

# **ЦИНКСОДЕРЖАЩИЕ ЛАМЕЛЬНЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ НЕОРГАНИЧЕСКИХ СВЯЗУЮЩИХ ВЕЩЕСТВ**

**ПРИМЕНЕНИЕ ЦИНК-ЛАМЕЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ В КАЧЕСТВЕ  
АНТИКОРРОЗИОННОЙ ЗАЩИТЫ ВЫСОКОПРОЧНОГО  
КРЕПЕЖА ПРОИЗВОДСТВА ООО ЗВК «БЕРВЕЛ»**

## ПРЕИМУЩЕСТВА ЦИНК-ЛАМЕЛЬНОГО ПОКРЫТИЯ.

- Структура цинк-ламельного покрытия.
- Природа адгезии цинк-ламельного покрытия.
- Основы механизма антикоррозионной защиты цинк-ламельного покрытия.
- Коэффициент закручивания высокопрочных болтокомплектов с цинк-ламельным покрытием.
- Срок службы цинк-ламельного покрытия.
- Совместимость систем цинк-ламельного покрытия с лакокрасочными материалами.

# ЦИНК-ЛАМЕЛЬНЫЕ ПОКРЫТИЯ ИМЕЮТ РЯД ВАЖНЫХ ПРЕИМУЩЕСТВ ПО СРАВНЕНИЮ С ДРУГИМИ ВИДАМИ ПОКРЫТИЙ

- Высокая антикоррозионная защитная способность при небольшой толщине покрытия (от 5 мкм) в отличие от гальванических покрытий
- Отсутствие **наводороживания** стальной основы
- Температура отверждения соответствует низкотемпературному отпуску сталей
- Отсутствие сточных вод, экологическая чистота
- Приемлемая стоимость по сравнению с «горячими» покрытиями
- Покрытия наносятся окунанием деталей в суспензию, содержащую смесь цинковых и алюминиевых чешуек-ламель, связующего, растворителей и различных добавок. Затем проводится температурная обработка.

# СТРУКТУРА ЦИНК-ЛАМЕЛЬНОГО ПОКРЫТИЯ

- Плоская форма чешуек (ламелей) цинка и алюминия обеспечивает их плотную и слоистую укладку на поверхности стальной подложки.
- Образуется токопроводящее покрытие, выполняющее функцию катодной защиты.
- Композиции для нанесения покрытия содержат: цинк-75%, алюминий-7%, связующее (тетраизобутилтитанат, триметоксивинилсилан и тетраэтилсиликат).
- Высокие результаты по совокупности свойств: адгезия, когезия, защитная способность.

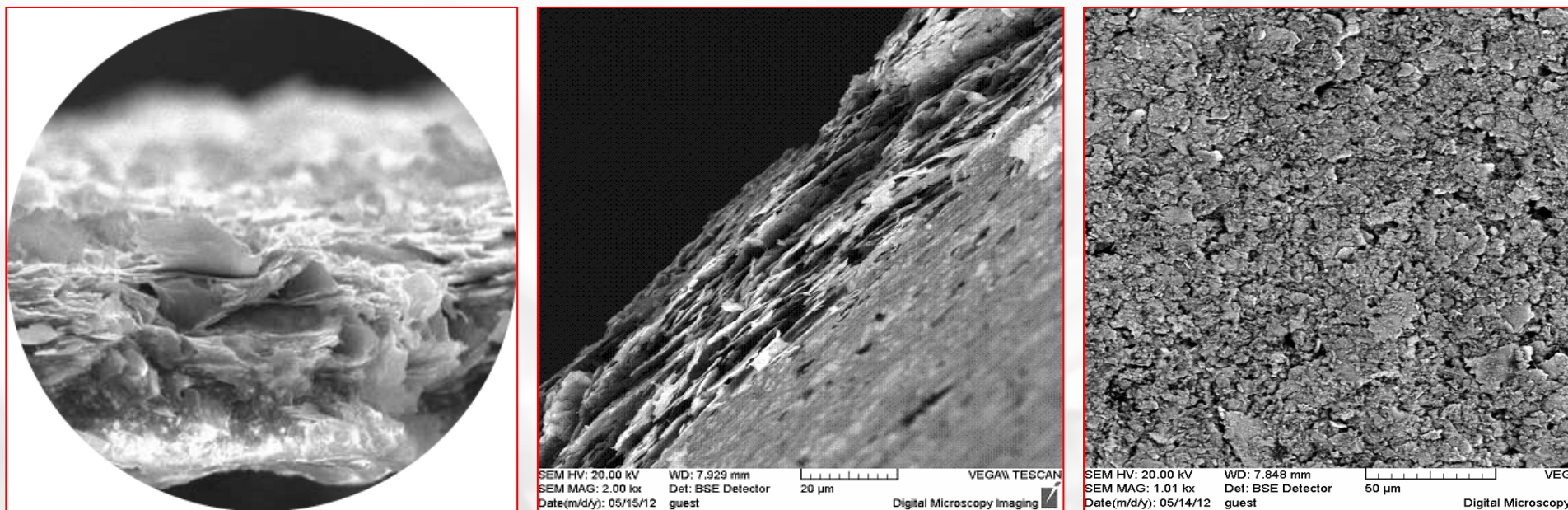
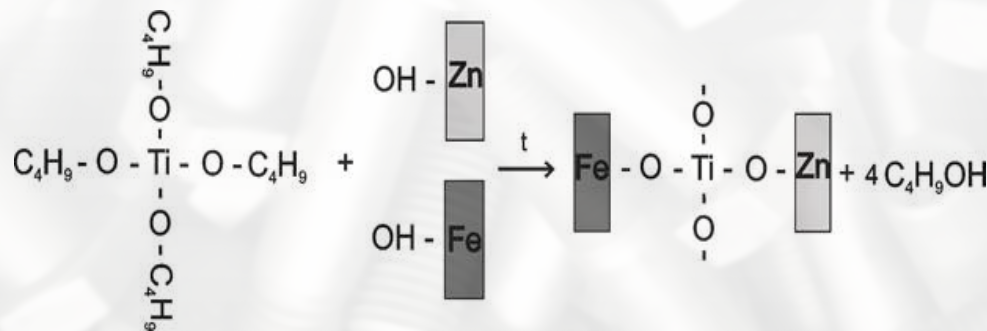


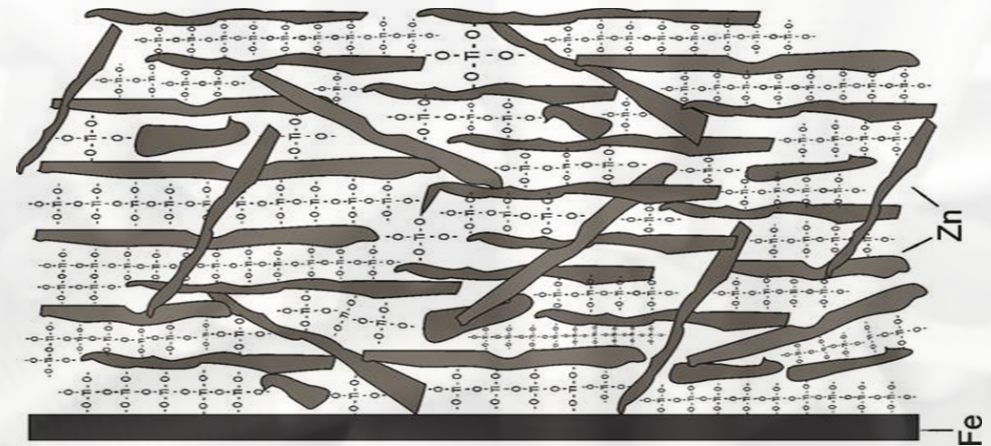
РИС 1. МИКРОФОТОГРАФИИ ШЛИФА И ПОВЕРХНОСТИ ЦИНК-ЛАМЕЛЬНОГО ПОКРЫТИЯ

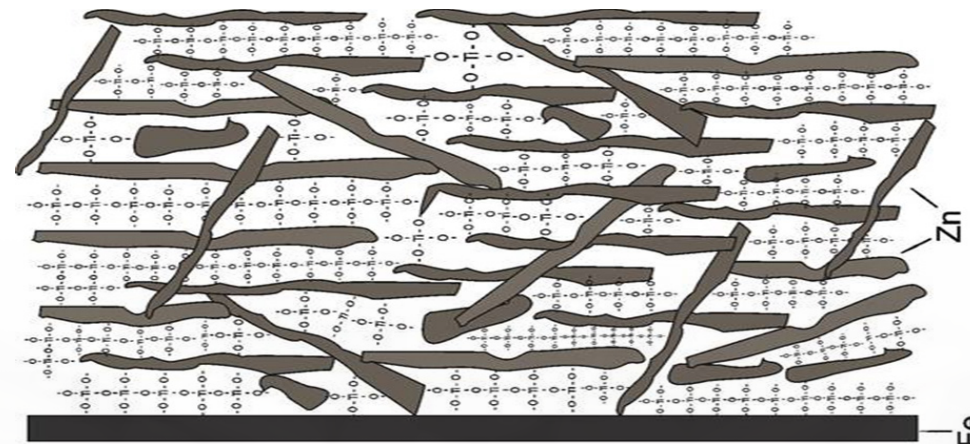
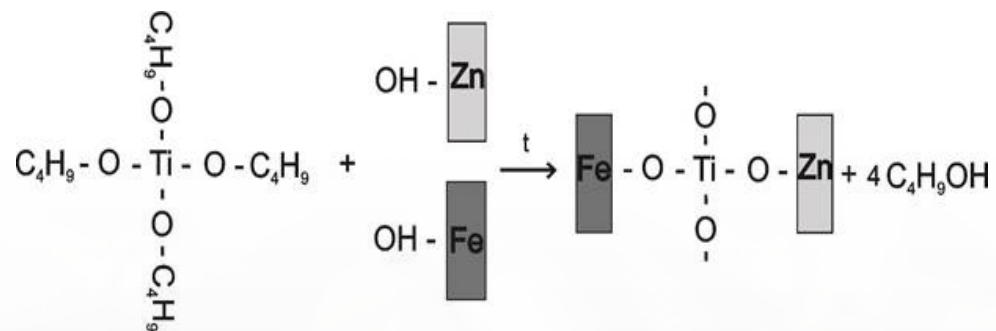
# АДГЕЗИЯ ЛАМЕЛЕЙ ЦИНКА И АЛЮМИНИЯ СО СТАЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

- Адгезия (сцепление) происходит в результате образования титановых оксидных мостиков между железом в стали и цинком в цинк-ламельном покрытии.
- В результате процессов гидролиза и поликонденсации формируются соответствующие полимеры (уравнение 1).
- Температура отверждения цинк-ламельного покрытия (220-230° С) способствует увеличению подвижности гидроксильных (ОН<sup>-</sup>) групп, всегда присутствующих на поверхности цинка и железа.



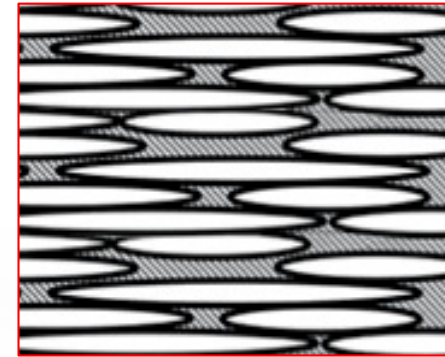
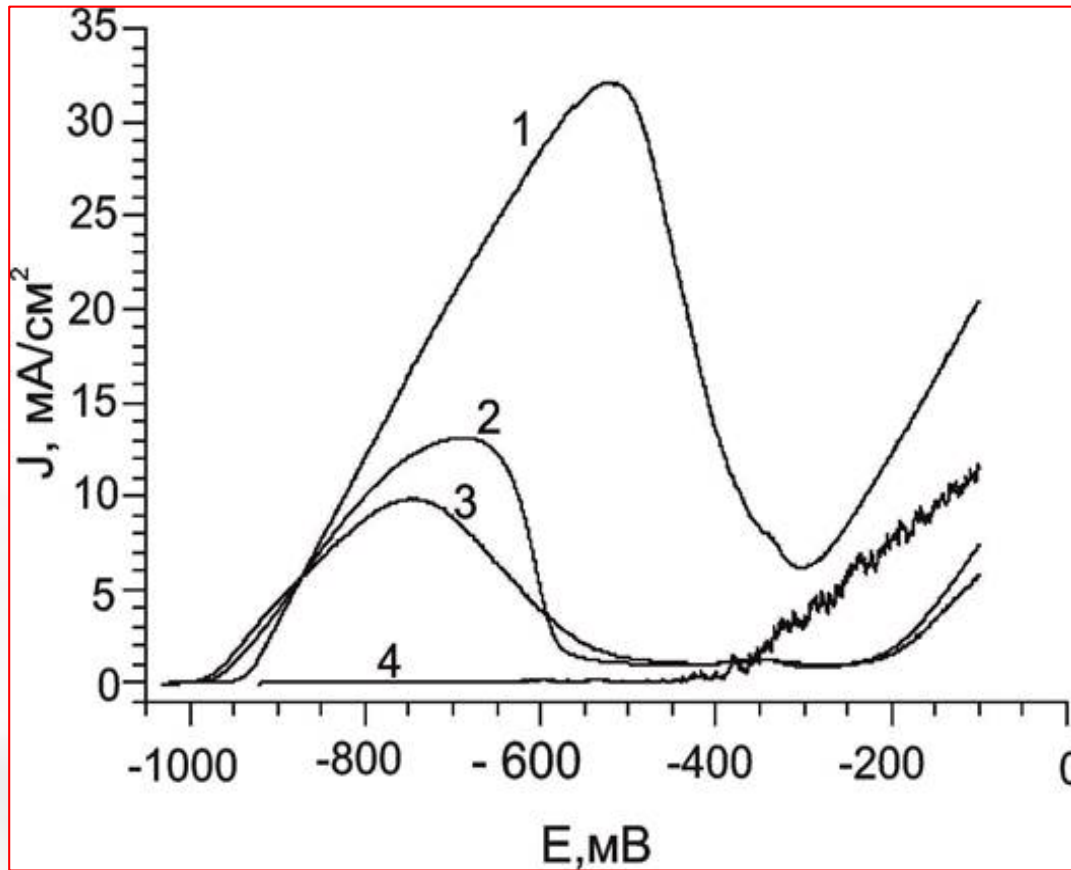
Уравнение 1



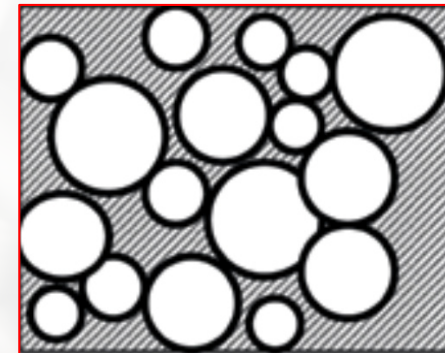


- в результате образуется плотная, прочно сцепленная структура, в которой цинковые ламели соединены между собой и стальной подложкой кислородными связями
- любая поверхность всегда гидратирована, т.е. содержит  $\text{OH}^-$  группу; титанат из суспензии для нанесения цинк-ламельного покрытия реагирует  $\text{OH}^-$  группами и образуется оксидная матрица, как на рисунке
- органическая составляющая суспензии (спирт) улетучивается в процессе температурного отверждения цинк-ламельного покрытия: **ПОКРЫТИЕ ПОЛУЧАЕТСЯ ПОЛНОСТЬЮ НЕОРГАНИЧЕСКИМ, В НЕМ НЕТ ОРГАНИЧЕСКИХ СМОЛ!**
- в процессе отверждения образуются трехмерные структуры оксидов титана, происходит процесс усадки: хлопья цинка прижимаются друг к другу и образуют контакты между собой и стальной подложкой

# ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ПОКРЫТИЙ



Цинк-ламельное покрытие электропроводно: многочисленные обширные контакты ламелей между собой и стальной подложкой



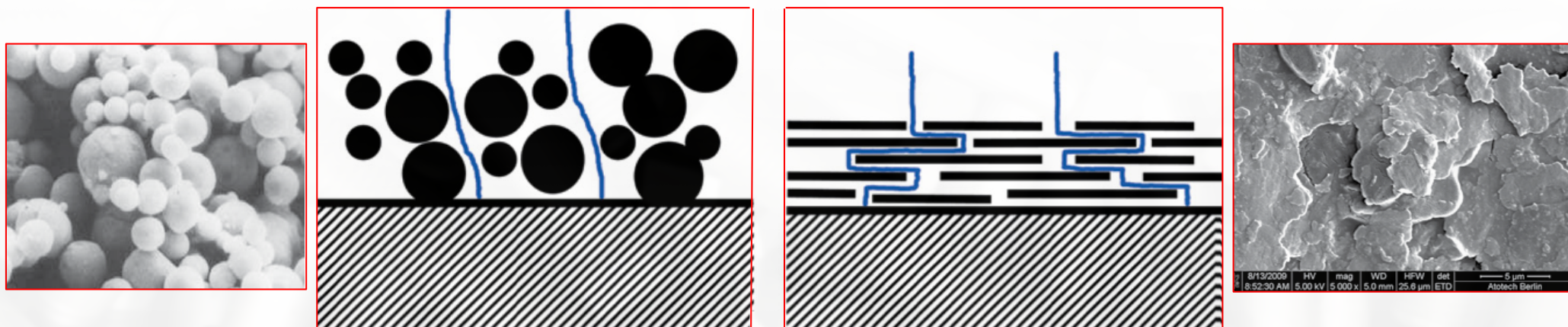
Лакокрасочное покрытие неэлектропроводно: между частицами цинкового порошка образуется токонепроводящий слой; контакт ограничивается всего несколькими точками

1 - Горячего цинкового; 2 и 3 – цинк-ламельного; 4 - лакокрасочного с цинковым наполнителем (порошком)

## ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ НАПРЯМУЮ СВЯЗАНА СО СКОРОСТЬЮ РАСТВОРЕНИЯ ПОКРЫТИЙ:

- 1 Высокая скорость растворения связана с активностью чистого цинка на поверхности, необходима пассивация;
- 2-3 Низкая скорость растворения, цинк менее активен, покрытие электропроводно;
- 4 Растворения нет, отсутствие тока, покрытие не электропроводно, катодная защита не обеспечивается.

# ПРОНИЦАЕМОСТЬ ЛАКОКРАСОЧНОГО И ЦИНК-ЛАМЕЛЬНОГО ПОКРЫТИЙ



Между частицами цинкового порошка  
в лакокрасочном покрытии

Между ламелями в цинк-ламелльном  
покрытии



# РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ БОЛТОКОМПЛЕКТОВ ВЫСОКОПРОЧНОГО КРЕПЕЖА С ЦИНК-ЛАМЕЛЬНЫМ ПОКРЫТИЕМ НА КОЭФФИЦИЕНТ ЗАКРУЧИВАНИЯ

Наименование болтокомплекта	Результаты испытаний на коэффициент закручивания болтокомплектов с цинк-ламельным покрытием и дополнительным топовым покрытием												
	20±2 °С										60°С		
	Через 12 часов после нанесения		Через 4 суток после нанесения		Через 5 суток после нанесения		+ увлажнение		+ перетяг 10%				
	Текущее	Среднее	Текущее	Среднее	Текущее	Среднее	Текущее	Среднее	Текущее	Среднее	Текущее	Среднее	
М 22x60	0,17	0,176	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,174	0,19	0,184	0,16	0,172	
	0,19		0,17		0,17		0,17		0,17		0,19		0,18
	0,18		0,17		0,17		0,17		0,18		0,18		0,17
	0,17		0,17		0,17		0,17		0,17		0,18		0,17
	0,17		0,17		0,17		0,17		0,18		0,18		0,18
М 24x80	0,18	0,176	0,18	0,176	0,18	0,176	0,17	0,174	0,17	0,168	0,16	0,17	
	0,17		0,18		0,18		0,17		0,17		0,17		0,16
	0,18		0,18		0,17		0,17		0,17		0,16		0,18
	0,18		0,17		0,17		0,17		0,18		0,16		0,18
	0,17		0,17		0,18		0,18		0,18		0,17		0,17

# СРОК СЛУЖБЫ СИСТЕМ ЦИНК-ЛАМЕЛЬНОГО ПОКРЫТИЯ ПРОИЗВОДСТВА ООО ЗВК «БЕРВЕЛ»



**ЦНИИПСК**

им. МЕЛЬНИКОВА  
(Основан в 1880 г.)

Испытательный центр «ЦНИИПСК-ТЕСТ»

117997, Москва, ул. Архитектора Власова, д.49. Тел. 8-499-128-83-26  
Свидетельство об аккредитации № ИЛ/ПРИ 00899 от 6 октября 2016 г.

УТВЕРЖДАЮ:

Директор  
ЗАО «ЦНИИПСК им. Мельникова»



В.М. Горичский  
2018 г.

## ПРОТОКОЛ № КИБ 18-0928-3

ускоренных коррозионных испытаний болтов М16 с цинк-ламельным покрытием в условиях имитирующих слабоагрессивную промышленную атмосферу с сернистым газом от 28 сентября 2018 г.

Заказчик: ООО «ЗВК «БЕРВЕЛ».

Основание: договор №70-601 от 20 июня 2018 г.

Объект: болты М16х70, кл.8.8:

- партия с цинк-ламельным покрытием (Пк)(1-базовое Пк +1 топ Пк) -5 шт.;
- партия с цинк-ламельным покрытием (2-базовых Пк +1 топ Пк) -5 шт.

Тип образца: болт М16.

Материал: сталь 40Х.

Испытательное оборудование, контрольные приборы:

коррозионное колесо (зав.инв. №06, аттестат №20/18 от 31.01.2018 г.);

гигростат (зав.№301, аттестат №14/18 от 31.01.2018 г.);

весы аналитические АДВ-200 (зав. № 675, свидетельство о поверке № АА 2335189, действительно до 30 января 2019 г.);

весы электронные, VIC-5100d1 (зав. № 18753669, свидетельство о поверке №АА2335190, действительно до 31 января 2019 г.);

линейка измерительная металлическая 1000 мм (зав. №0603, сертификат о калибровке № АА 2336989, дата проведения калибровки 12 февраля 2018 г.);



## ЦНИИПСК-ТЕСТ

гигрометр психрометрический, ВИП-1 (зав.№41, свидетельство о поверке № СП 1878400, действительно до 29 ноября 2019г.);  
рН-метр НН-8314 (зав.№683125, свидетельство о поверке № СП 1874618, действительно до 10 декабря 2018г.);  
прибор для измерения геометрических параметров «Константа К5» (зав. №1524, свидетельство о поверке № СП 1869564, действительно 27 ноября 2018г.);  
устройство тарировки болтов УТБ40 (поверено на испытательной машине ЦД-40, свидетельство о поверке № АА 22776608, действительно до 31 января 2019г.).

Условия проведения испытаний: температура воздуха в помещении 21-23°С;  
относительная влажность воздуха 69-74 %; атмосферное давление 90кПа.  
Испытания проведены в соответствии с ГОСТ 26294, приложение 3  
Результаты коррозионных испытаний приведены в табл.3, рис.1,2.  
Образцы после испытаний представлены на рис. 3, 4, 5.

Таблица 3

Маркировка	Исходная толщина Пк на гребень поверхности болта, мкм	Средняя толщина Пк на гребень поверхности болта, мкм	Средняя толщина Пк после испытаний**, мкм			Снижение толщины Пк после испытаний**, мкм		Глубинный показатель коррозии, мм/год		
			28дней	42 дня	56 дней	28дней	42 дня		56 дней	
6-8.8 М16х70	15;11;12;14;12	12,8	11,7	-	-	1,1	-	-	1,32	
7-8.8 М16х70	15;14;11;12;13	13,0	-	11,4	-	-	1,6	-	0,89	
8-8.8 М16х70	13;10;11;12;13	11,8	-	-	9,9	-	-	1,9	0,79	
9-8.8 М16х70*	13;11;11;10;13	11,6	-	-	-	-	-	-	1,8	0,75
10-8.8 М16х70*	10;12;13;11;12	11,6	-	-	-	-	-	-	1,9	0,79
16-8.8 М16х70	17;16;18;16;15	16,4	15,4	-	-	1,0	-	-	0,83	
17-8.8 М16х70	15;16;20;21;21	18,6	-	17,5	-	-	1,1	-	0,61	
18-8.8 М16х70	17;18;20;19;18	18,4	-	-	17,1	-	-	1,3	0,54	
19-8.8 М16х70*	18;19;18;20;19	18,8	-	-	-	-	-	1,4	0,58	
20-8.8 М16х70*	18;17;21;18;19	18,6	-	-	-	-	-	1,3	0,58	

Примечание: \*)-болты нагружены до 0,5σ<sub>в</sub>; № (6-10) -1 баз.+1 топ слои; № (16-20)- 2баз.+1 топ слои; 28 дней (4 цикла испытаний соответствует ~ 1,2 годам натуральных испытаний); - толщина покрытия определена без учета значащих шероховатостей поверхности крепежа перед нанесением цинк-ламельного покрытия (ИСО 198406-2004/Е).



ПРОТОКОЛ № КИБ 18-0928-3

## ЦНИИПСК-ТЕСТ

### Выводы:

- проведены ускоренные коррозионные испытания болтов М16 с цинк-ламельным покрытием без нагружения и с нагрузкой 0,5σ<sub>в</sub> в гигростате с SO<sub>2</sub>+ 0,001 и. растворе H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (ГОСТ 26294-84).
- определены значения снижения толщины покрытия и средней скорости коррозии после 28, 42 и 56 дней испытаний (см. табл.3);
- построены зависимости снижения толщины и средней скорости коррозии покрытия от времени испытаний (см. рис.1.2);
- представлены виды образцов после 28, 42 и 56 дней испытаний (см. рис. 3, 4, 5);
- критерием оценки антикоррозионной стойкости цинк-ламельного покрытия служила гладкая поверхность болта;
- показано, что коррозионная стойкость цинк-ламельного покрытия системы (2-базовых +1 топовый слой) по сравнению с системой (1-базовое +1 топовый слой) при ускоренных испытаниях в 1,5 раза выше;
- появление бурных продуктов коррозии в резьбовой части болта с цинк-ламельным покрытием на ранней стадии испытаний связано, по-видимому, со снижением толщины покрытия во впадине резьбы по сравнению с рабочей частью и гребнем резьбы, а нагрузка болта до 0,5σ<sub>в</sub> дополнительно увеличивает коррозию;
- при ускоренных испытаниях болтов М16 нагруженных до 0,5σ<sub>в</sub> практически не выявили влияние нагрузки на глубинный показатель коррозии.

### Заключение:

- скорость коррозии цинк-ламельного покрытия (1 базовый+1топовый слой) на болтах М16 при ускоренных испытаниях в гигростате с SO<sub>2</sub>+ 0,001 и. растворе H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (при учете испытаний 28 дней-4 цикла примерно 1,2 года натуральных испытаний) составляет 1,32 мм/год;
- скорость коррозии цинк-ламельного покрытия (2 базовых+1топовый слой) на болтах М16 при ускоренных испытаниях в гигростате с SO<sub>2</sub>+ 0,001 и. растворе H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (при учете испытаний 28 дней-4 цикла примерно 1,2 года натуральных испытаний) составляет 0,83 мм/год;
- из кинетики зависимости скорости коррозии покрытия от продолжительности ускоренных испытаний видно, что есть тенденция к снижению глубинного показателя коррозии.

На основании результатов расчета глубинного показателя коррозии цинк-ламельного покрытия после ускоренных испытаний в условиях имитирующей слабоагрессивную промышленную атмосферу с SO<sub>2</sub> в соответствии с ГОСТ 26294-84 в первые 56 дней (8 циклов) продолжительность действия защитного покрытия с заданной толщиной 18 мкм составит:

Система защитного покрытия	Продолжительность действия защитного покрытия
1 базовый+1 топовый слой	23 года
2 базовых+1 топовый слой	33 года

Руководитель Испытательного Центра «ЦНИИПСК-ТЕСТ», к.т.н.

Шнейдеров Г.Р.

Испытания провели:

зав. лабораторией, к.т.н.  
зав. группой

Сотсков Н.И.  
Селезнева О.Н.



ПРОТОКОЛ № КИБ 18-0928-3

**СОВМЕСТИМОСТЬ СИСТЕМ ЦИНК-ЛАМЕЛЬНОГО ПОКРЫТИЯ  
ООО ЗВК «БЕРВЕЛ» (СТО 37841295-018-2018) С  
ЛАКОКРАСОЧНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ (ЛКМ) ФИРМЫ **HEMPERL** :  
HEMPADUR AVANTGUARD 770 – ГРУНТОВКА 2 СЛОЯ  
HEMPADUR MASTIC 45880/45881 – ПРОМЕЖУТОЧНОЕ ПОКРЫТИЕ 2 СЛОЯ**

После нанесения ЛКМ: отслаивания и  
вспучивания не обнаружено



# ИСПЫТАНИЯ НА АДГЕЗИЮ ПО ГОСТ Р ИСО 10683-2013

## ▶ Метод отрыва:

- ▶ при помощи липкой ленты с адгезивной прочностью  $(7\pm 1)$  Н на 25 мм ширины
- ▶ На ленте **НЕ обнаружено** частиц ЛКМ



# ИСПЫТАНИЯ НА АДГЕЗИЮ ПО ГОСТ 15140-78

## Метод решетчатых

### надрезов:

- ▶ нанесение надрезов с квадратом решетки 2x2 мм при помощи скальпеля
- ▶ Оценка адгезии: **1 балл**
- ▶ Края надрезов полностью гладкие, нет признаков отслаивания ни в одном квадрате решетки



**СИСТЕМЫ ЦИНК-ЛАМЕЛЬНОГО ПОКРЫТИЯ  
ООО ЗВК «БЕРВЕЛ» (СТО 37841295-001-2016) **ПОЛНОСТЬЮ**  
**СОВМЕСТИМЫ** С ЛАКОКРАСОЧНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ (ЛКМ)  
ФИРМЫ НЕМРЕЛ**



**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ !**