



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.

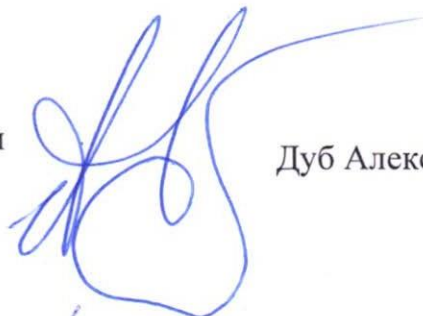
15.06.2018

Заключение № 061/18-501-2

«Исследование качества и коррозионной стойкости цинковых покрытий, нанесенных по технологии «ПРАНС» на низкоуглеродистые стали, на соответствие требованиям ГОСТ 9.304 - 87 «Покрытия газотермические. 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



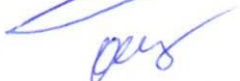
Обухова Татьяна Анатольевна

доцент, к.х.н



Сафонов Иван Александрович

научный сотрудник



Шевейко Ольга Владимировна

научный сотрудник



Ковалев Александр Федорович

инженер I категории



Шибаева 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» ТУ № 2458-002-13339705-2015 на соответствие требованиям ГОСТ 9.304-87.
Образцы	Образцы с цинковыми покрытиями, нанесенным методом напыления по технологии «ПРАНС» в соответствии с ТУ № 2458-002-13339705-2015.
Документация	1.ГОСТ 9.304-87 ЕСЗКЗ. «Покрyтия газотермические. Общие требования и методы контроля»; 2.ТУ №2458-002-13339705-2015. «Металлические, композиционные многослойные покрытия, наносимые оборудованием «ПРАНС».
Результаты исследований	Заключение № 061/18-501-2

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 ПЦР 0 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 9.304-87 пункт 2.3.

Методики исследований:

1. Оценку внешнего вида проводили визуально в соответствии с ГОСТ 9.304-87 п.2.3.2.
2. Шероховатость определяли на оптическом профилемере «Veeco Wyko NT 1100» Оценку шероховатости проводили по ГОСТ 9.304-87 (Таблица 3).
3. Толщину покрытия измеряли при помощи магнитного толщиномера Константа К5 по ГОСТ 9.304-87 п.2.3.4. Результаты представлены по 10 измерениям.
4. Прочность сцепления оценивали визуально в соответствии с ГОСТ 9.304-87 п.2.3.5. 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.
5. Пористость покрытий измеряли гидростатическим методом по ГОСТ 9.304-87 (Приложение 3).

6. Ускоренные коррозионные испытания проводили в соответствии с ГОСТ 9.308-85 «Покрyтия 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 40⁰С.

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. При этом образование продуктов коррозии покрытия на кромках (торцах) образцов не учитывали.

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

Результаты исследования

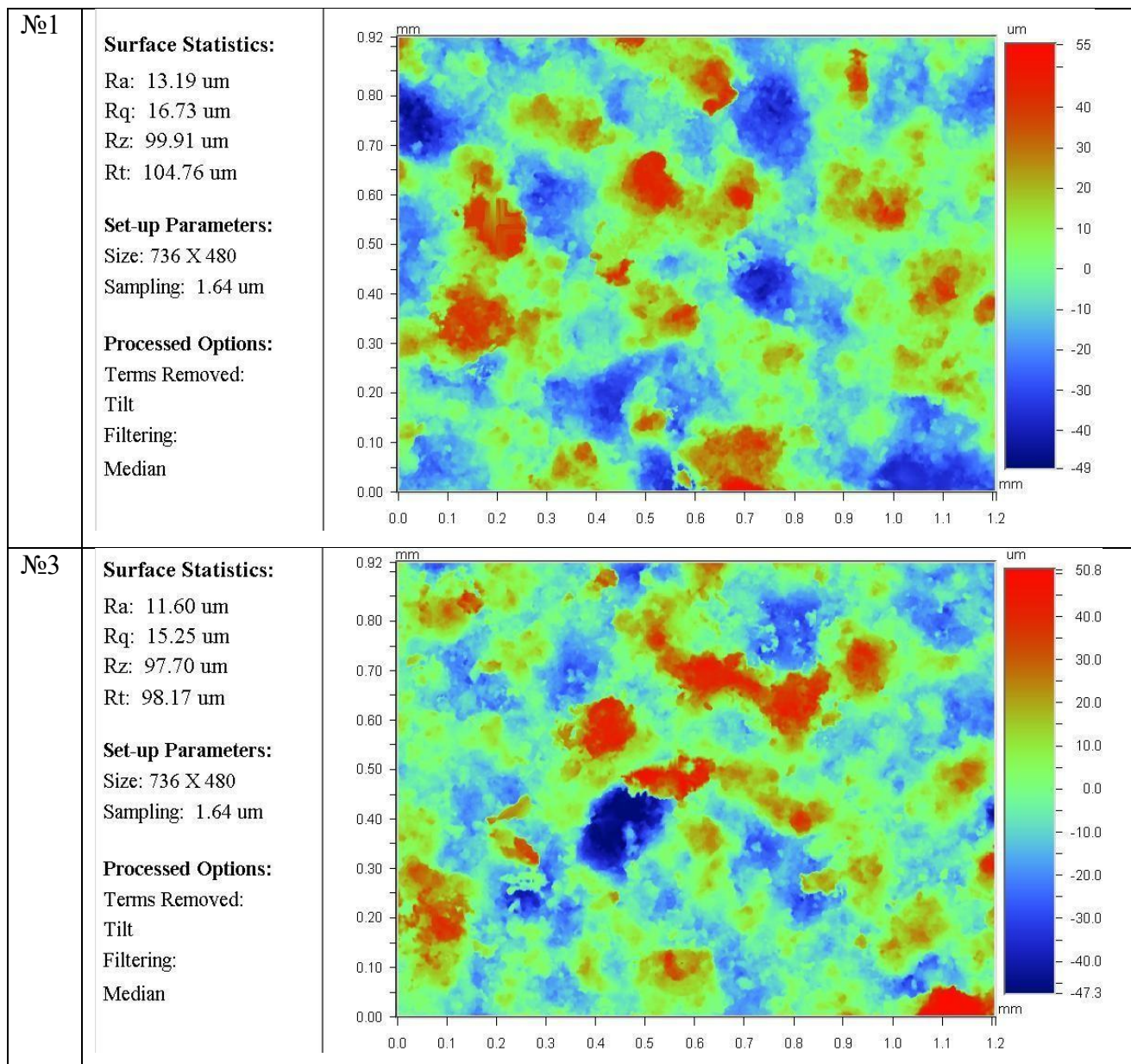
1. Оценка качества цинковых покрытий

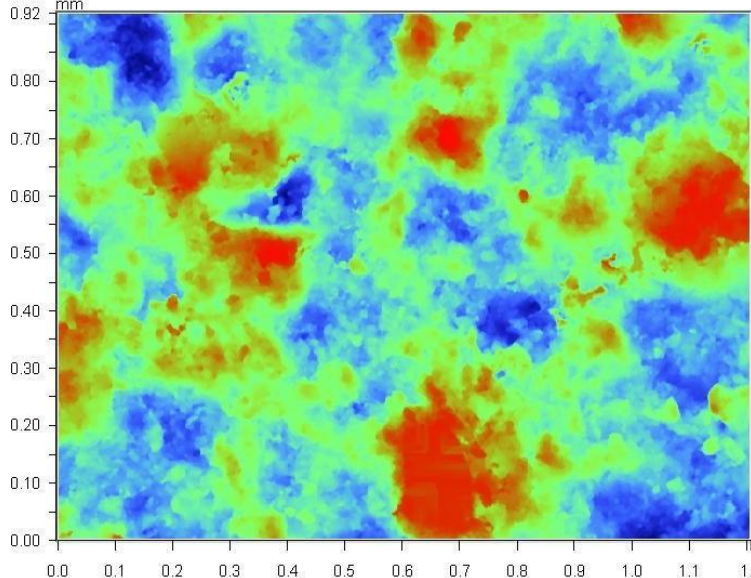
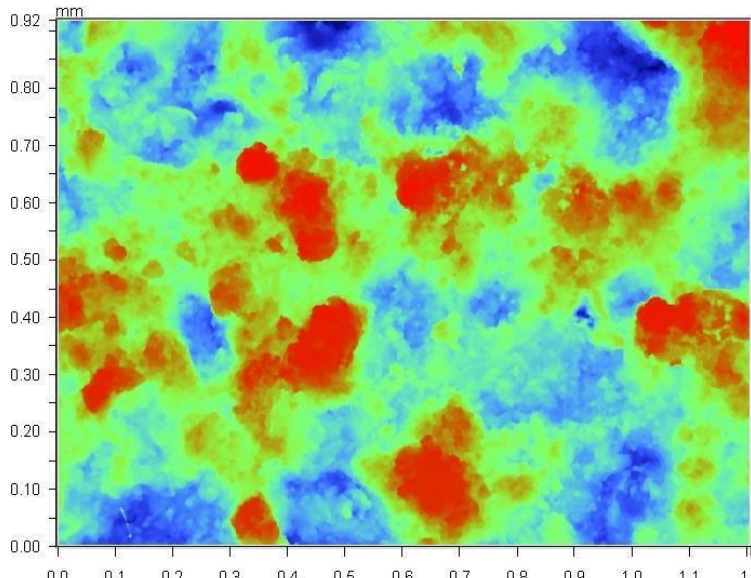
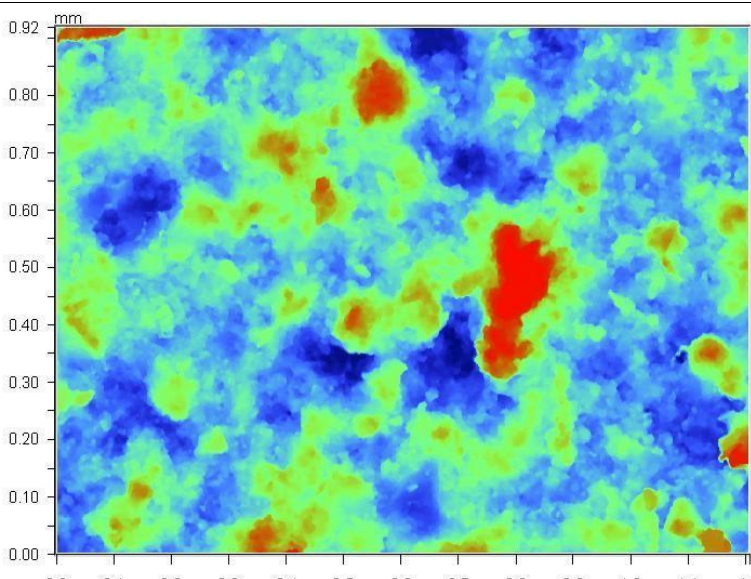
В результате исследования *внешнего вида* установлено, что в состоянии поставки покрытие, нанесенное по технологии «ПРАНС», серого цвета, матовое, шероховатое, без признаков нарушения сплошности, что соответствует требованиям ГОСТ 9.304-87 таблица 3.

Значения *шероховатости* поверхностей исследуемых образцов представлены в таблице 1. Видно, что значения среднеарифметического отклонения профиля (Ra) находятся в пределах 11-16 мкм, что соответствует требованиям ГОСТ 9.304-87 (не более 20-25 мкм). Наибольшая высота профиля (Rz) по ГОСТ 9.304-87 составляет не более 80-100 мкм и образцы № 1, №3-№7 и №10 соответствуют требованиям, поскольку значения Rz находится в пределах 93-100 мкм. Для образцов №2 и № 8 Rz выше аттестованного – 102.4 и 100.1 соответственно.

Таблица 1 – Шероховатость поверхности исследуемых образцов, мкм

Показатель	№ образца						
	1	3	4	5	6	8	10
R_a	13.19	11.60	12.41	13.80	11.14	14.16	10.26
R_z	99.91	97.70	90.32	96.69	97.68	100.18	92.53



<p>№4</p>	<p>Surface Statistics: Ra: 12.41 μm Rq: 15.70 μm Rz: 90.32 μm Rt: 93.70 μm</p> <p>Set-up Parameters: Size: 736 X 480 Sampling: 1.64 μm</p> <p>Processed Options: Terms Removed: Tilt Filtering: Median</p>	
<p>№5</p>	<p>Surface Statistics: Ra: 13.80 μm Rq: 17.22 μm Rz: 96.69 μm Rt: 99.07 μm</p> <p>Set-up Parameters: Size: 736 X 480 Sampling: 1.64 μm</p> <p>Processed Options: Terms Removed: Tilt Filtering: Median</p>	
<p>№6</p>	<p>Surface Statistics: Ra: 11.14 μm Rq: 14.76 μm Rz: 97.68 μm Rt: 99.00 μm</p> <p>Set-up Parameters: Size: 736 X 480 Sampling: 1.64 μm</p> <p>Processed Options: Terms Removed: Tilt Filtering: Median</p>	

<p>№8</p>	<p>Surface Statistics: Ra: 14.16 um Rq: 18.23 um Rz: 100.18 um Rt: 102.49 um</p> <p>Set-up Parameters: Size: 736 X 480 Sampling: 1.64 um</p> <p>Processed Options: Terms Removed: Tilt Filtering: Median</p>	
<p>№10</p>	<p>Surface Statistics: Ra: 10.26 um Rq: 13.24 um Rz: 92.53 um Rt: 96.28 um</p> <p>Set-up Parameters: Size: 736 X 480 Sampling: 1.64 um</p> <p>Processed Options: Terms Removed: Tilt Filtering: Median</p>	

Поскольку значения шероховатости покрытия меньше толщины покрытия, было проведено измерение *толщины покрытия* магнитным методом. В таблице 2 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 2 – Толщина цинковых покрытий исследуемых образцов, мкм

№ образца	Толщина покрытия	Стандартное отклонение
1	107	13,1
3	124	19,5
4	117	17,8
5	119	18,5
6	128	14,7
8	129	21,0
10	108	11,2

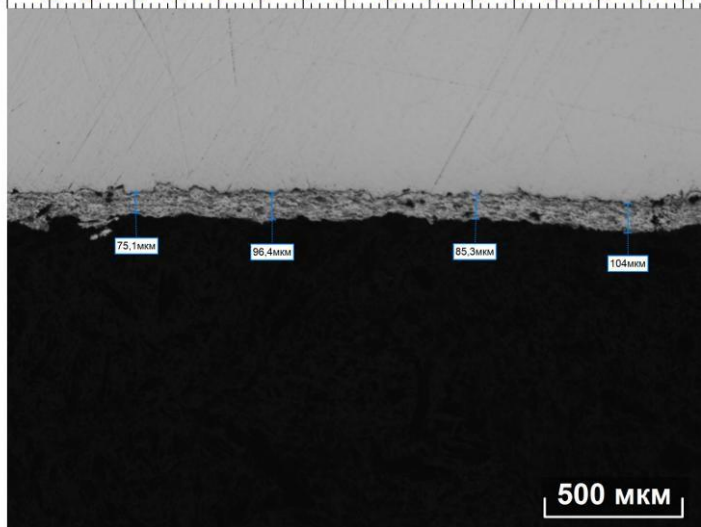
Металлографический анализ проводили с целью определения толщины и качества покрытия.

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 3.

Таблица 3 – 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

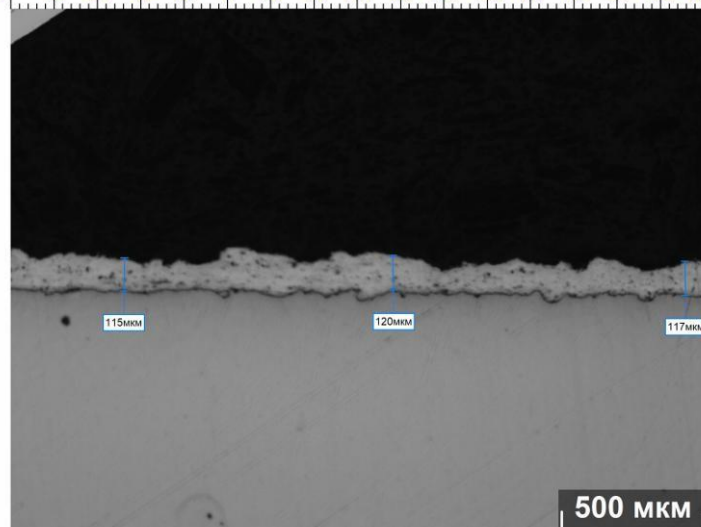
μm 150 300 450 600 750 900 1050 1200 1350 1500 1650 1800 1950 2100 2250 2400



№ 1

500 μm

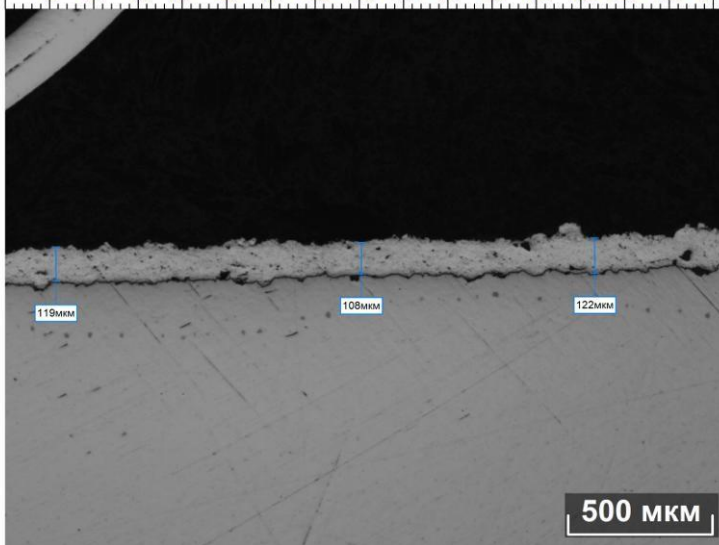
μm 150 300 450 600 750 900 1050 1200 1350 1500 1650 1800 1950 2100 2250 2400



№3

500 μm

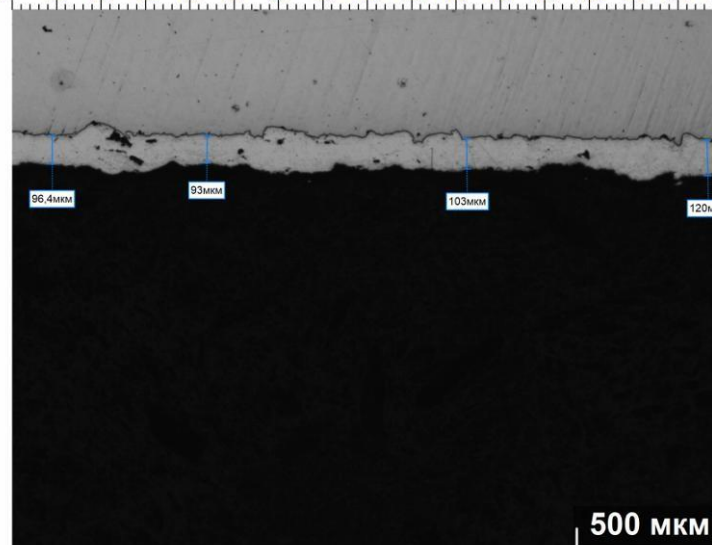
μm 150 300 450 600 750 900 1050 1200 1350 1500 1650 1800 1950 2100 2250 2400



№4

500 μm

μm 150 300 450 600 750 900 1050 1200 1350 1500 1650 1800 1950 2100 2250 2400



№5

500 μm

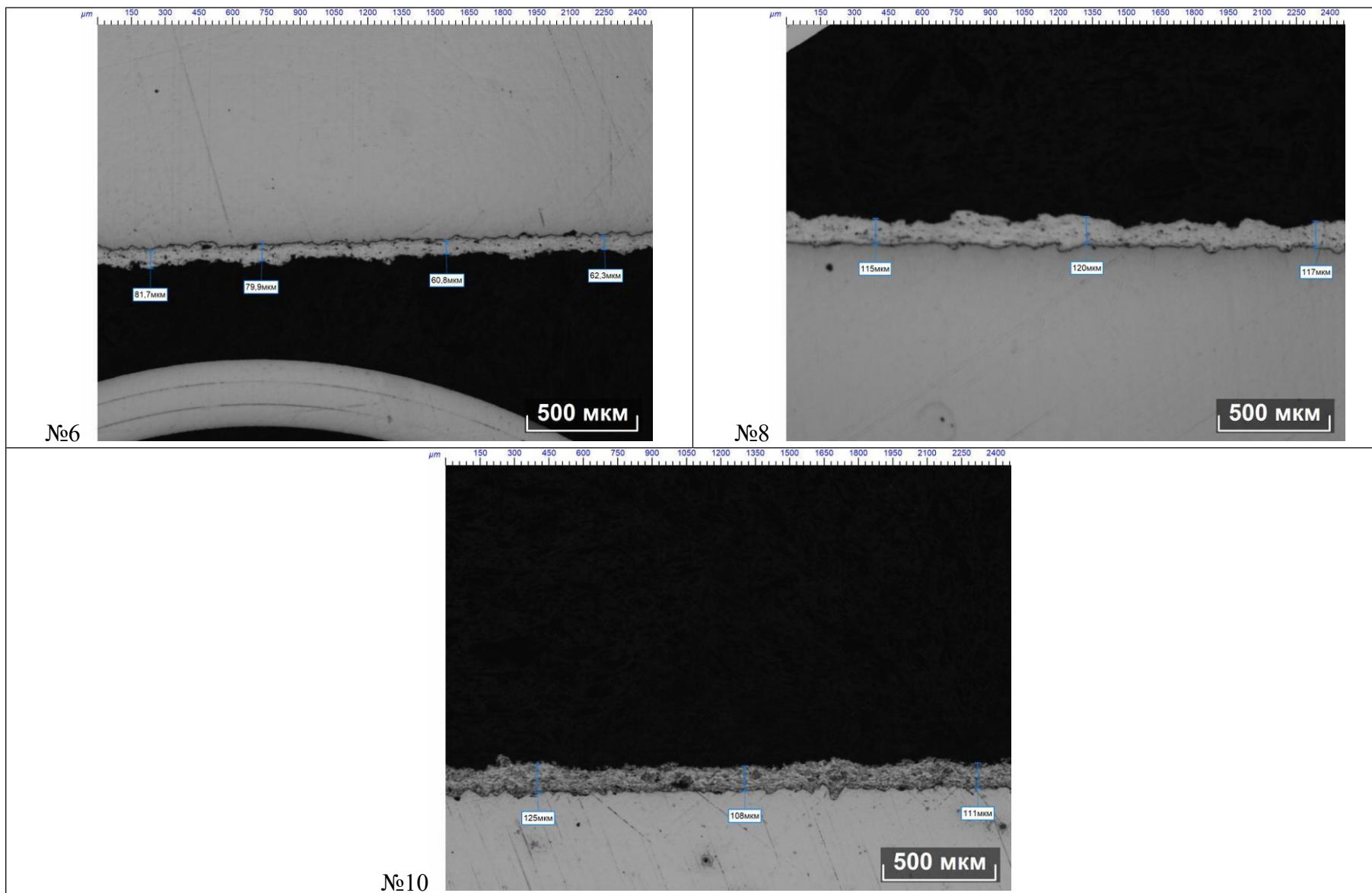


Рис.2 Состояние материала исследуемых образцов с цинковым покрытием

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 9.304-87 п.2.3.5.

Пористость исследуемых покрытий, измеренная гидростатическим методом по ГОСТ 9.304-87, составляет 0-1%. Полученные значения соответствуют требованиям ГОСТ 9.304-87 таблица 3 (для покрытий 1 класса пористость не должна превышать 20%).

Показатели шероховатости и толщины исследуемых цинковых покрытий, полученные в результате исследования, представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Показатели исследуемых покрытий

Показатель	№ образца						
	1	3	4	5	6	8	10
<i>Ra</i>	13.19	11.60	12.41	13.80	11.14	14.16	10.26
<i>Rz</i>	99.91	97.70	90.32	96.69	97.68	100.18	92.53
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

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; признаков коррозии стальной основы не зафиксировано.

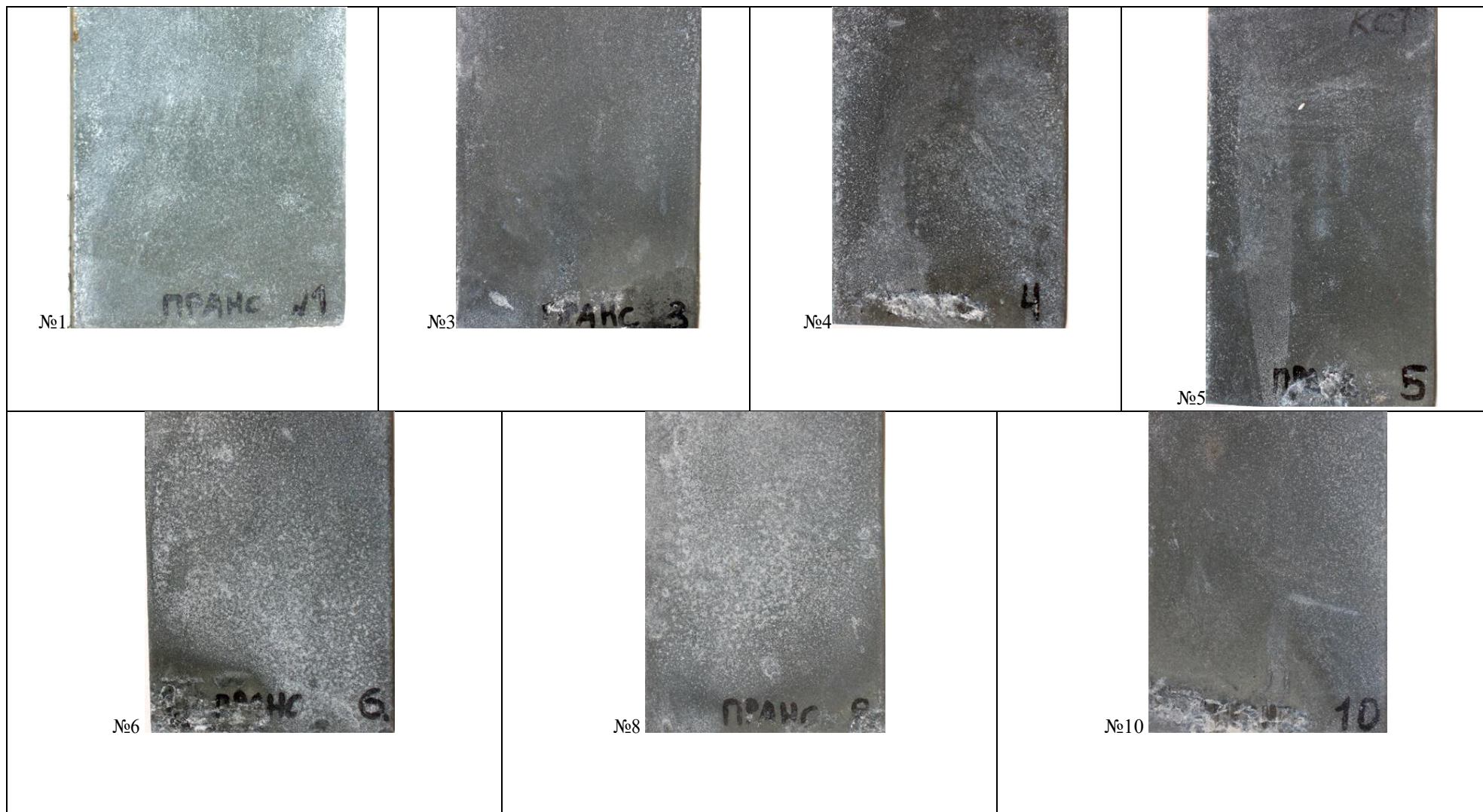


Рис. 3. Внешний вид образцов после испытаний в камере соляного тумана в течение 192 часов.

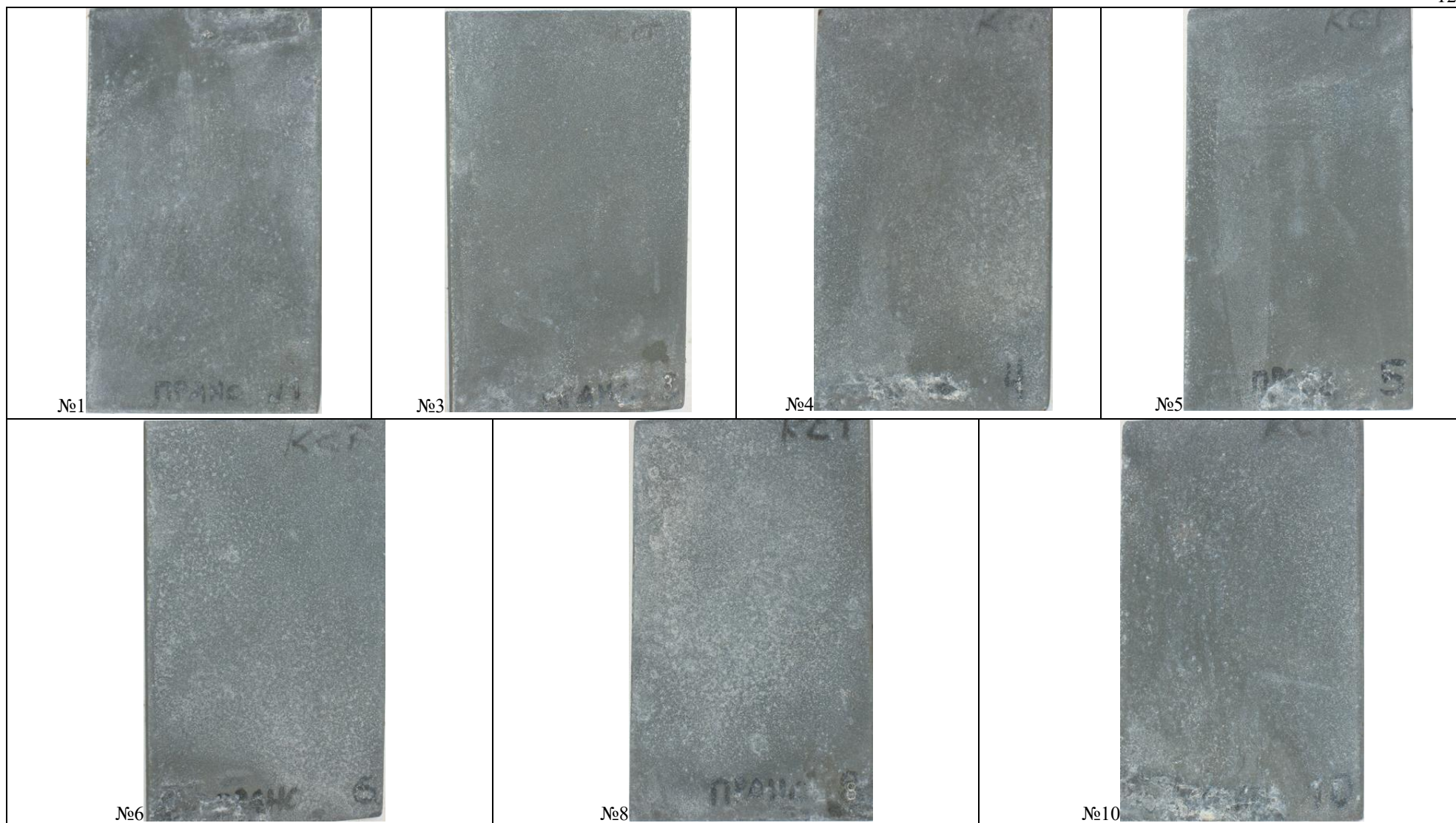


Рис. 4. Внешний вид образцов после испытаний в камере соляного тумана в течение 720 часов.

Выводы

1. Внешний вид цинковых покрытий, нанесенных на углеродистую сталь по технологии «ПРАНС» ТУ № 2458-002-13339705-2015, соответствуют требованиям ГОСТ 9.304-87 таблица 3.
2. Значения шероховатости поверхностей исследуемых образцов Ra и Rz составляют 11-16 мкм и 93-102.4 мкм соответственно, что соответствует требованиям ГОСТ 9.304 – 87 таблица 3.
3. Толщина исследуемых покрытий, измеренная магнитным методом, составляет 107-129 мкм, методом металлографии – 60-125 мкм, что соответствует требованиям ГОСТ 9.304- 87 таблица 3.
4. Прочность сцепления покрытия со стальной основой исследуемых образцов, оцененные визуально после испытаний методом нагрева, соответствуют требованиям ГОСТ 9.304-87 таблица 3.
5. Пористость исследуемых покрытий составляет 0-1%, что соответствует требованиям на покрытия 1 класса по ГОСТ 9.304-87 таблица 3.
6. Отсутствие признаков коррозии стальной основы (ржавчины) зафиксировано для всех образцов после 192 ч и 720 ч испытаний, что соответствует требованиям ГОСТ 9.302-87 таблица 3.

Заключение: образцы защитного цинкового покрытия, нанесенного по технологии «ПРАНС» ТУ №2458-002-13339705-2015 на Ст3, соответствуют требованиям, предъявляемым к покрытию ГОСТ 9.304 – 87 ЕСЗКС «Покрытия газотермические. Общие требования и методы контроля».