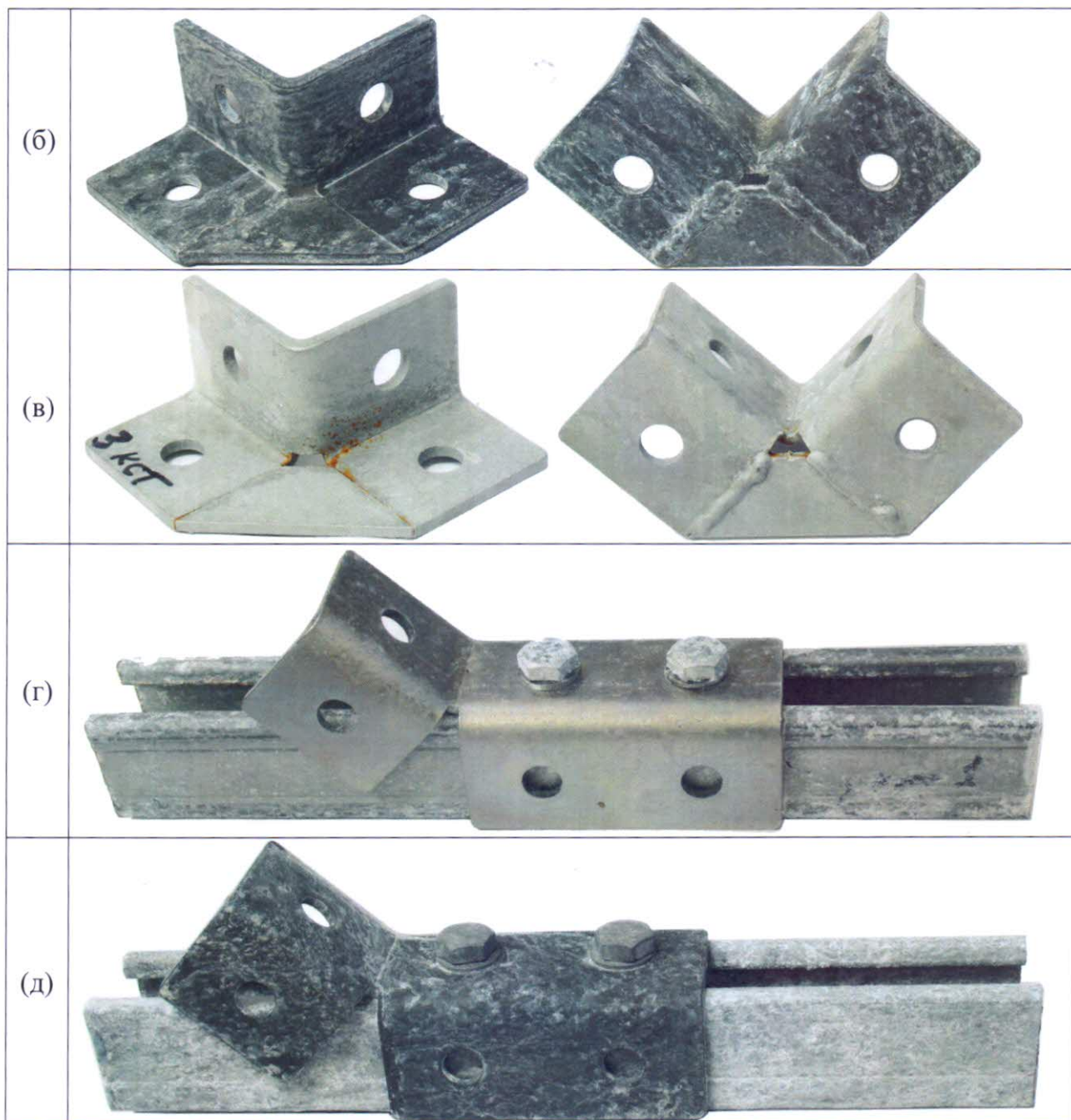


Рис. 3 Внешний вид фрагментов элементов монтажной системы EASYFIX: угловых пластины №1-№3 (а-в) и фрагменты в сборе №4 (г), №5 (д) после испытаний в КСТ в течение 500 часов

В результате испытаний в камере сернистого газа в течение 500 ч зафиксировано потемнение и белый налет пятнами на поверхностях с гальваническим цинковым покрытием (рис. 4 а, г). На торцах угловой пластины №1 обнаружена ржавчина (указана стрелками, рис. 4 а). На поверхности образцов с горячим цинковым покрытием наблюдается сплошной плотный белый слой продуктов коррозии цинка (рис. 4 б, д). На профиле образца №4 белый налет

выражен менее ярко (рис. 4 г). У образца №3 обнаружено потемнение поверхностей, а также ржавчина на сгибах и по линии сварного соединения (рис. 4 в).

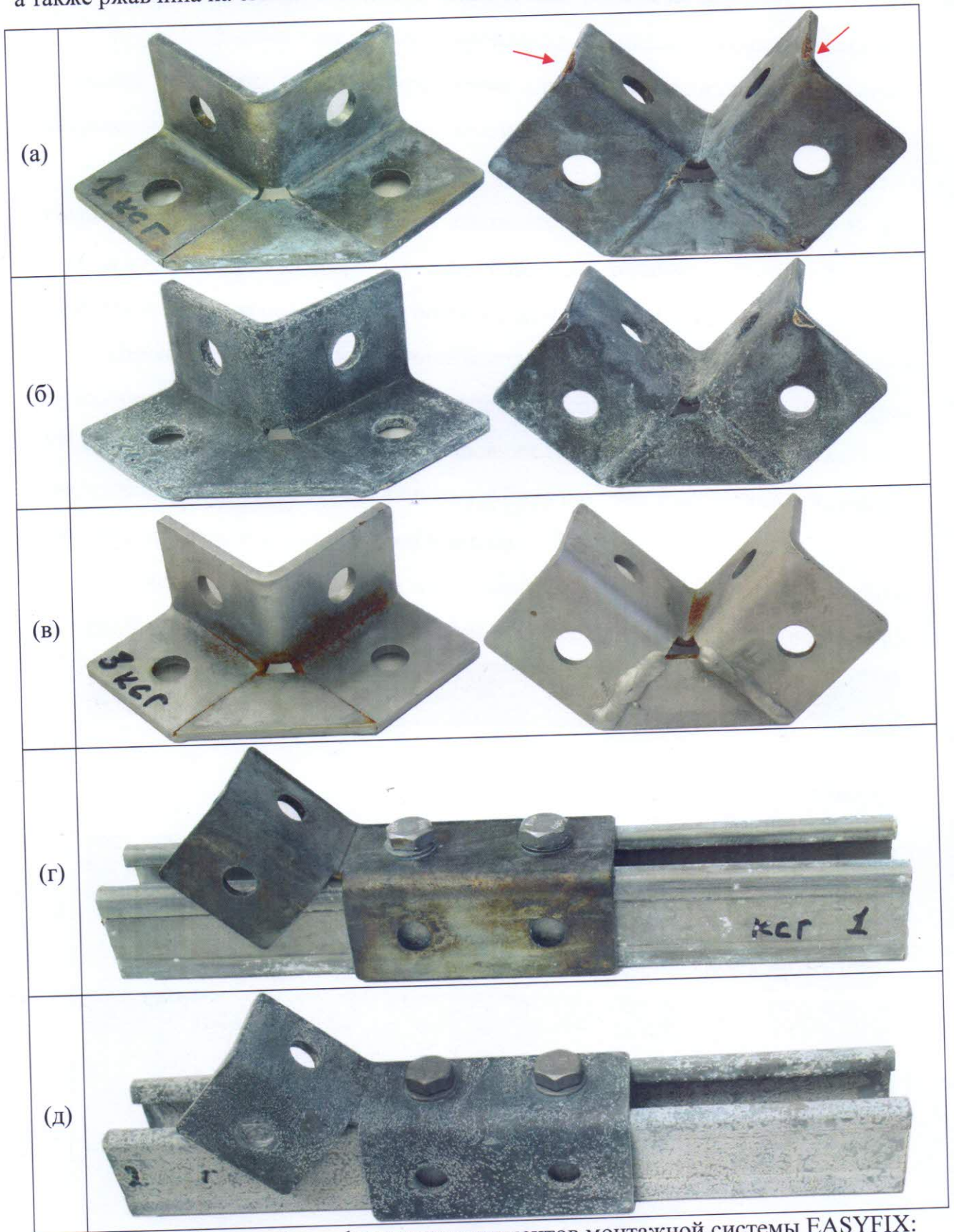


Рис. 4 Внешний вид фрагментов элементов монтажной системы EASYFIX: угловых пластины №1-№3 (а-в) и фрагменты в сборе №4 (г), №5 (д) после испытаний в КСГ в течение 500 часов

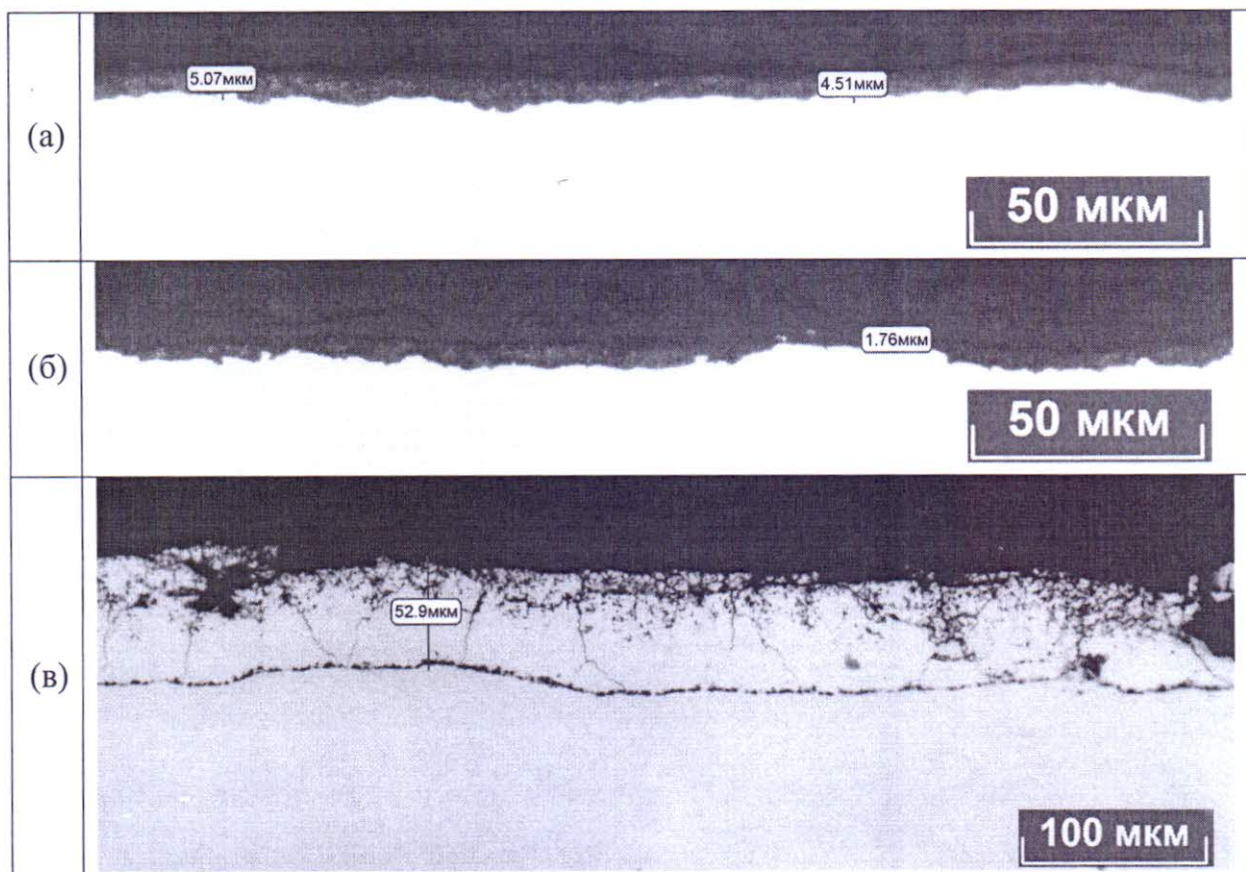
После разбора образцов №4, №5 в зонах контакта деталей и болтовых соединений коррозионных повреждений стальной основы не зафиксировано.

Металлографический анализ проводили с целью оценки качества и толщины покрытий, а также определения глубины и характера коррозионных повреждений после ускоренных коррозионных испытаний в КСГ.

В результате анализа установлено, что толщина гальванического цинкового покрытия на угловой пластине №1 составляет 4-5 мкм (рис. 5 а, б). В зоне повреждений покрытия зафиксировано снижение толщины защитного слоя – остаточная толщина составляет не более 1,5 мкм (рис. 5 б).

Цинковое покрытие, нанесенное методом горячего цинкования, равномерно по толщине, которая на ровных поверхностях и торцах составляет 50-55 мкм (рис. 3 б, в). После испытаний выявлены клиновидные (рис. 5 в) и язвенные (рис. 5 г, д) повреждения защитного слоя локально, глубина которых соизмерима с толщиной покрытия (практически до стальной основы).

Цинк-ламельное покрытие на угловой пластине №3 двухслойное, общей толщиной 19-27 мкм, толщина внутреннего слоя составляет 7-11 мкм (рис. 5 ж-и).



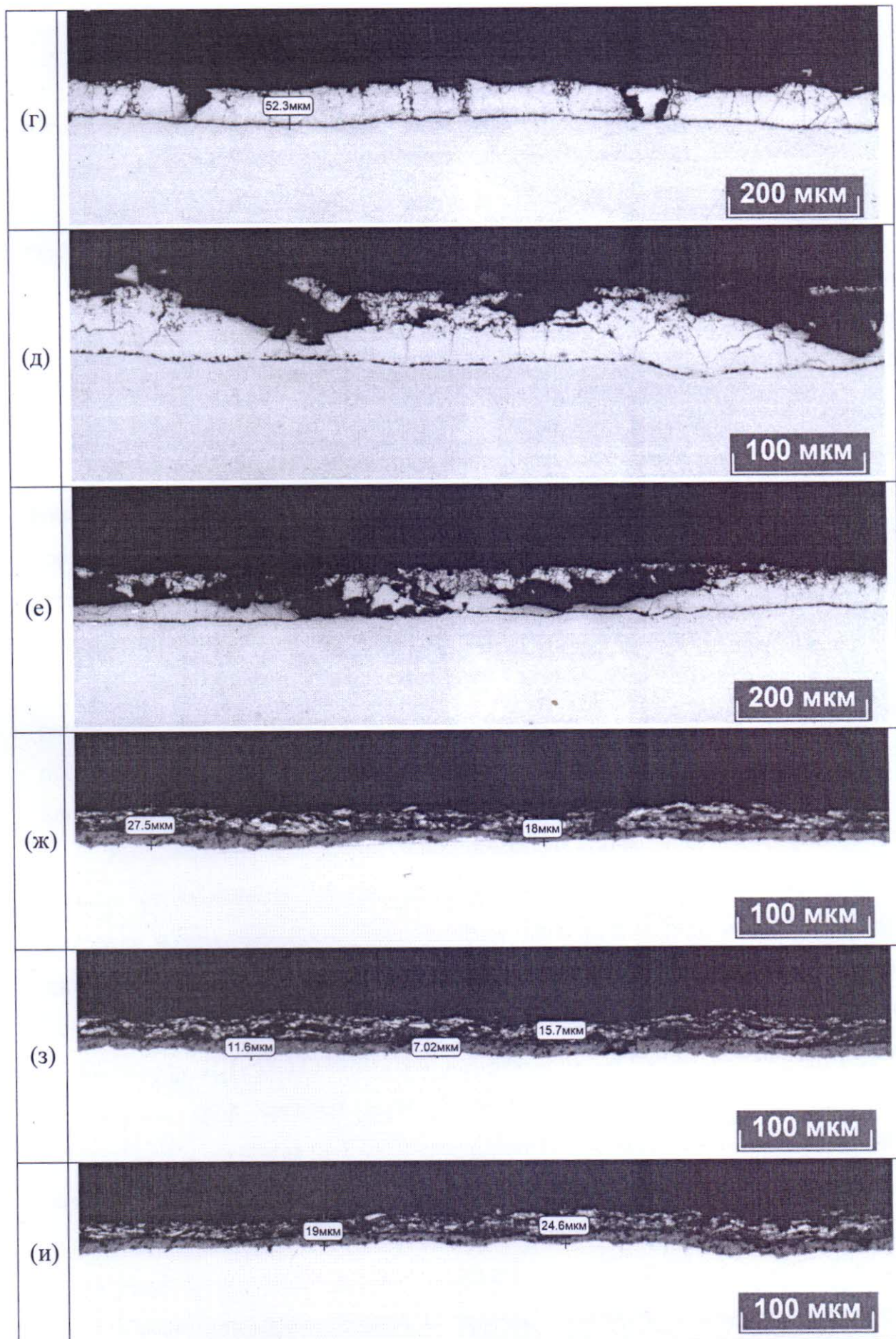


Рис. 5 Состояние поверхности образцов с покрытиями: (а, б) - №1 гальваническим цинковым; (б-е) - №2 горячим цинковым; (ж-и) - №3 цинк-ламельным

Анализ результатов исследования

Целью работы является исследование коррозионной стойкости и долговечности элементов монтажной системы EASYFIX из углеродистых сталей с гальваническим, горячим цинковыми и цинк-ламельным покрытиями, при эксплуатации в слабо-, средне- и сильноагрессивных средах СП 28.13330.2017 и ГОСТ ISO 9223-2017.

Эксплуатация исследуемой монтажной системы EASYFIX соответствует условиям размещения конструкций на открытом воздухе по ГОСТ 15150-69 при воздействии слабо-, средне- и сильноагрессивной сред по СП 28.13330.2017 (СЗ по ГОСТ ISO 9223-2017).

Для исследования коррозионной стойкости и сроков службы фрагментов конструкций монтажной системы EASYFIX проведены ускоренные циклические коррозионные испытания по ГОСТ 9.308-85 при воздействии влажности, соляного тумана, сернистого газа. Оценку состояния элементов проводили методами визуального и металлографического анализов.

После выдержки в испытательных камерах на поверхностях элементов с гальваническим цинковым покрытием толщиной 4-5 мкм выявлен белый налет продуктов коррозии цинка и единичные точки ржавчины на торцах. В зонах повреждения покрытия после испытаний толщина слоя снижается до 1 мкм.

Коррозионная стойкость гальванического цинка в атмосферных условиях зависит от стойкости пассивационного слоя, агрессивности эксплуатационных атмосфер и устойчивостью образующейся защитной пленки продуктов коррозии цинка. Оценивая поведение защитных гальванических цинковых покрытий установлено, что скорость коррозии цинка на углеродистой стали составит (в соответствии с СП 28.13330.2017) в неагрессивных и слабоагрессивных средах 1.5-3 мкм/год; сред средней агрессивности 5-7 мкм/год. С учетом толщины исследуемого покрытия (4-5 мкм) срок службы гальванических цинковых покрытий составит не более 10 лет в зависимости от влажностного режима. Следовательно, использование данного покрытия в условиях средне- и сильноагрессивных сред для длительной эксплуатации не рекомендуется.

После испытаний деталей с горячим цинковым покрытием толщиной 50-55 мкм зафиксирован плотный белый налет, признаков коррозии стальной основы

не выявлено. В результате металлографического анализа обнаружены коррозионные повреждения покрытия после испытаний в камере сернистого газа глубиной, соизмеримой с толщиной защитного слоя.

Аппроксимация коррозионного поражения на длительный срок эксплуатации позволяет установить, что скорость коррозии горячих цинковых покрытий на углеродистой стали составит в неагрессивных и слабоагрессивных средах ~ 1.0 мкм/год, сред средней агрессивности 1.5-2.5 мкм/год, сред сильной агрессивности 3-5 мкм/год. Следовательно, с учетом толщины покрытия 50-55 мкм в слабоагрессивных средах срок службы цинковых покрытий составит 40-50 лет, в средах средней агрессивности – 20-35 лет в зависимости от влажностного режима; в сильноагрессивных 13-25 лет в зависимости от зоны влажности.

Цинк-ламельное покрытие двухслойное, общей толщиной 19-26 мкм, устойчиво во влажной атмосфере и относительно устойчиво к воздействию коррозионно-агрессивных сред. Помутнение и потемнение цинк-ламельного покрытия обнаружено после испытаний в камерах влажности, соляного тумана и сернистого газа. Вблизи сварного соединения и сгибах угловых пластин зафиксирована ржавчина после воздействия соляного тумана и сернистого газа. Появление ржавчины связано плохой адгезией цинк-ламельного покрытия на брызгах металла, образующихся в процессе сварки.

Скорость коррозии исследуемого цинк-ламельного покрытия на углеродистой стали в условиях умеренного и холодного климата (УХЛ1) слабоагрессивной среды составит не более 0.4 мкм/год, средней агрессивности 0.4-0.8 мкм/год, высокой агрессивности 0.8-1.2 мкм/год. Следовательно, в зависимости от зоны влажности, срок службы цинк-ламельных покрытий составит в условиях УХЛ1 в слабоагрессивных средах 45-50 лет, среднеагрессивных средах – 35-50 лет, сильноагрессивных средах – 20-30 лет в зависимости от зон влажности. Представленные данные актуальны при условии соблюдения технологических режимов в процессе сварки.

Контакт «углеродистая сталь с горячим цинковым покрытием – углеродистая сталь с цинк-ламельным покрытием», «углеродистая сталь с горячим цинковым покрытием – углеродистая сталь с гальваническим цинковым покрытием» не требует дополнительных мер антикоррозионной защиты.

Агрессивность газовой среды определяли в соответствии с СП 28.13330.2017 (табл. 1), ISO 9223: 1992 и ISO 12944-2: 1998а (табл. 2) для анализа коррозионной стойкости и долговечности деталей.

Таблица 1 – Группы агрессивных газов в зависимости от их вида и концентрации по СП 28.13330.2017 «Защита строительных конструкций от коррозии»

Наименование	Концентрация, мг/м ³ , для групп газов			
	A	B	C	D
Углекислый газ	До 2000	Св. 2000	-	-
Аммиак	До 0,2	Св. 0,2 до 20	Св. 20	-
Сернистый ангидрид	До 0,5	Св. 0,5 до 10	Св. 10 до 200	Св. 200 до 1000
Фтористый водород	До 0,05	Св. 0,05 до 5	Св. 5 до 10	Св. 10 до 100
Сероводород	До 0,01	Св. 0,01 до 5	Св. 5 до 100	Св. 100
Оксиды азота	До 0,1	Св. 0,1 до 5	Св. 5 до 25	Св. 25 до 100
Хлор	До 0,1	Св. 0,1 до 1	Св. 1 до 5	Св. 5 до 10
Хлористый водород	До 0,05	Св. 0,05 до 5	Св. 5 до 10	Св. 10 до 100

Таблица 2 – Степени коррозионной агрессивности атмосферы

СП 28.13330.2017 (СНиП 2.03.11-85)	По ГОСТ 9.039-74		ISO 9223: 1992		ISO 12944-2: 1998	
	Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение
Не агрессивная	Не агрессивная	1	Очень низкая (внутри помещений)	C1	Очень низкая	C1
Слабо агрессивная	Мало агрессивная	2	Низкая (сельская)	C2	Низкая	C2
	Средне агрессивная	3	Средняя (пригородная)	C3	Средняя	C3
Средне агрессивная	Сильно агрессивная	4	Высокая (городская/ приморская)	C4	Высокая	C4
Сильно агрессивная	Очень сильно агрессивная	5	Очень высокая (промышленная)	C5	Очень высокая (промышленная)	C5-1
					Очень высокая (морская)	C5-M

По методике, разработанной в НИТУ «МИСиС», проведена оценка срока службы покрытий на стальных конструкционных деталях.

Коэффициент ускорения (K_y) для сред слабой, средней и сильной степеней агрессивности рассчитан по формуле (1). Известно, что состояние металла после испытания в камере соляного тумана (КСТ) в течение 30 суток соответствует состоянию после эксплуатации в реальных условиях в течение 20 лет (7300 сут).

$$K_y = 7300/30=243 \quad (1)$$

Сроки службы ($\tau_{\text{ср.сл.}}$, год) металлических покрытий рассчитаны исходя из толщины покрытия (h , мкм), скорости коррозии покрытия (V , мкм/сут) после ускоренных испытаний в испытательных камерах.

Расчет оценки сроков службы ($\tau_{\text{ср.сл.}}$) покрытий проведен по формуле (2).

$$\tau_{\text{ср.сл.}} = (h \cdot K_y) / (V \cdot 365) \quad (2)$$

Проведена экстраполяция результатов ускоренных и натуральных испытаний и определены сроки службы покрытий на стальных элементах монтажной системы EASYFIX. Полученные данные приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Сроки службы цинковых покрытий на стальных элементах монтажной системы EASYFIX в условиях открытых сред, года

Воздушная среда, классификация по ISO 12944-2 и ISO 9223, СП 28.13330.2017	Зона влажности по СНиП 23-02-2003		
	сухая	нормальная	влажная
Гальваническое цинковое 4-5 мкм			
Слабоагрессивная	15	8-10	6-8
Среднеагрессивная	6-10	5	2-4
Сильноагрессивная	<1	<1	<1
Горячее цинковое 50-55 мкм			
Слабоагрессивная	более 50	50	40-45
Среднеагрессивная	35	30	~22
Сильноагрессивная	25	23	~13
Цинк-ламельное (двухслойное) 19-26 мкм			
Слабоагрессивная	50	50	45-50
Среднеагрессивная	50	40-50	35
Сильноагрессивная	<30	<25	<20

Таким образом, предлагаемые технические решения обеспечивают защиту от коррозии исследуемых фрагментов монтажной системы EASYFIX в условиях открытых сред слабой, средней и сильной агрессивностью по ГОСТ ISO 9223-2017 и СП 28.13330.2017 (СНиП 2.03.11-85).

ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Установлено, что технические решения обеспечивают защиту от коррозии исследуемых фрагментов монтажной системы EASYFIX в условиях открытых слабо-, средне- и сильноагрессивной сред по СП 28.13330.2017 (СЗ по ГОСТ ISO 9223-2017).

2. Сроки службы в годах фрагментов монтажной системы EASYFIX из углеродистой стали с защитными покрытиями в условиях УХЛ1 составят, года:

Воздушная среда, классификация по ISO 12944-2 и ISO 9223, СП 28.13330.2017	Зона влажности по СНиП 23-02-2003		
	сухая	нормальная	влажная
Гальваническое цинковое 4-5 мкм			
Слабоагрессивная	15	8-10	6-8
Среднеагрессивная	6-10	5	2-4
Сильноагрессивная	<1	<1	<1
Горячее цинковое 50-55 мкм			
Слабоагрессивная	более 50	50	40-45
Среднеагрессивная	35	30	~22
Сильноагрессивная	25	23	~13
Цинк-ламельное (двухслойное) 19-26 мкм			
Слабоагрессивная	50	50	45-50
Среднеагрессивная	50	40-50	35
Сильноагрессивная	<30	<25	<20

3. Контакт «углеродистая сталь с горячим цинковым покрытием – углеродистая сталь с цинк-ламельным покрытием», «углеродистая сталь с горячим цинковым покрытием – углеродистая сталь с гальваническим цинковым покрытием» не требует дополнительных мер антикоррозионной защиты.

4. Анализ результатов и выводы относятся к испытанным образцам без учета воздействия других элементов конструкций.

5. Анализ результатов и выводы относятся к испытанным образцам. В случае увеличения толщины защитных покрытий, исследуемых в данной работе, расчет оценки сроков службы допускается производить по формуле (2).

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



Сброшюровано и пронумеровано

17 стр.

Зилонов М.Р.

