



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.

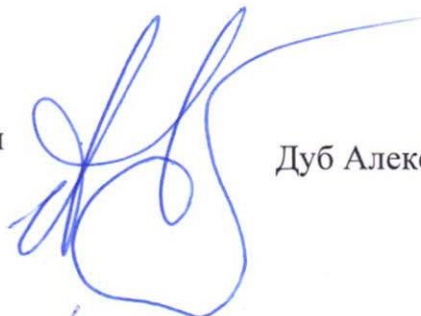
15.06.2018

Заключение № 061/18-501-1

«Исследование качества и коррозионной стойкости цинковых покрытий, нанесенных по технологии «ПРАНС» на низкоуглеродистые стали, на соответствие требованиям ГОСТ 9.316-2006 «Покрyтия термодиффузионные цинковые. Общие требования и методы контроля»

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



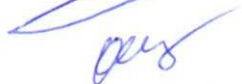
Обухова Татьяна Анатольевна

доцент, к.х.н



Сафонов Иван Александрович

научный сотрудник



Шевейко Ольга Владимировна

научный сотрудник



Ковалев Александр Федорович

инженер I категории



Шibaева Татьяна Владимировна

Заявитель	ООО " СКБ Экотранспорт "
Основание для проведения испытаний	Договор № 061/18-501 от 14 апреля 2018г.
Дата проведения исследований	начало 10 мая 2018 г. окончание 15 июня 2018 г
Задачи испытаний	Дать оценку качества цинкового покрытия, нанесенного по технологии «ПРАНС» на соответствие требованиям ГОСТ 9.316-2006.
Образцы	Образцы с цинковыми покрытиями, нанесенным методом напыления по технологии «ПРАНС» в соответствии с ТУ № 2458-002-13339705-2015.
Документация	1. ГОСТ 9.316-2006 «Покрытия термодиффузионные цинковые. Общие требования и методы контроля»; 2. ТУ №2458-002-13339705-2015 Металлические, композиционные многослойные покрытия, наносимые оборудованием «ПРАНС».
Результаты исследований	Заключение № 061/18-501-1

На исследование поступили семь образцов, условно обозначенных №1, №3-№6, №8, №10, с цинковыми покрытиями, нанесенными на низкоуглеродистую сталь Ст 3 методом напыления по технологии «ПРАНС» в соответствии с ТУ № 2458-002-13339705-2015 (рис. 1). Напыляемый материал – цинк марки ПЦР0 по ГОСТ 12601-76 «Порошок цинковый. Технические условия». Напыление проводилось стандартным оборудованием «ПРАНС» 5-8-211.



Рис. 1 Внешний вид исходных образцов

Отбор и изготовление образцов проводились представителями Заказчика.

Цель работы: оценка качества и коррозионной стойкости цинковых покрытий, нанесенных методом напыления по технологии «ПРАНС» в соответствии с ТУ № 2458-002-13339705-2015 на соответствие требованиям ГОСТ 9.316-2006.

Методики исследований:

1. Оценку внешнего вида проводили визуально в соответствии с ГОСТ 9.316-2006 п. 7.4.
2. Толщину покрытия измеряли при помощи магнитного толщиномера Константа К5 по ГОСТ 9.316-2006 п. 7.5. Результаты представлены по 10 измерениям.
3. Прочность сцепления оценивали визуально в соответствии с ГОСТ 9.316-2006 п. 6.11.2 и методом нагрева по ГОСТ 9.307-89 п. 2.3. Сущность последнего заключалась в нагреве образца до температуры 190 ± 10 °С, выдержке в течение 1 ч и охлаждении на воздухе. Контроль вздутий и отслаиваний покрытий оценивали визуально.
4. Остаточную хрупкость проводили визуально в соответствии с ГОСТ 9.316-2006 п.7.6.
5. Ускоренные коррозионные испытания проводили в соответствии с ГОСТ 9.308-85 «Покрытия металлические и неметаллические неорганические» пункт 1. Методы

ускоренных испытаний» в климатической камере соляного тумана при периодическом распылении 3%-го раствора NaCl при относительной влажности 98% и температуре в камере 40⁰ С.

Оценку внешнего вида поверхностей образцов проводили после 192 ч (8 суток) и 720 ч (30 суток) испытаний. Коррозионную стойкость оценивали визуально по наличию/отсутствию продуктов коррозии стальной основы (ГОСТ 9.316-2006 п.6.11.4.3). При этом образование продуктов коррозии покрытия на кромках (торцах) образцов не учитывали.

6. Металлографический анализ проведен с целью оценки толщины покрытий на комплексе АльтамиМЕТ. Шлифы были изготовлены в поперечных сечениях исходных образцов.

Результаты исследования

1. Оценка качества цинковых покрытий

В результате исследования *внешнего вида* установлено, что в состоянии поставки покрытие, нанесенное по технологии «ПРАНС», серого цвета, матовое, шероховатое, без признаков нарушения сплошности, что соответствует требованиям ГОСТ 9.316-2006 таблица 2.

Измерение толщины покрытия магнитным методом. В таблице 1 представлены результаты измерения толщин цинкового покрытия исследуемых образцов. Получено, что толщина покрытий составляет 107-129 мкм, при этом имеют большой разброс значений при параллельных измерениях – стандартное отклонение составляет 10-21 мкм. Достаточно низкая точность определения толщины покрытия связана с невысокой точностью определения данного неразрушающего метода (магнитного) контроля.

Таблица 1 – Толщина цинковых покрытий исследуемых образцов, мкм

№ образца	Толщина покрытия	Стандартное отклонение
1	107	13,1
2	110	10,0
3	124	19,5
4	117	17,8
5	119	18,5
6	128	14,7
7	110	10,2
8	129	21,0

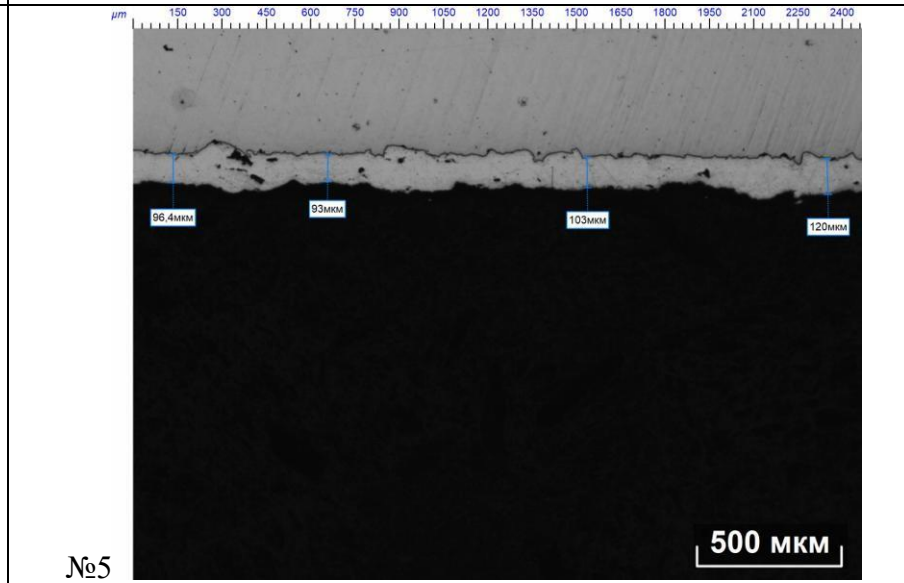
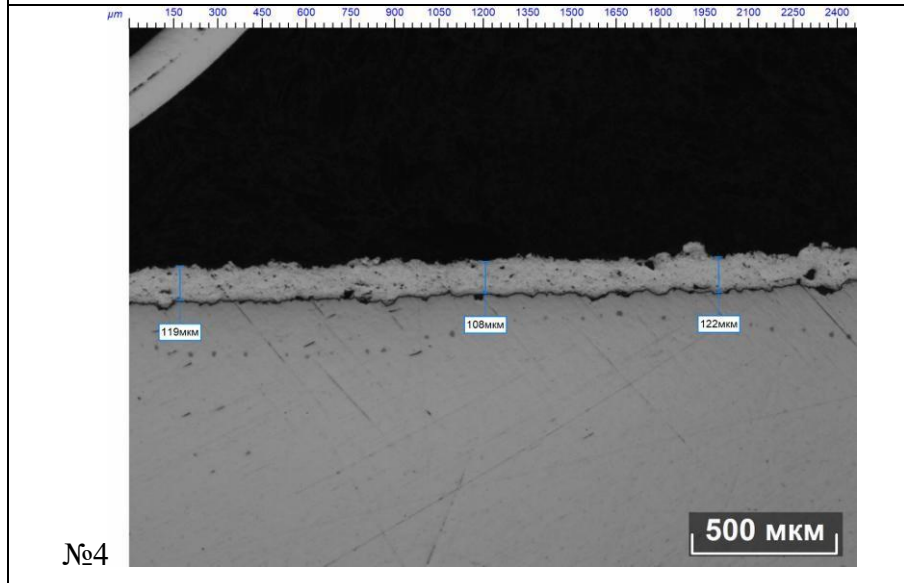
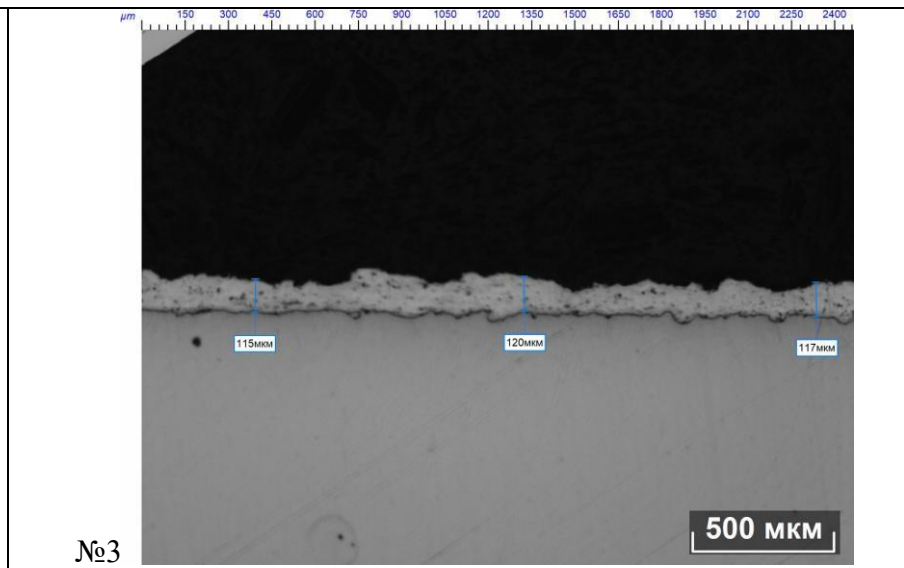
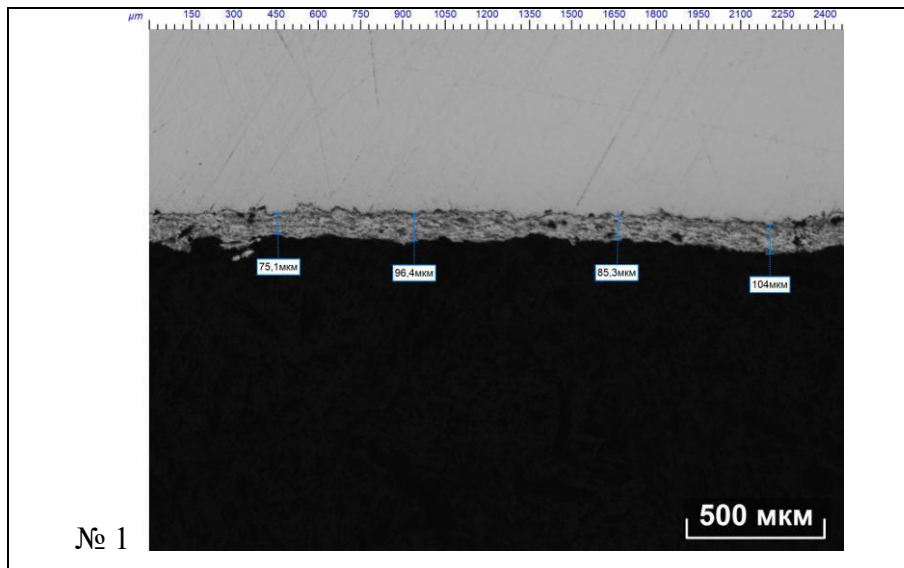
10	108	11,2
----	-----	------

Металлографический анализ проводили с целью определения толщины и качества покрытия.

В результате анализа установлено, что покрытия на всех исследуемых образцах неравномерные, поскольку наблюдается большой (до 40 мкм) разброс значений толщины (рис.2). Наличие интерметаллидной фазы Fe-Zn и отсутствие полостей и несплошностей между стальной основой и цинковым покрытием свидетельствует о хорошей адгезии покрытия к металлу. Толщина покрытий на исследуемых образцах представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Толщины цинковых покрытий, мкм

Образец	1	3	4	5	6	8	10
Толщина покрытия	75-105	115-125	108-122	90-120	60-80	115-125	108-125



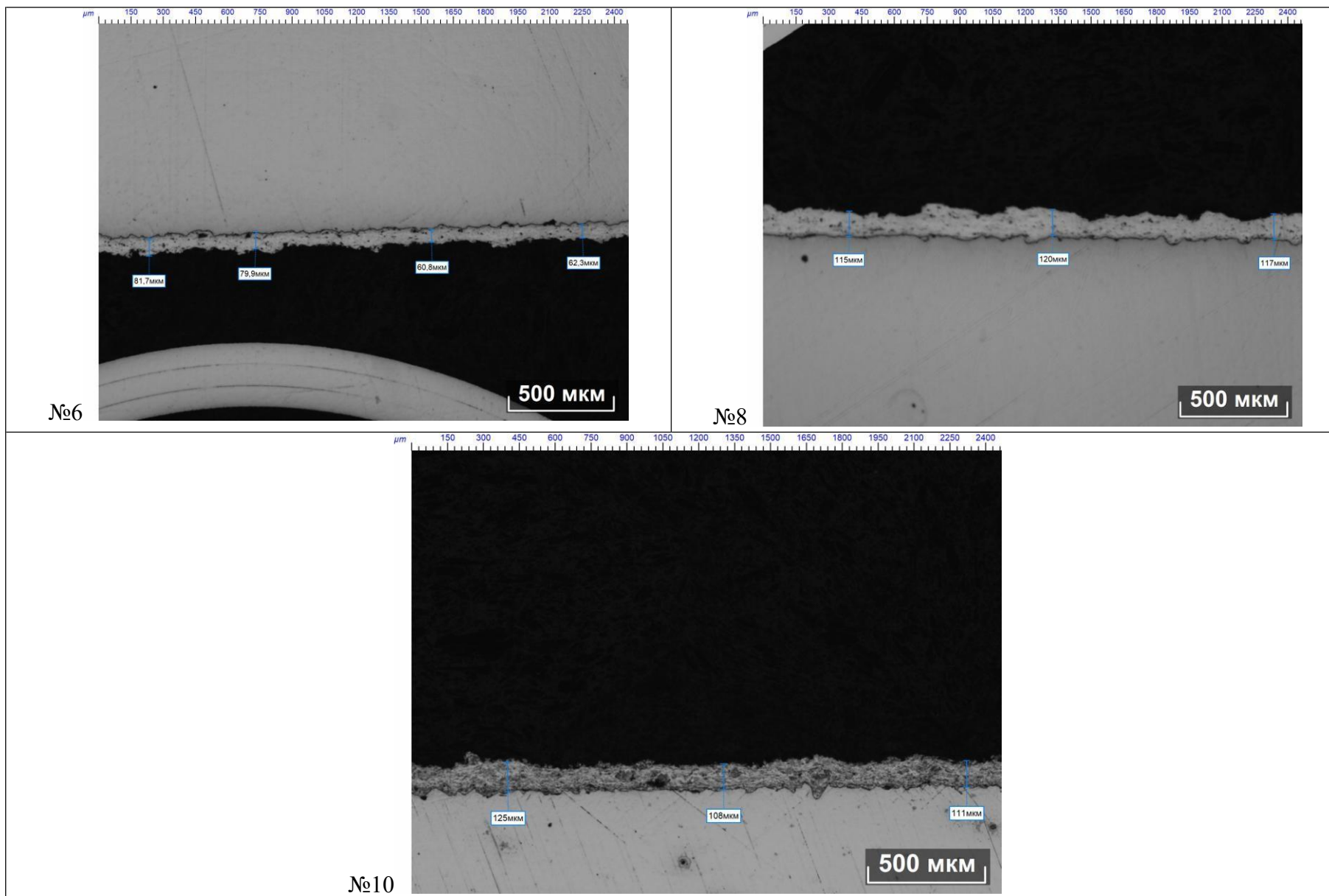


Рис.2 Состояние материала исследуемых образцов с цинковым покрытием

Показатели толщины исследуемых цинковых покрытий, полученные в результате исследования, представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Показатели исследуемых покрытий

Показатель	№ образца						
	1	3	4	5	6	8	10
Толщина покрытия, мкм (магнитный)	91-133	99-143	98-134	97-146	105-156	90-152	87-122
Толщина покрытия, мкм (металлография)	75-105	115-125	108-122	90-120	60-80	115-125	108-125

В результате визуальной оценки *прочности сцепления* цинковых покрытий со стальной основой (после нагрева, выдержки и охлаждения) вздутий и отслаиваний на исследуемых образцах не обнаружено, что соответствует требованиям ГОСТ 9.302-88 п.5.2.

2. Оценка коррозионной стойкости цинковых покрытий

Внешнее состояние поверхностей деталей во время и после испытаний в камере соляного тумана оценивали визуально.

После испытаний в камере соляного тумана в течение 192 ч (рис. 3) на поверхностях образцов выявлен белый налет, типичный для коррозии цинкового покрытия на начальной стадии, и точки белого цвета, расположенные по всей поверхности, размер которых составляет 1-2 мм. Признаков коррозии стальной основы не обнаружено.

После 720 ч (рис.4) испытаний наблюдается коррозия в виде более плотного налета и множественных пятен с объемными порошкообразными продуктами коррозии цинка. Признаки коррозии стальной не зафиксировано.

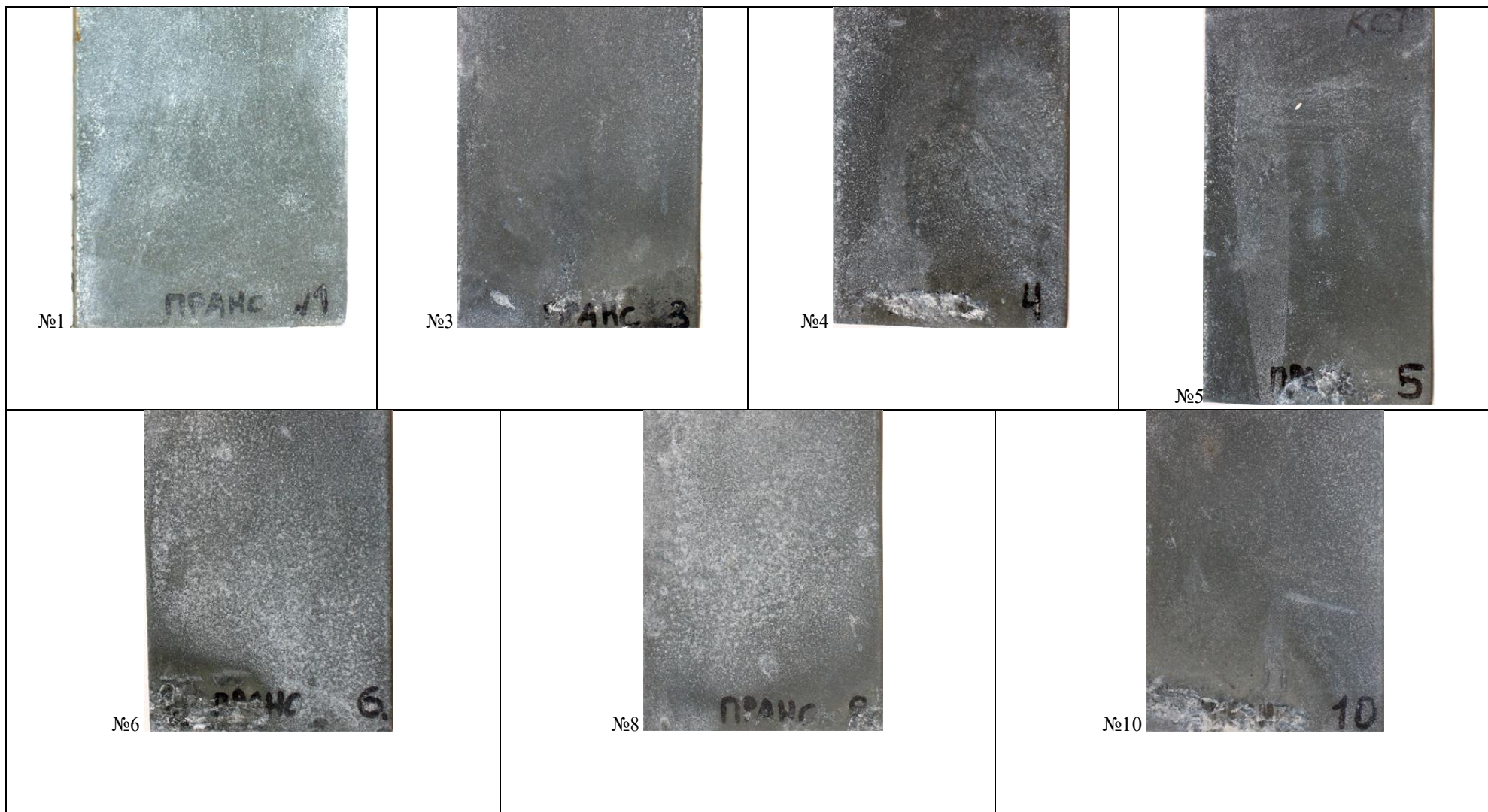


Рис. 3. Внешний вид образцов после испытаний в камере соляного тумана в течение 192 часов.

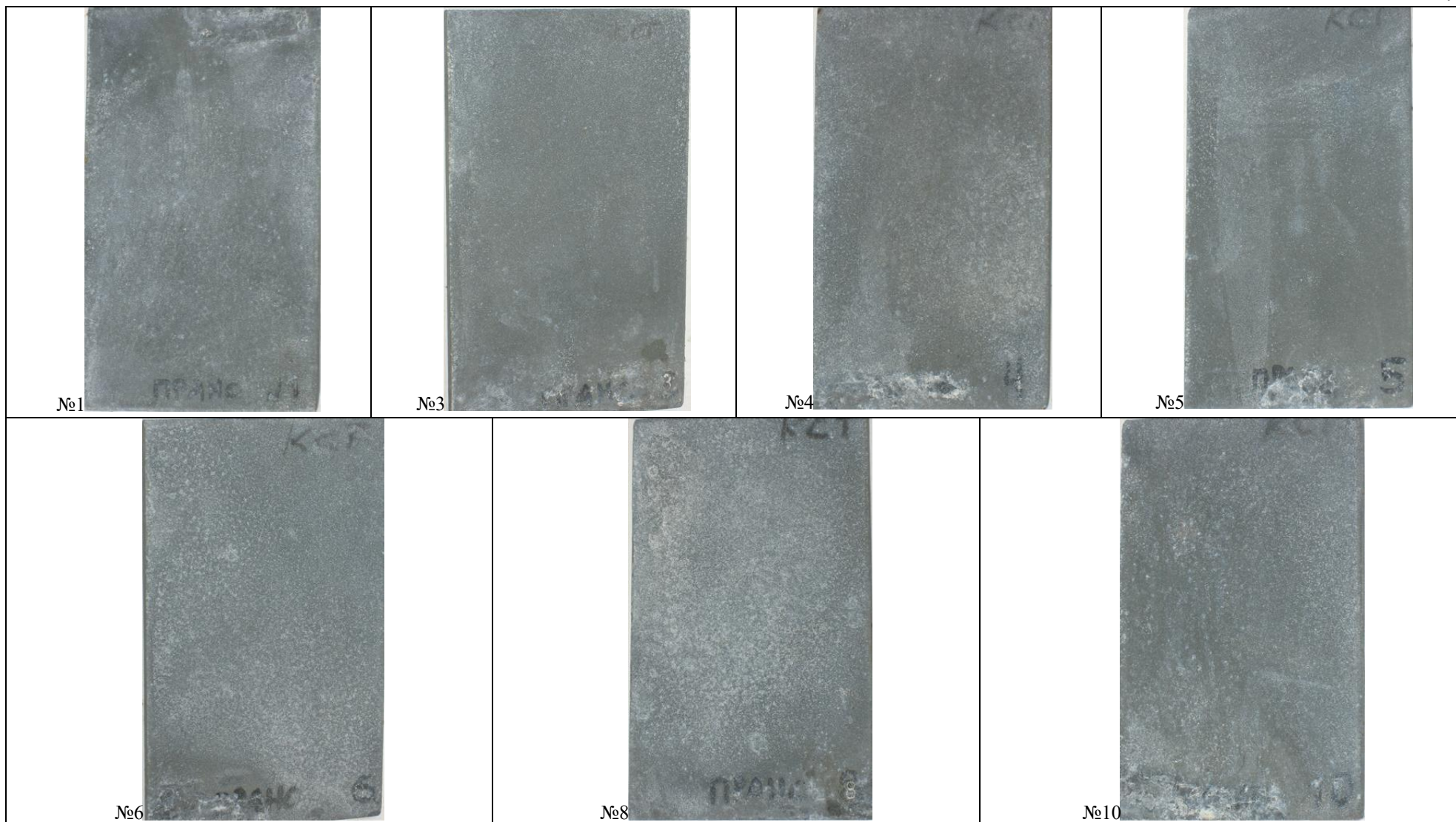


Рис. 4. Внешний вид образцов после испытаний в камере соляного тумана в течение 720 часов.

Выводы

1. Внешний вид цинковых покрытий, нанесенных на углеродистую сталь по технологии «ПРАНС» ТУ №2458-002-13339705-2015, соответствуют требованиям ГОСТ 9.316-2006 таблица 2.
2. Толщина исследуемых покрытий, измеренная магнитным методом, составляет 107-129 мкм, методом металлографии – 60-125 мкм. Технические особенности стандартного оборудования серии «ПРАНС» дают возможность варьировать толщину покрытия от 5 до 300 мкм, что соответствует требованиям ГОСТ 9.316 – 2006 таблицы 2.
3. Прочность сцепления покрытия со стальной основой исследуемых образцов, оцененные визуально после испытаний методом нагрева, соответствуют требованиям ГОСТ 9.316-2006 таблица 2.
4. Отсутствие признаков коррозии стальной основы (ржавчины) зафиксировано для всех образцов после 192 ч и 720 ч испытаний, что соответствует требованиям ГОСТ 9.316-2006 таблица 2.

Заключение: образцы защитного цинкового покрытия, нанесенного по технологии «ПРАНС» ТУ №2458-002-13339705-2015 на Ст3 , соответствуют требованиям, предъявляемым к покрытию ГОСТ 9.316-2006 «Покрытия термодиффузионные цинковые. Общие требования и методы контроля».

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