

**«Утверждаю»**

Проректор

Филонов М. Р.



**Заключение № 053/11-503**

**«Исследование устойчивости к атмосферной и контактной  
коррозии элементов винтовых соединений несущих конструкций  
НФС и СПК»**



## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

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

Дуб Алексей Владимирович

Ответственный исполнитель

Волкова Ольга Владимировна

Исполнители:

зав. лабораторией ЗМиТП

Обухова Татьяна Анатольевна

научный сотрудник

Ковалев Александр Федорович

научный сотрудник

Шевейко Ольга Владимировна

инженер I категории

Сафонов Иван Александрович

www.duerer.ru



Заявитель	ООО «ИТФ групп»
Основание для проведения испытаний	Договор № 053/11-503 от 03 мая 2011 г.
Акт отбора образцов	от 28.06.11
Дата проведения испытаний	начало 29 июня 2011 г. окончание 29 июля 2011 г
Задачи испытаний	Определение атмосферостойкости и долговечности винтовых соединений несущих конструкций фасадных систем и светопрозрачных конструкций
Испытательное оборудование	<ul style="list-style-type: none"> <li>- камера влажности;</li> <li>- камера соляного тумана;</li> <li>- бинокулярный микроскоп МБС-200;</li> <li>- потенциостат IPC-Pro 3A;</li> <li>- металлографический комплекс «Альтами МЕТ»</li> </ul>
Образцы	<p>Винтовые соединения : прижимная планка и ригель из алюминиевого сплава с винтами:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- из углеродистой стали с цинковым покрытием;</li> <li>- из углеродистой стали с с цинккательным покрытием DELTA-MKS;</li> <li>- из коррозионностойкой стали А2.</li> </ul>
Нормативные документы	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ГОСТ 9.039-74 ЕСЗКС. Коррозионная агрессивность атмосферы.</li> <li>2. ГОСТ 9.311-87 ЕСЗКС. Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Метод оценки коррозионных поражений.</li> <li>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.</li> <li>4. СНИП 2.03.11-85 Защита строительных конструкций от коррозии.</li> </ol>
Результаты испытаний	Приложения 1-2
Результаты исследований	Заключение № 053/11-503

На исследование поступили алюминиевые образцы элементов винтовых соединений несущих конструкций фасадных систем и светопрозрачных конструкций, условно обозначенные №№1-3, с установленными самонарезающими винтами из :

- углеродистой стали с гальваническим цинковым покрытием;
- стали коррозионностойкой;
- углеродистой стали с цинкклямельным покрытием DELTA-MKS.

Отбор образцов проводился представителями Заказчика.

**Цель работы:**

- количественная оценка показателей, характеризующих интенсивность коррозионного разрушения элементов винтовых соединений с различными сочетаниями материалов и защитных покрытий;
- оценка срока службы элементов соединений в условиях, имитирующих среду со слабо- и среднеагрессивной степенью воздействия.

При исследовании были выполнены следующие работы:

- ускоренные коррозионные испытания;
- спектральный анализ;
- анализ внешнего состояния поверхностей образцов;
- металлографический анализ;
- коррозионно-электрохимические исследования.

**Проведение ускоренных коррозионных испытаний**

Ускоренные испытания соединений проводились в течение 30 суток в климатических камерах, имитирующих различные атмосферные условия в соответствии с ГОСТ 9.308-85:

- в камере влажности, имитирующей слабоагрессивную атмосферу (при относительной влажности 98% и температуре в камере 40<sup>0</sup> С);
- в камере соляного тумана, имитирующей среднеагрессивную атмосферу (периодическое распыление 3% -ного раствора NaCl при относительной влажности 98% и температуре в камере 40<sup>0</sup> С).

Результаты испытаний представлены в протоколах (прил. 1-2).

düerer

## Анализ результатов исследования

**Образец №1** прижимная планка и ригель из алюминиевого сплава с установленными самонарезающими винтами (материал – углеродистая сталь с гальваническим цинковым покрытием).

В результате *спектрального анализа* установлено, что материал исследуемых прижимных планок и ригелей, взятых выборочно, соответствует алюминиевому сплаву типа 6060 (прил.3).

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 на головках и резьбовой части винтов с цинковым покрытием после испытаний в атмосфере влажности наблюдается практически сплошной белый налет, типичный для коррозионного повреждения цинка в начальной стадии (рис.1а,б). После воздействия атмосферы соляного тумана на поверхностях деталей обнаружено практически полное разрушение защитного слоя и признаки коррозии стальной основы в виде множественных пятен ржавчины (рис.1в).

В собранном виде оценить внешнее состояние резьбовой части винтов, находящихся в соединении с алюминиевой пластиной не представляется возможным. Оценка состояния покрытия после разрезки деталей проведена в разделе «металлографический анализ».

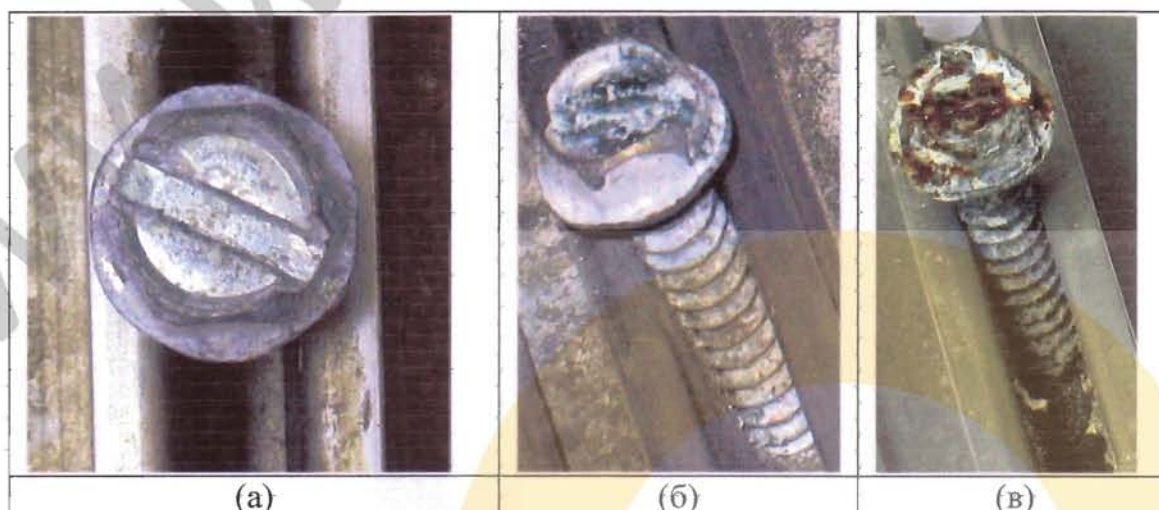


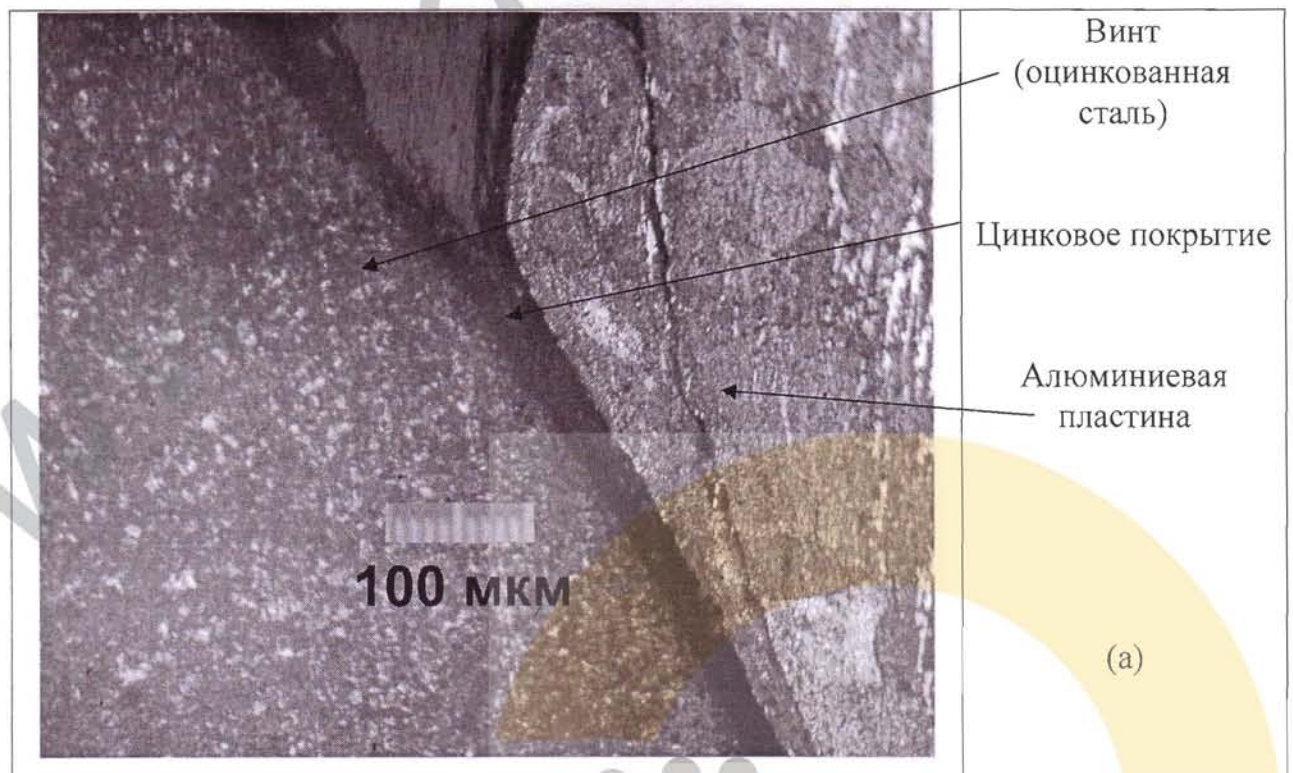
Рис.1. Внешний вид винтов, изготовленных из низкоуглеродистой стали с цинковым покрытием, после испытаний в камерах влажности (а,б) и соляного тумана (в) в течение 30 суток.

С целью оценки толщины покрытия, состояния материала исследуемых винтов вблизи поверхностей, а также определения глубины и характера коррозионных повреждений проводился *металлографический анализ*.

Были исследованы винты с цинковым покрытием, взятые выборочно, после испытаний в течение 30 суток в камерах влажности и соляного тумана. Шлифы были приготовлены в поперечных сечениях деталей, исследовалась средняя часть винтов, находящаяся в зоне контакта с алюминиевыми пластинами.

В результате анализа установлено, что на **оцинкованных винтах** толщина покрытия составляет 5-7 мкм (рис.2). После испытаний в камере влажности в цинковом покрытии выявлены множественные язвенные повреждения глубиной до 4 мкм (рис.2а). В атмосфере соляного тумана (рис.2б,в) на шлифах в зоне контакта с алюминиевыми пластинами наблюдается практически полное разрушение цинкового покрытия.

В зоне контакта с винтами из оцинкованной углеродистой стали в материале алюминиевых пластин в атмосфере соляного тумана обнаружены множественные язвы глубиной до 15 мкм (рис.2б).



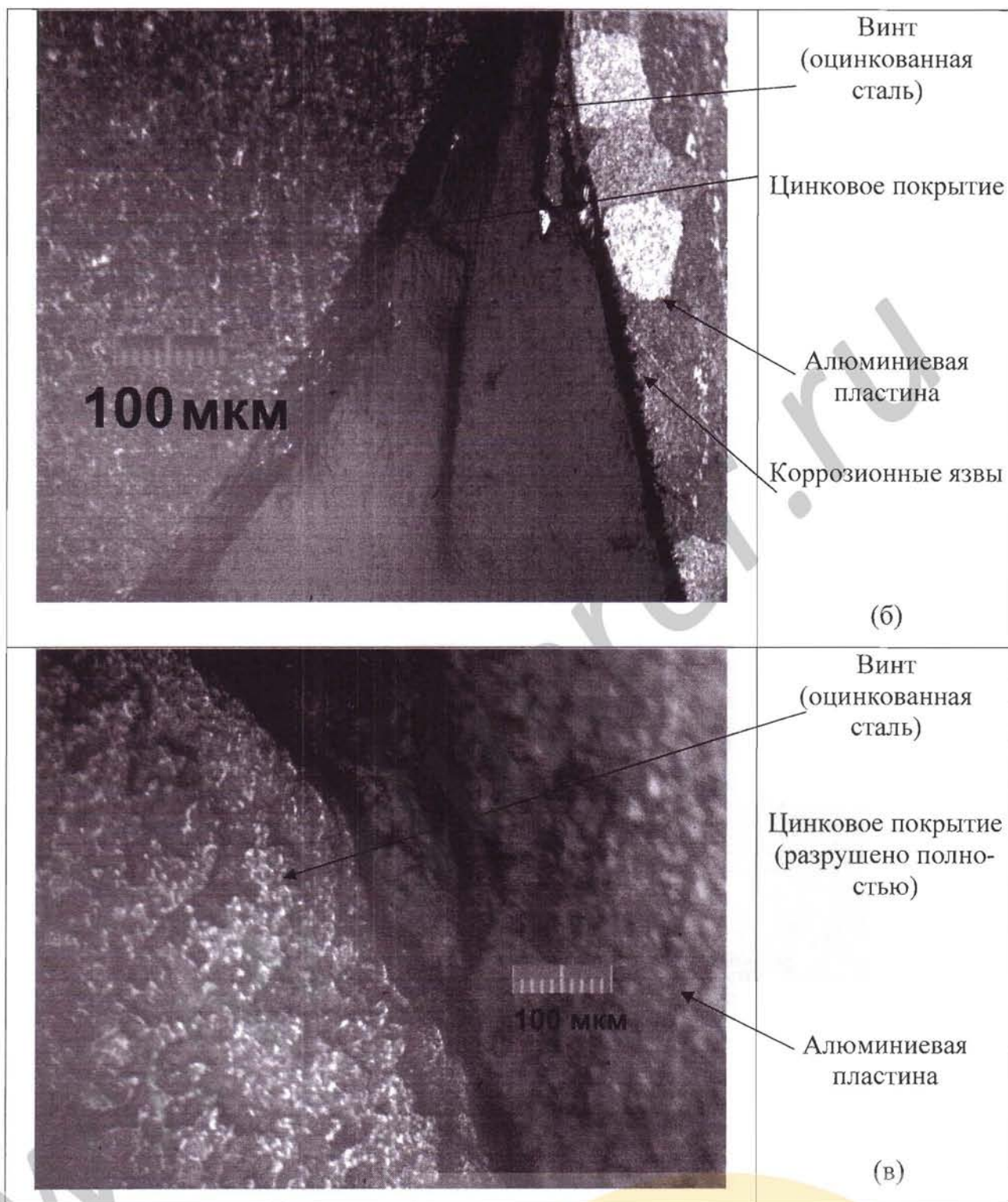


Рис. 2. Состояние материала оцинкованных винтов в зоне контакта с алюминиевой пластиной после испытаний в камерах влажности (а,б) и соляного тумана (в) в течение 30 суток.

**Образец №2** прижимная планка и ригель из алюминиевого сплава с установленными самонарезающими винтами (материал – сталь коррозионностойкая).

В результате исследования *внешнего состояния поверхностей* деталей выявлено, что после воздействия атмосфер влажности (рис.3а) и соляного тумана (рис.3б) внешний вид винтов, изготовленных из коррозионностойкой стали, практически не изменился.

После выдержки во влажной атмосфере на алюминиевых пластинах обнаружено лишь незначительное помутнение поверхностей.

После испытаний в камере соляного тумана в зоне контакта алюминиевых пластин с винтами из нержавеющей стали на пластинах выявлены пятна серо-белого цвета с рыхлыми продуктами коррозии алюминиевого сплава.

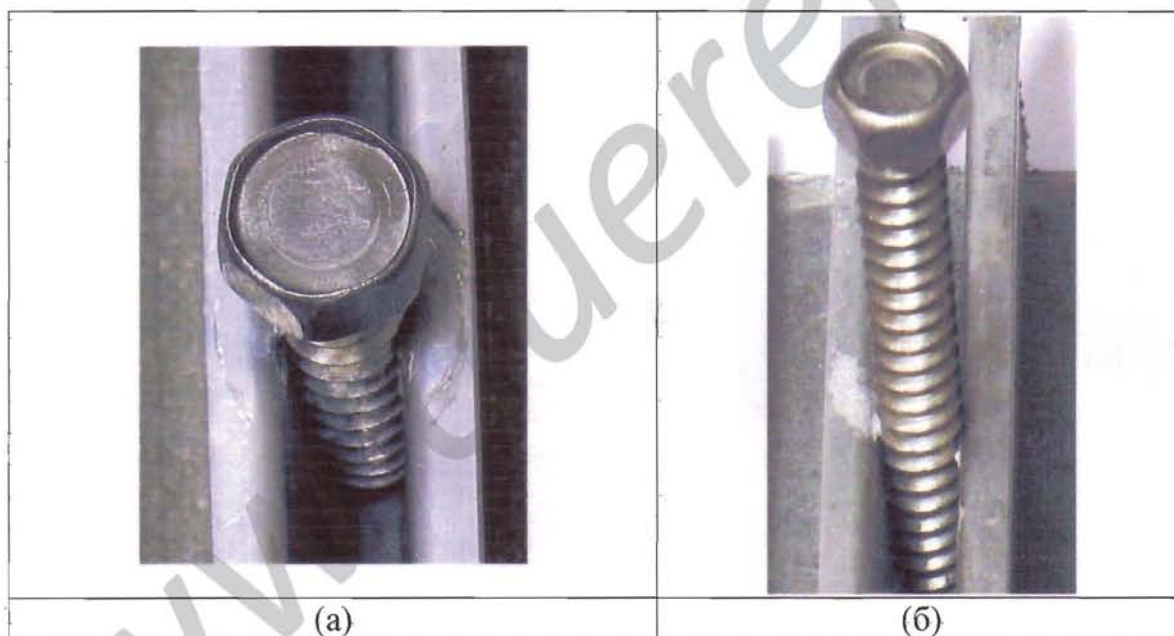


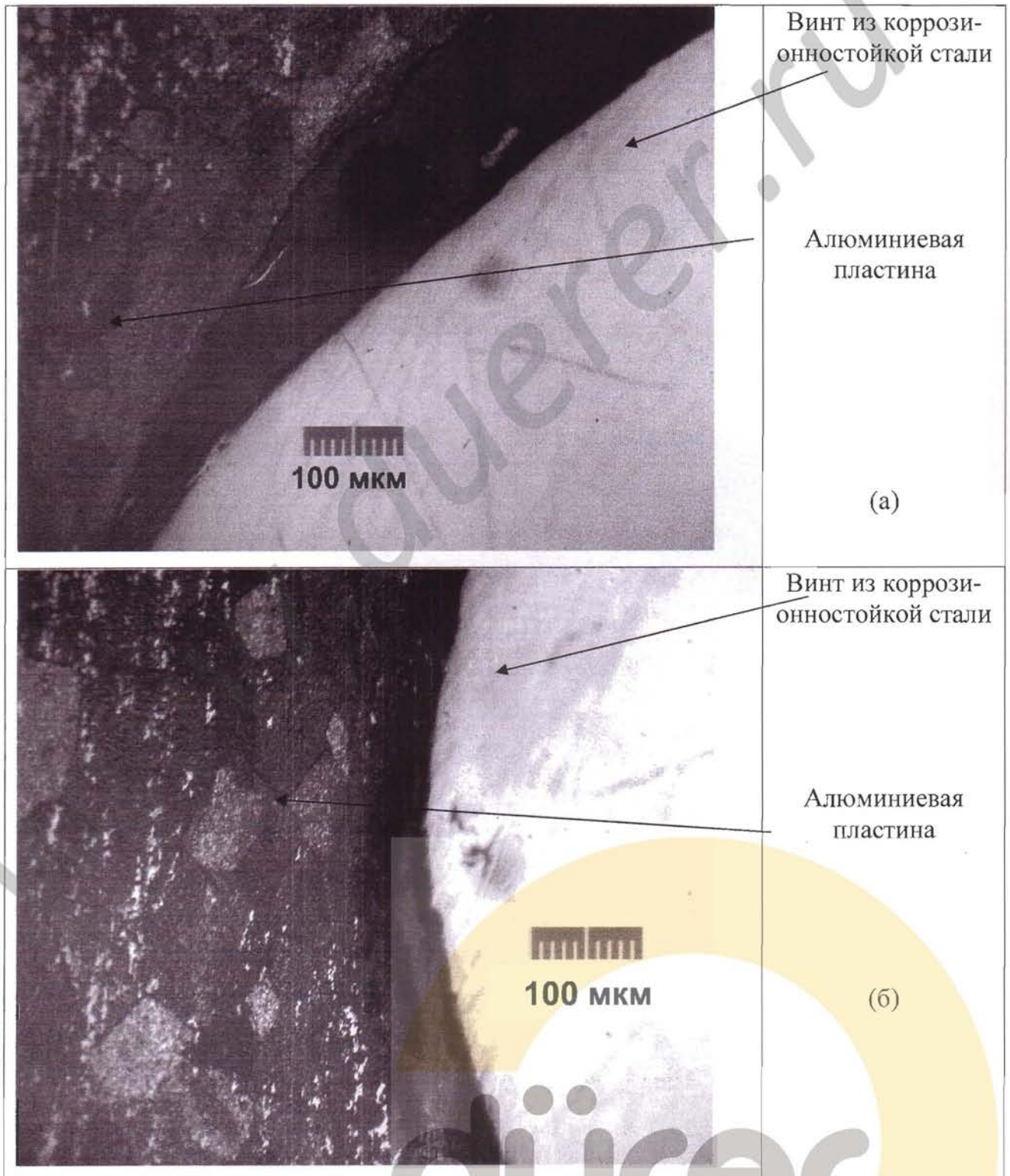
Рис.3. Внешний вид винтов, изготовленных из коррозионностойкой стали после испытаний в камерах влажности (а) и соляного тумана (б) в течение 30 суток.

В результате *металлографического анализа* установлено, что в зоне контакта с алюминиевым сплавом после испытаний в атмосферах влажности и соляного тумана в материале винтов, изготовленных из нержавеющей стали, коррозионных повреждений не выявлено (рис. 4а-в).

После испытаний в камере соляного тумана (рис.4в,г) в материале *алюминиевых пластин* в зонах контактов с винтами из нержавеющей стали выявлены коррозионные повреждения в виде язв (питтингов) глубиной до 60 мкм (рис.4г), от



которых по механизму межкристаллитной коррозии образуются множественные трещины глубиной до 300 мкм (рис.4в,г). Питтинговая коррозия является наиболее распространенным видом коррозионных повреждений в хлорсодержащих средах сплавов типа АДЗ1 (6060). И как в нашем случае, она особенно опасна, так как развивается по границам зерен и может переходить в межкристаллитную коррозию, которая наиболее значимо ухудшает прочностные характеристики алюминиевых сплавов.



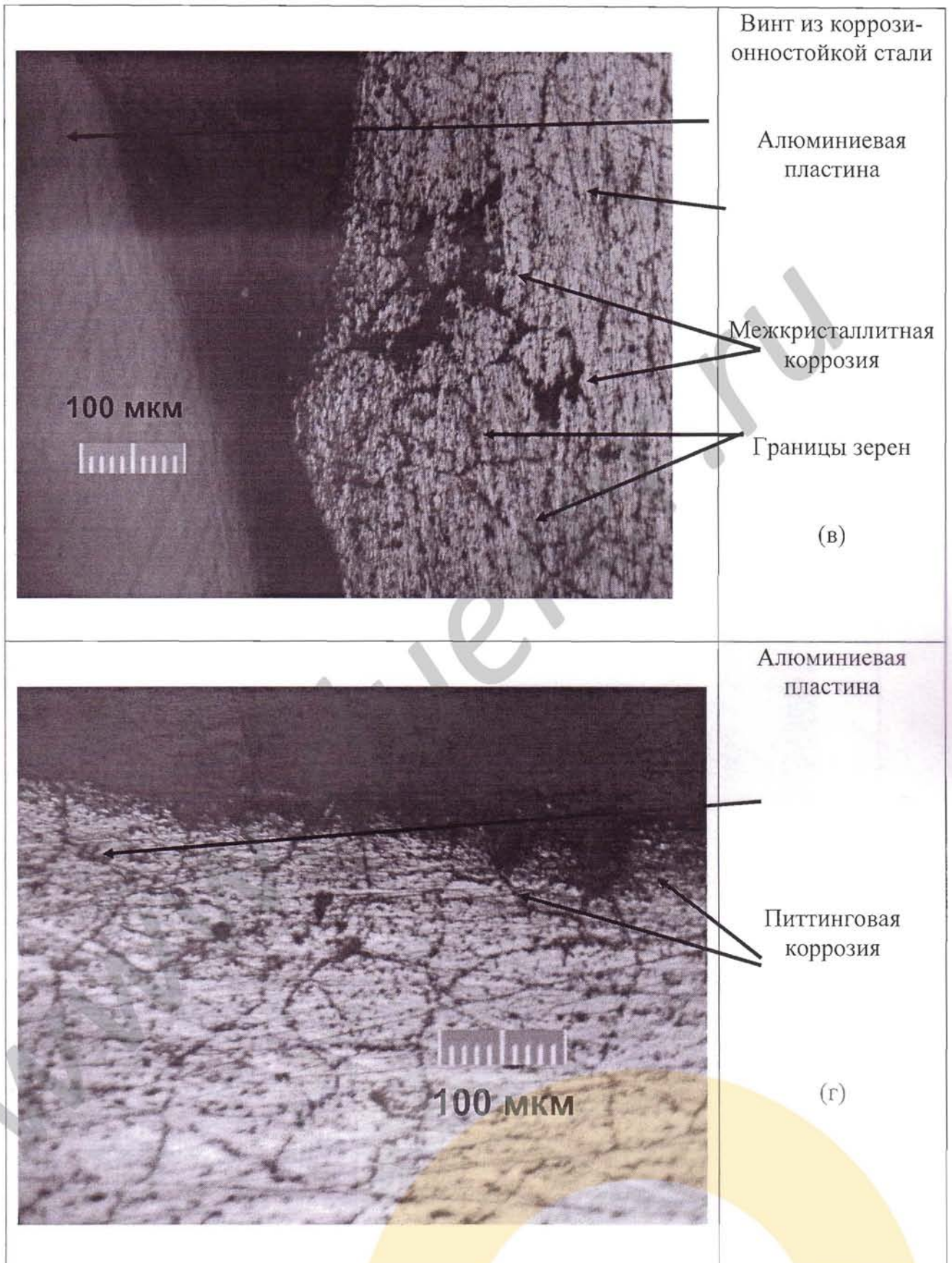


Рис.4. Состояние материала алюминиевых пластин (а-г) и винтов из коррозионно-стойкой стали (а-в) после испытаний в камерах влажности (а, б) и соляного тумана (в, г) в течение 30 суток.

**Образец №3** прижимная планка и ригель из алюминиевого сплава с установленными самонарезающими винтами (материал – углеродистая сталь с цинкклямельным покрытием DELTA-MKS).

Анализ состояния поверхностей показал, что после испытаний в слабоагрессивной влажной атмосфере (рис.5а) на винтах с покрытием Delta-MKS выявлено незначительное потускнение поверхностей. После выдержки в атмосфере соляного тумана (рис.5б) на деталях выявлен полупрозрачный слой продуктов коррозии цинковой составляющей защитного покрытия.

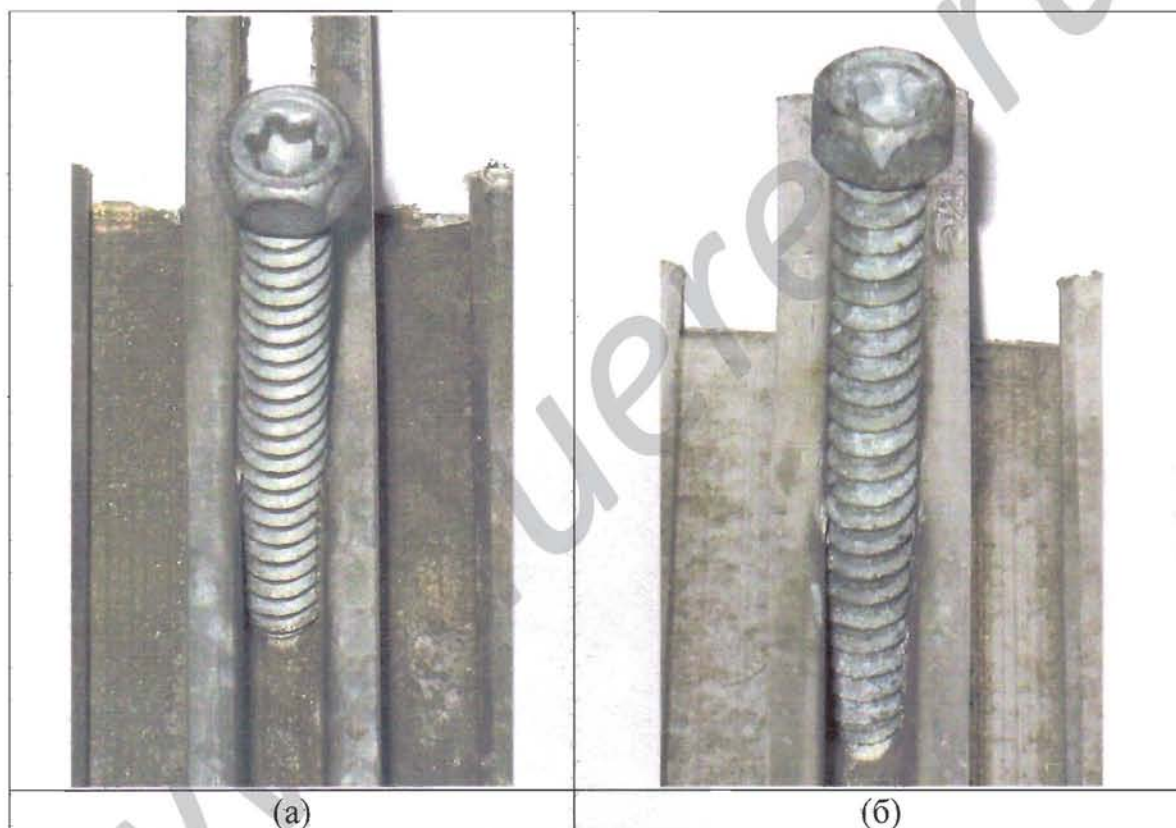
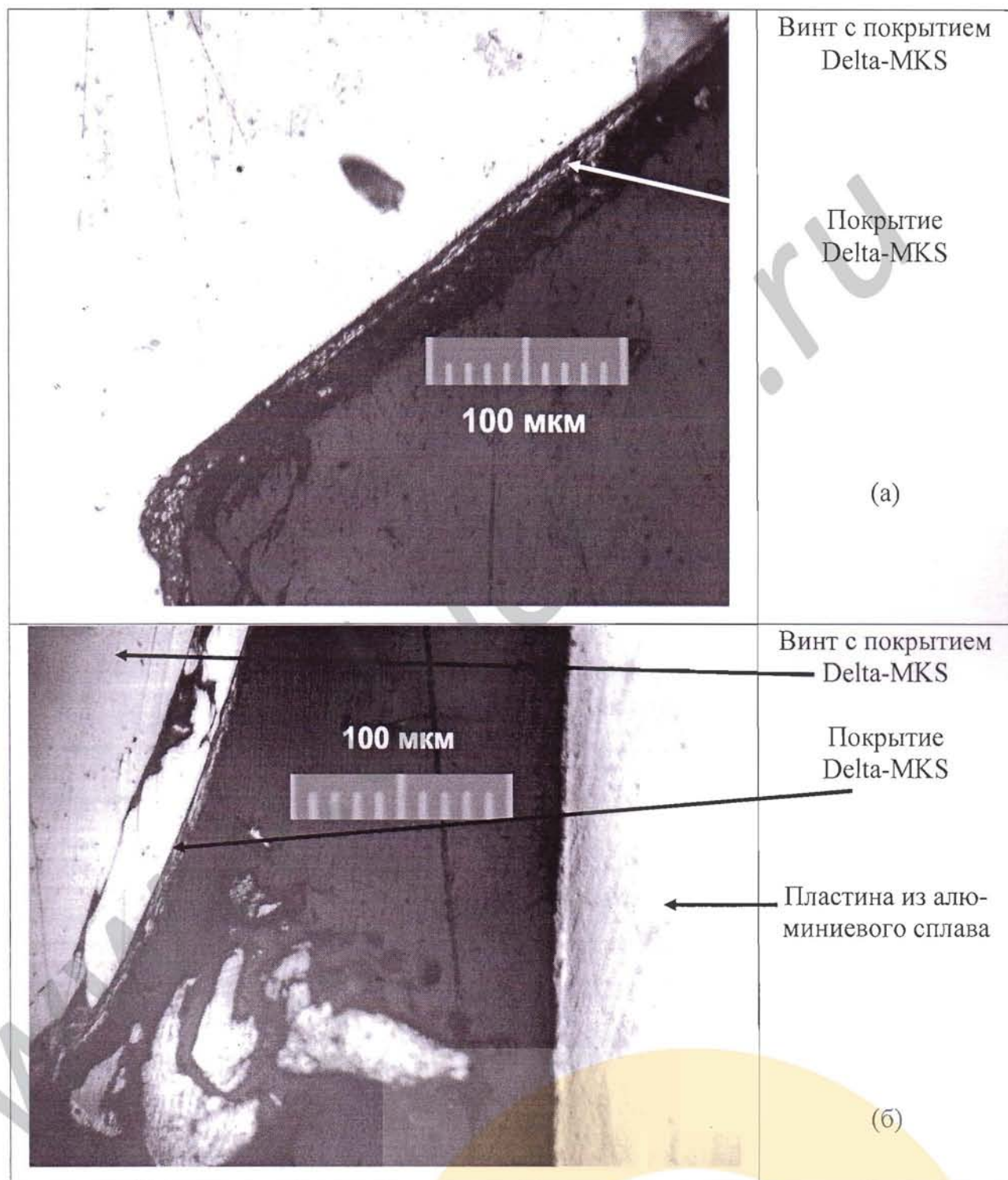


Рис.5. Внешний вид винтов, изготовленных из низкоуглеродистой стали, с покрытием DELTA-MKS после испытаний в камерах влажности (а) и соляного тумана (б) в течение 30 суток.

В результате металлографического анализа установлено, что толщина покрытия Delta-MKS составляет 8-15 мкм. После испытаний во влажной атмосфере покрытие сохранилось практически полностью, в зоне контакта с алюминиевой пластиной в материале винтов из углеродистой стали с покрытием Delta-MKS коррозионных повреждений не выявлено (рис.6а,б).

После выдержки в соляном тумане в материале винтов наблюдается равномерная коррозия покрытия глубиной не более 3 мкм, в материале алюминиевых пла-

стин в зонах контактов с винтами из углеродистой стали обнаружены лишь единичные язвы глубиной до 5 мкм (рис.6в).



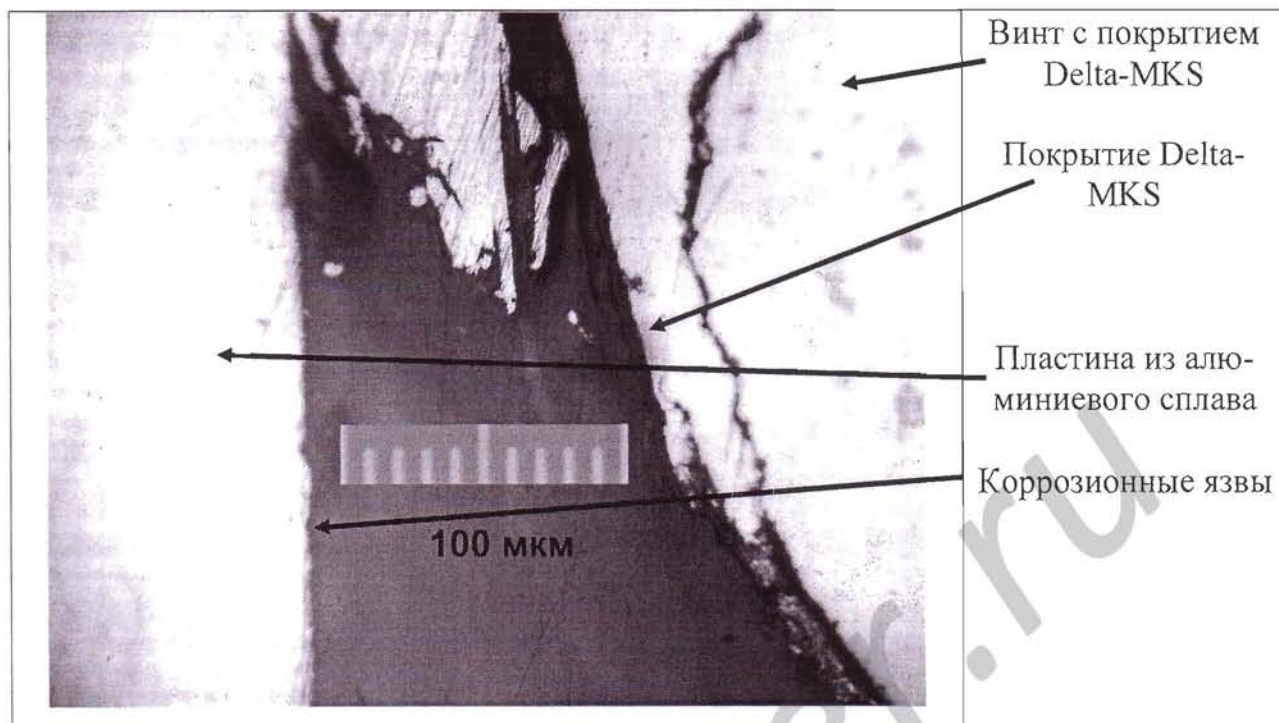


Рис.6 Состояние материала винтов с покрытием Delta-MKS в контакте с алюминиевым сплавом после испытаний в камерах влажности (а,б) и соляного тумана (в) в течение 30 суток.

### Электрохимические исследования

Сравнительная оценка коррозионной стойкости исследуемых винтов с покрытиями цинком и Delta-MKS проводилась электрохимическим методом, суть которого заключается в проведении потенциодинамической поляризации образцов в водных средах с последующим сопоставлением поляризационных кривых.

Основными электрохимическими характеристиками, определяющими коррозионную стойкость при анодной поляризации в прямом направлении, являются:

- 1) равновесный потенциал коррозии  $E_{стац}$
- 2) относительное расположение поляризационных кривых.

Коррозионная стойкость сплава тем выше, чем положительнее  $E_{стац}$  и выше поляризуемость образца.

Электрохимические характеристики исследуемой стали измеряли с помощью цифрового потенциостата IPC-Pro 3A со встроенным микропроцессором и выходом на персональный компьютер. Поляризацию осуществляли в потенциодинамическом режиме при скорости развертки потенциала во времени  $dE/dT = 5$  мВ/с. Испытания проводили в 5% растворе хлорида натрия (NaCl).

В результате исследований установлено, что равновесный потенциал коррозии деталей с покрытием Delta-MKS ( $E_2 = -0,75$  В) положительнее, чем потенциал винтов с цинковым покрытием ( $E_1 = -0,80$  В) (рис. 7).

Поляризуемость деталей с покрытием Delta-MKS при потенциалах от  $E = -0,6$  В и выше на порядок больше, чем у винтов с цинковым покрытием. Соответственно, скорость растворения покрытия Delta-MKS значительно меньше, чем цинка.

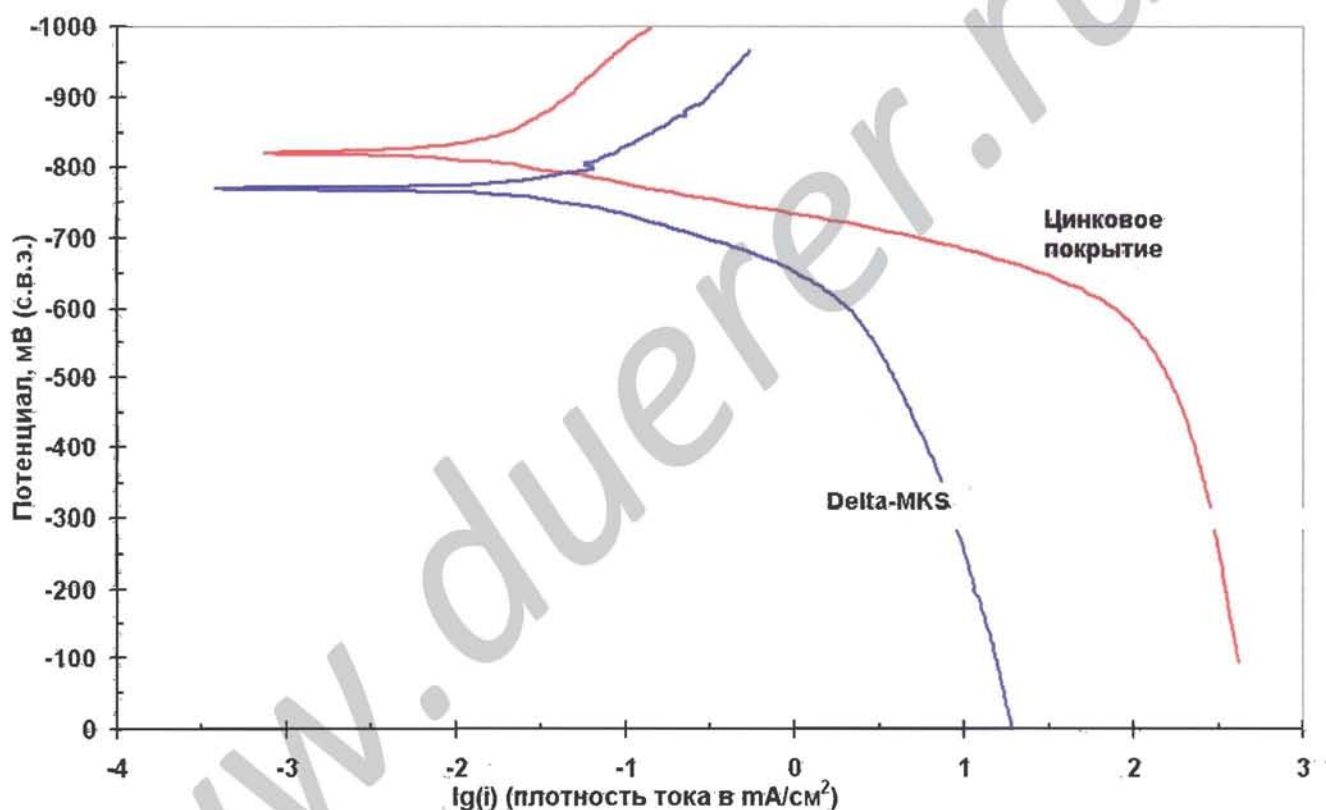


Рис.7. Потенциодинамические поляризационные кривые винтов с покрытиями Delta-MKS и цинковым в растворе 5%-го хлорида натрия (NaCl) при температуре 25°C.

Таким образом, сравнительный анализ результатов электрохимических испытаний, позволяет заключить следующее: наибольшую коррозионную стойкость в данных условиях имеют детали с покрытием Delta MKS по сравнению с цинковым покрытием.

### *Анализ результатов исследований*

**Образец №1** прижимная планка и ригель из алюминиевого сплава с установленными самонарезающими винтами (материал – углеродистая сталь с гальваническим цинковым покрытием).

**Цинковое покрытие** относительно устойчиво во влажной ( $\eta=96-98\%$ ) атмосфере слабой агрессивности, при испытании в которой на поверхностях винтов выявлен лишь незначительный белый налет продуктов коррозии цинка. В среде, имитирующей среднеагрессивную атмосферу, головки винтов покрыты ржавчиной, что свидетельствует о повреждении основного материала. В зоне контакта винта с пластинами выявлено полное разрушение цинкового покрытия. В материале алюминиевых пластин обнаружены множественные язвы глубиной до 15 мкм.

Оценка скорости коррозии с учетом полученных экспериментальных результатов и литературных данных позволяет установить, что скорость коррозии цинкового покрытия 4-6 мкм/год, а углеродистой стали – 90-120 мкм/год.

Таким образом, для длительной эксплуатации не рекомендуется использование контакта алюминиевых деталей с винтами из углеродистой оцинкованной стали из-за пониженной коррозионной стойкости последних.

**Образец №2** прижимная планка и ригель из алюминиевого сплава с установленными самонарезающими винтами (материал – сталь коррозионно-стойкая).

Для долговременной эксплуатации применение контактов алюминиевый сплав - коррозионно-стойкая сталь рекомендуется в атмосферах слабой агрессивности. Несмотря на то, что внешний вид винтов из коррозионно-стойкой стали практически не изменился, длительное применение вышеуказанных контактов в атмосферах средней агрессивности не рекомендуется, так как нержавеющие стали склонны усиливать коррозию алюминиевых сплавов, и в нашем случае глубина межкристаллитной коррозии после испытаний составила до 300 мкм. Межкристаллитная коррозия может привести к существенному снижению механической прочности соединения и, как следствие, к катастрофическому разрушению алюминиевого сплава в зоне контакта со сталью. При необходимости применения именно

такого соединения участки контактов должны быть надежно изолированы от внешней среды.

Таким образом, применение контакта алюминиевый сплав - коррозионно-стойкая сталь нежелательно для долговременной эксплуатации в среднеагрессивных атмосферах без дополнительной противокоррозионной защиты. Долговечность соединения обычно определяется по наименее стойкому элементу – в данном случае алюминиевому сплаву.

Образец №3 прижимная планка и ригель из алюминиевого сплава с установленными самонарезающими винтами (материал – углеродистая сталь с цинкклямельным покрытием DELTA-MKS).

Внешний вид **покрытия Delta-MKS** практически не изменился после испытаний во всех экспериментальных средах. Проведенные металлографические исследования показали, что толщина покрытия составляет 8-15 мкм. После испытаний во влажной атмосфере покрытие сохранилось практически полностью. После выдержки в атмосфере соляного тумана характер коррозионных повреждений защитного слоя равномерный без признаков язвенной коррозии.

Оценка скорости коррозии с учетом полученных экспериментальных результатов позволяет установить, что скорость коррозии покрытия **Delta-MKS** в среднеагрессивной атмосфере составляет 0,5-0,7 мкм/год. (При расчете скорости коррозии принято, что 30 суток непрерывных испытаний в специальной атмосфере соответствуют 15 годам реальной эксплуатации в атмосфере средней агрессивности).

Таким образом, применение контакта алюминиевый сплав – сталь с покрытием Delta-MKS допустимо в атмосферах слабой и средней агрессивности.

Данные оценки скорости коррозии приведены в таблице 1. Оценка срока службы приведена для узла крепления деталей.

dürer





Таблица 1

№ № об- раз- ца	Материал при- жимной план- ки	Материал ригеля	Материал крепежного изделия и вид защитно- го покрытия	Характер и глубина повреждений (в том числе крепежных изделий) в зоне контакта	Оценка внешнего вида крепежных из- делий	Срок службы узла, лет (слабоагрес- сивная сре- да**) (да**)	Срок службы узла, лет (сред- неагрессивная среда**) (да**)
1	Алюминиевый сплав (не ано- дированный)	Алюминиевый сплав (не аноди- рованный)	Углеродистая сталь с цинковым покрытием Ц12хр (5-7 мкм).	Равномерно-язвенная коррозия, 20 мкм	Сплошная коррозия стали, потеки ржав- чины.	До 10*	Не рекомен- дуется
2	Алюминиевый сплав (не ано- дированный)	Алюминиевый сплав (не аноди- рованный)	Углеродистая сталь с антикоррозионным по- крытием Delta-MKS	Язвенная коррозия алюминиевого сплава глубиной до 15 мкм	Незначительное помутнение поверх- ностей	До 50	До 30
3	Алюминиевый сплав (не ано- дированный)	Алюминиевый сплав (не аноди- рованный)	Коррозионно-стойкая сталь А2	Разрушение алюминие- вого сплава по меха- низму МКК глубиной до 300 мкм	Незначительный белый налет про- дуктов коррозии	До 50	До 25

\*) Оценка срока службы узла дана для условий: алюминиевый сплав (6060 (АД31)).

\*\*) Коррозионная агрессивность атмосферы по ГОСТ 9.039-74, ГОСТ 15150-69 и СНИП 2.03.11-85

### Протокол осмотра образцов

Расположение зон осмотра фрагментов: 1 – самонарезающие винты с гальваническим цинковым покрытием;  
 2 – самонарезающие винты из коррозионностойкой стали;  
 3 – самонарезающие винты с покрытием Delta-MKS;  
 4 – алюминиевый профиль

Приложение 1

Коррозионное состояние образцов (фрагмент НФС)			
Время испытаний в камере влажности, сутки			
3	7	15	20
1	Без изменений	Белый налет	Частичное повреждение цинка
2	Без изменений		
3	Без изменений	Помутнение поверхностей	
4	Без изменений	Помутнение поверхности алюминия в виде потемнения	Серо-желтый налет

Приложение 2

Коррозионное состояние образцов (фрагмент НФС)			
Время испытаний в камере соляного тумана, сутки			
3	7	15	20
1	Сплошной белый налет продуктов коррозии цинка	Частичное разрушение цинка	Полное разрушение цинка, отдельные точки ржавчины
2	Без изменений	Объемные продукты коррозии алюминия в зоне контакта с винтом	
3	Без изменений	Тонкий белый налет в зоне контакта	
4	Без изменений	Помутнение поверхности алюминия в виде потемнения	