

«Утверждаю»

Проректор по науке и инновациям,

проф., д.т.н.



Филонов М. Р.

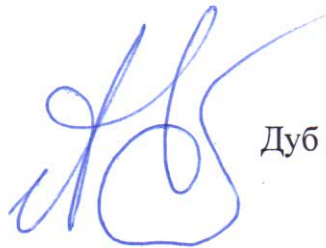
15.11.2018

Заключение № 074/18-501-1

**«Исследование коррозионной стойкости и долговечности
стальных оцинкованных листов с полимерным покрытием
ООО «Компания Металл Профиль»»**

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



Шибеева Татьяна Владимировна

Заявитель	ООО «Компания Металл Профиль»
Основание для проведения испытаний	Договор №074/18-501 от 07 июня 2018 г.
Задачи испытаний	<p>1.1 Определение коррозионной стойкости покрытий.</p> <p>1.2. Оценки срока службы материалов при воздействии экспериментальных атмосфер, используемых для изготовления продукции, предназначенной для специального назначения Industrium®, Agrarium® и Sterilium®.</p>
Образцы	<p>Низкоуглеродистые оцинкованные стали с покрытием:</p> <p>№1 – полиуретановое покрытие (далее PURMAN).</p> <p>№2 – полиэфирное покрытие с полиамидными включениями (далее PPV).</p> <p>№3 – пластизолевое покрытие (далее Пластизол ПЛ-20).</p>
Испытательное оборудование	<ul style="list-style-type: none"> - камера влажности (КВ); - камера сернистого газа (КСГ); - камера соляного тумана (КСГ); - климатическая камера (КК); - камера солнечного излучения; - бинокулярный микроскоп МБС-200; - металлографический комплекс «Альтами МЕТ»
Результаты исследований	Заключение № 074/18-501-1

Цель работы: определение коррозионной стойкости оцинкованных сталей с защитно-декоративными покрытиями производства ООО «Компания Металл Профиль» при воздействии сред слабой, средней и сильной степеней агрессивности с прогнозированием их срока службы при условии сохранения эксплуатационных и эстетических свойств, используемых для изготовления продукции, предназначенной для специального назначения **Industrium®**, **Agrarium®** и **Sterilium®**.

Образцы для испытаний: на исследование предоставлены образцы листовой оцинкованной низкоуглеродистой стали, с полимерными покрытиями:

№1 – полиуретановое покрытие (далее PURMAN).

№2 – полиэфирное покрытие с полиамидными включениями (далее PPV).

№3 – пластизолевое покрытие (далее Пластизол ПЛ-20).

Подготовка и изготовление образцов: осуществлялись Заказчиком.

Методики исследований:

1. Оценку внешнего вида проводили визуально в соответствии с ГОСТ 9.032-74 «ЕСЗКС. Покрытия лакокрасочные. Группы, технические требования и обозначения», ГОСТ 9.407-2015 «ЕСЗКС. Покрытия лакокрасочные. Методы оценки внешнего вида». Степень коррозионных повреждений оценивали в соответствии с ГОСТ 9.311-87 «Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Метод оценки коррозионных поражений».

2. Ускоренные коррозионные испытания проведены по:

– 2.1. ГОСТ 9.401-91 «Покрытия лакокрасочные. Общие требования и методы ускоренных испытаний на стойкость к воздействию климатических факторов» на образцах и покрытиями PURMAN (№1), PPV (№2) и Пластизол ПЛ-20 (№3):

– **метод 6** «Определение стойкости покрытий к воздействию переменной температуры, повышенной влажности, сернистого газа и солнечного излучения». Метод испытаний имитирует комплексное воздействие климатических факторов открытой промышленной атмосферы (УХЛ1, по ГОСТ 9.104-79 "ЕСЗКС. Покрытия лакокрасочные. Группы условий эксплуатации", II тип атмосферы по ГОСТ 15150-69 «Машины, приборы и другие технические изделия. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды»). Метод 6 предусматривает проведение 15 циклов испытаний покрытий. Для прогнозирования срока службы испытания должны продолжаться до

достижения критических значений оценок в баллах по защитным свойствам. Режим испытаний, последовательность перемещения и время выдержки образцов в климатических камерах в одном цикле по методу 6 приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Последовательность перемещения и время выдержки образцов в камерах и режимы испытаний по методу 6

Аппаратура	Режим испытаний		Продолжительность испытаний, час
	Температура, °С	Относительная влажность, %	
Камера влаги	40±2	97±3	2
Камера сернистого газа (концентрация SO ₂ 5±1 мг/м ³)	40±2	97±3	2
Камера холода	минус (30±3)	Не нормир.	6
Аппарат искусственной погоды	60±3	Не нормир.	5
Камера холода	минус (60±3)	Не нормир.	3
Выдержка на воздухе	15-30	Не более 80	6
Итого			24

– **метод 9** «Определение стойкости покрытий к воздействию повышенной температуры, влажности, соляного тумана и солнечного излучения». Метод испытаний имитирует все климатические применения и предусматривает проведение 20 циклов испытаний покрытий. Режим испытаний, последовательность перемещения и время выдержки образцов в климатических камерах в одном цикле приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Последовательность перемещения и время выдержки образцов в камерах и режимы испытаний по методу 9

Аппаратура	Режим испытаний		Продолжительность испытаний, час
	Температура, °С	Относительная влажность, %	
Камера влаги	55±2	97±3	5
Камера соляного тумана (концентрация 5±1 г/л)	40±2	97±3	3
Камера влаги	55±2	97±3	5
Аппарат искусственной погоды	60±2	Не нормир	10
Выдержка на воздухе	15-30	Не более 80	1
Итого			24

– **метод 21** «Испытание на стойкость к воздействию изменения температуры, повышенной влажности, соляного тумана и сернистого газа». Метод испытаний имитирует прибрежные территории в пределах непосредственного воздействия морской воды (Т2, Т3) по ГОСТ 9.104-79, IV тип атмосферы по ГОСТ 15150-69). Метод 21 предусматривает проведение не менее 20 циклов испытаний покрытий для условий эксплуатации Т2 и не менее 10 циклов – для Т3. Для прогнозирования срока службы

испытания должны продолжаться до достижения критических значений оценок в баллах по защитным свойствам. Режим испытаний, последовательность перемещения и время выдержки образцов в климатических камерах в одном цикле по методу 21 приведены в таблице 3.

Таблица 3 - Последовательность перемещения и время выдержки образцов в камерах и режимы испытаний по методу 21

Аппаратура	Режим испытаний		Продолжительность испытаний, час
	Температура, °С	Относительная влажность, %	
Камера влаги	55±2	97±3	5
Камера соляного тумана	20±2	97±3	3
Камера влаги	55±2	97±3	3
Камера сернистого газа (концентрация SO ₂ 5±1 мг/м ³)	40±2	97±3	2
Термокамера	60±3	Не нормир.	10
Выдержка на воздухе	15-30	Не более 80	1
Итого			24

– **метод Б** «Определение стойкости покрытия к воздействию нейтрального соляного тумана (*распространение коррозии от надреза*)». Коррозионные испытания образцов с надрезами проводили в камере соляного тумана с постоянным распылением 3%-го раствора NaCl при относительной влажности 98% и температуре 40°С в течение 720 часов.

2.2. ГОСТ 27037-86 «Покрытия лакокрасочные. Метод определения устойчивости к воздействию переменных температур» на образцах и покрытиями PPV (№2) и Пластизол ПЛ-20 (№3). Определение стойкости покрытий к перепаду температур от минус 60 °С до плюс 60 °С. Метод предусматривает проведение 10 циклов испытаний. Один цикл испытания: выдержка при температуре +60°С в течение 1 часа, затем при -60 °С в течение 1 часа (время перемещения не более 2 мин) и при 20±5 °С в течение 15 мин. Изменение декоративных и защитных свойств определяли сравнением с контрольным образцом невооруженным глазом.

2.3. ГОСТ 9.403-80 «Покрытия лакокрасочные. Методы испытания на стойкость к статическому воздействию жидкостей» на образцах и покрытиями PURMAN (№1), PPV (№2) и Пластизол ПЛ-20 (№3). Испытания образцов с защитно-декоративными покрытиями на стойкость к статическому воздействию жидкостей проводили в течение 1080 ч с использованием растворов:

- 1) соляная кислота 25%;

- 2) карбонат натрия 10%;
- 3) хлорид натрия 5%;
- 4) суперфосфат (фосфатные удобрения 10%);
- 5) нитрат натрия 3%;
- 6) фосфат аммония 3 %
- 7) серная кислота 25%
- 8) бензин
- 9) аммиак 10%
- 10) соляная кислота 3,5%
- 11) молочная кислота 10%
- 12) серная кислота 3,5%
- 13) едкий натр (NaOH) 3,5%
- 14) гранулы едкого натра;
- 15) формалин 40%
- 16) уксусная кислота 10%.

3. Металлографический анализ проведен по ГОСТ Р 51694-2000 «Материалы лакокрасочные. Определение толщины покрытия». Метод № 5. Исследования проведены на комплексе «Альтами МЕТ». Шлифы изготовлены в поперечном сечении образцов.

4. Исследование внешнего состояния поверхностей образцов до, во время и после испытаний проводили визуально. Степень коррозионных повреждений в процессе испытаний оценивали в соответствии с ГОСТ 9.311-87 «ЕСЗКС. Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Метод оценки коррозионных поражений».

5. Адгезию покрытий определяли в соответствии с ГОСТ 15140-78 «Материалы лакокрасочные. Методы определения адгезии» по методу решетчатых надрезов адгезиметром Elcometer F107 с шестью лезвиями. Значение распространения коррозии от надреза определяется по среднему значению двух линий, рассчитанному с учетом максимального поражения через каждые 10 мм линии надреза.

Результаты исследования

В результате исследования *внешнего вида* образцов в состоянии поставки установлено, что поверхность образцов №1 с покрытием PURMAN полублестящая, текстурированная (немного шероховатая), однотонная, бело-серого цвета, однородная, без потеков и механических включений, что соответствует требованиям ГОСТ

9.032-74. Поверхность образцов №2 с покрытием PPV матовая, гладкая, однотонная, светло-серого цвета, без потеков, без коррозионных повреждений, с точечными механическими включениями и различными потертостями, что не соответствует требованиям ГОСТ 9.032-74. Поверхность образца №3 с покрытием Пластизол ПЛ-20 полублестящие, с текстурным рисунком, однотонная, коричневого цвета, однородная, без потеков и механических включений, что соответствует требованиям ГОСТ 9.032-74.

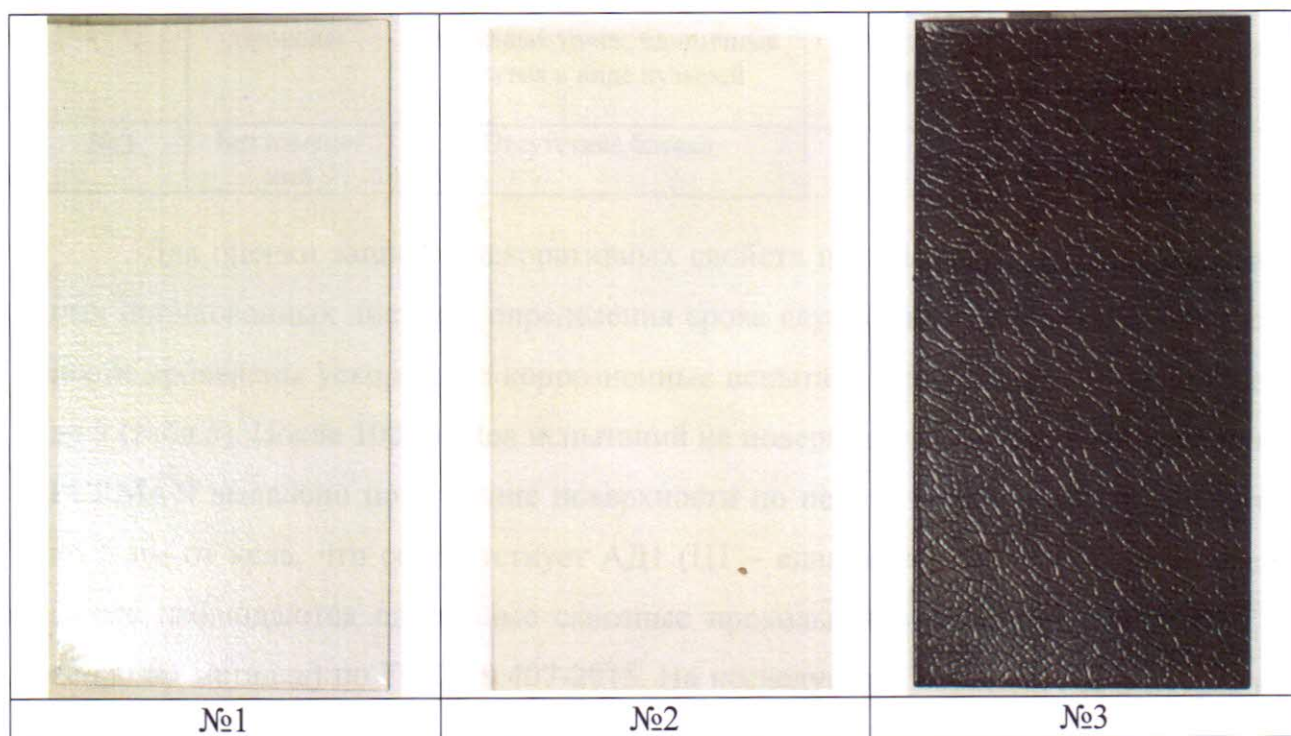


Рис.1 Внешний вид исследуемых образцов с покрытиями PURMAN (№1), PPV (№2) и Пластизол ПЛ-20 (№3), поступивших на исследование

Для оценки защитно-декоративных свойств и определения срока службы полимерных покрытий в средах слабой агрессивности на образцах проведены 100 циклов испытаний по ГОСТ 9.401-91 по методу 6. Описание изменения внешнего вида покрытий образцов в процессе испытаний приведено в таблице 4. После 100 циклов испытаний на поверхности образца №1 с покрытием PURMAN выявлено незначительное потемнение поверхности, что соответствует АД1 (Ц1 – едва различимое изменение цвета) и А30 (без изменений) по ГОСТ 9.407-2015. На исследуемых образцах №2 с покрытием PPV обнаружены коррозионные повреждения в виде точек ржавчины и вздутий, что соответствует А31 (К2 – едва видимые зрением с нормальной коррекцией, П1 – образование пузырей) и АД2 (Ц2 – слабое, хорошо различимое). При оценке декоративных свойств образца №3 с покрытием Пластизол ПЛ-20

выявлено изменение блеска 2 балла (Б2 – слабое, хорошо различимое) и изменение цвета 2 балла (Ц2), что соответствует АД2 и А30 по ГОСТ 9.407-2015 (табл. 4).

Таблица 4 - Результаты оценки внешнего вида покрытия после ускоренных испытаний по методу 6

Образец	Результаты испытаний, циклы		
	50	75	100
№1	Без изменений	Без изменений	Незначительное потемнение АД1 (Ц1), А30
№2	Единичные проколы	Единичные сквозные проколы до ржавых точек, единичные вздутия в виде пузырей	Множественные точки ржавчины. Незначительное потемнение и матовые пятна по всей поверхности АД2 (Ц2), А31 (К2, П1)
№3	Без изменений	Отсутствие блеска	Посветление АД2 (Б2, Ц2), А30

Для оценки защитно-декоративных свойств полимерных покрытий на стальных оцинкованных листах и определения срока службы в средах средней агрессивности проведены ускоренные коррозионные испытания по ГОСТ 9.401-91 по методу 9 (табл.5). После 100 циклов испытаний на поверхности образца №1 с покрытием PURMAN выявлено помутнение поверхности по периметру образца на расстоянии до 6 мм от края, что соответствует АД1 (Ц1 – едва различимое изменение цвета). Также наблюдаются единичные сквозные проколы, что соответствует А31 (К1 – коррозия металла) по ГОСТ 9.407-2015. На исследуемых образцах №2 с покрытием PPV обнаружены множественные точки ржавчины, что соответствует А31 (К2 – едва видимые зрением с нормальной коррекцией) без изменений декоративных свойств (АД0). На поверхности образца №3 с покрытием Пластизол ПЛ-20 при оценке декоративных свойств зафиксировано незначительное изменение цвета в виде посветления – АД1 (Ц1) без изменения защитных свойств (А30) (табл. 5).

Таблица 5 - Результаты оценки внешнего вида покрытия после ускоренных испытаний по методу 9

Образец	Результаты испытаний, циклы		
	50	75	100
№1	Без изменений	Помутнение рядом с торцами	Единичные сквозные проколы, помутнение по краям (периметру), точки ржавчины на срезах АД1 (Ц1), А31 (К1)
№2	Единичные проколы	Множественные проколы, единичные сквозные проколы и ржавые точки, два вздутия в виде пузырей	Множественные ржавые точки, помутнение по краям, ржавые точки на срезах АД0, А31 (К2)
№3	Без изменения	Белый налет по торцам	Незначительное посветление. Ржавые точки на срезах АД1 (Ц1), А30

Для оценки защитно-декоративных свойств полимерных покрытий, нанесенных на стальные оцинкованные листы, и определения срока службы в средах сильной агрессивности проведены 100 циклов коррозионных испытаний по ГОСТ 9.401-91 по методу 21 (табл. 6).

После 100 циклов испытаний на поверхностях образца №1 с покрытием PURMAN обнаружены коррозионные повреждения в виде проколов до металлической основы и точек ржавчины. Зафиксировано помутнение поверхности пятнами по краям. Защитные свойства покрытия соответствуют 2 баллу (А32 (К2 – едва видимые зрением с нормальной коррекцией)), декоративные – АД1 (Ц1 – едва различимое изменение цвета). После 100 циклов испытаний на поверхностях образца №2 с покрытием PPV обнаружены множественные проколы и единичные вздутия, что соответствует 2 баллу оценки защитных свойств А32 (К2, П1 – образование пузырей). При оценке декоративных свойств покрытия зафиксировано потемнение (Ц2 – слабое, хорошо различимое) и помутнение пятнами балла (Б2 – слабое, хорошо различимое), что соответствует АД2. При оценке декоративных свойств образца №3 с покрытием Пластизол ПЛ-20 зафиксировано посветление поверхности 1 балла (Ц1), разрушений (дефектов) не выявлено, что соответствует АД1 и А30 по ГОСТ 9.407-2015 (табл. 6).

Таблица 6 - Результаты оценки внешнего вида покрытия после ускоренных испытаний по методу 21


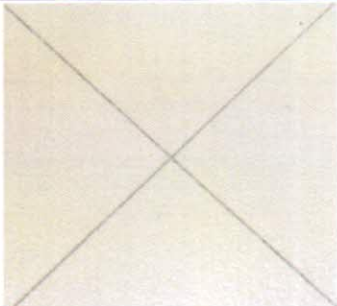

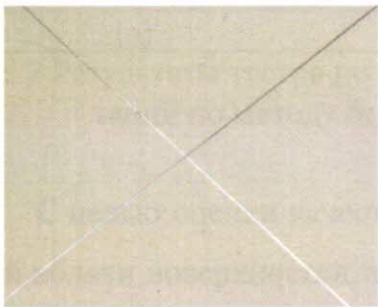

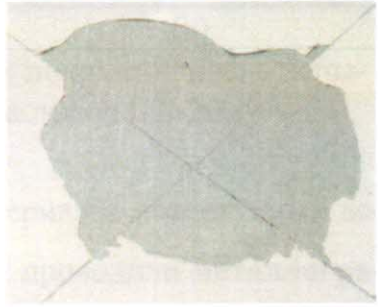



Образец	Результаты испытаний, сутки		
	50	75	100
№1	Без изменений	Помутнение рядом с торцами. Единичные сквозные проколы	Множественные проколы и ржавые точки, помутнение по краям, точки ржавчины на срезах АД1 (Ц1), А32 (К2)
№2	Единичные проколы	Единичные сквозные проколы и ржавые точки. Единичные вздутия в виде пузырей	Множественные проколы и ржавые точки. Потемнение, помутнение поверхности пятнами АД2 (Ц2, Б2), А32 (К2, П1)
№3	Без изменения	Белый налет по торцам	Посветление АД1 (Ц1), А30

Исследования по определению стойкости покрытий под воздействием климатических внешних факторов проводили по ГОСТ 9.401-91 по методу Б - *распространение коррозии от надреза*.

После воздействия коррозионно-агрессивной атмосферы в зонах царапин после снятия покрытий PURMAN, PPV и Пластизол ПЛ-20 коррозионных поврежде-

ний не обнаружено (табл. 7), что соответствует требованиям ГОСТ 9.401-91, согласно которым распространение коррозии от надреза не должно превышать 2 мм.

Таблица 7 – Внешний вид поверхностей образцов в зоне надреза

№	Внешний вид перед испытанием	Внешний вид образцов после 720 часов испытаний	Внешний вид образцов после снятия краски в зоне надреза
1			
2			
3			

После 10 циклов испытаний при **воздействии переменных температур** (от минус 60 °С до плюс 60 °С) по ГОСТ 27037-86 проведена сравнительная визуальная оценка внешнего вида с контрольным образцом. На поверхностях исследуемых стальных листов с полимерными покрытиями PURMAN, PPV и Пластизол ПЛ-20 коррозионных повреждений не зафиксировано (А30). Изменений декоративных свойств не обнаружено (АД0).

Определение адгезии покрытий. Слой полимерных покрытий PURMAN, PPV и Пластизол ПЛ-20 обладает высокой адгезией к металлической основе, что подтверждено результатами тестов по «методу решетчатого надреза». В результате исследований на образцах как в исходном состоянии, так и после испытаний по ме-



тодам 6, 9, 21 и воздействия переменных температур, отслаивания покрытий на точках пересечения насечек не выявлено (рис. 2) и адгезия составляет 0 балл, что соответствует требованиям метода А по ГОСТ 15140-78, согласно которого адгезия покрытия по методу решетчатых надрезов должна составлять не более балла 3.

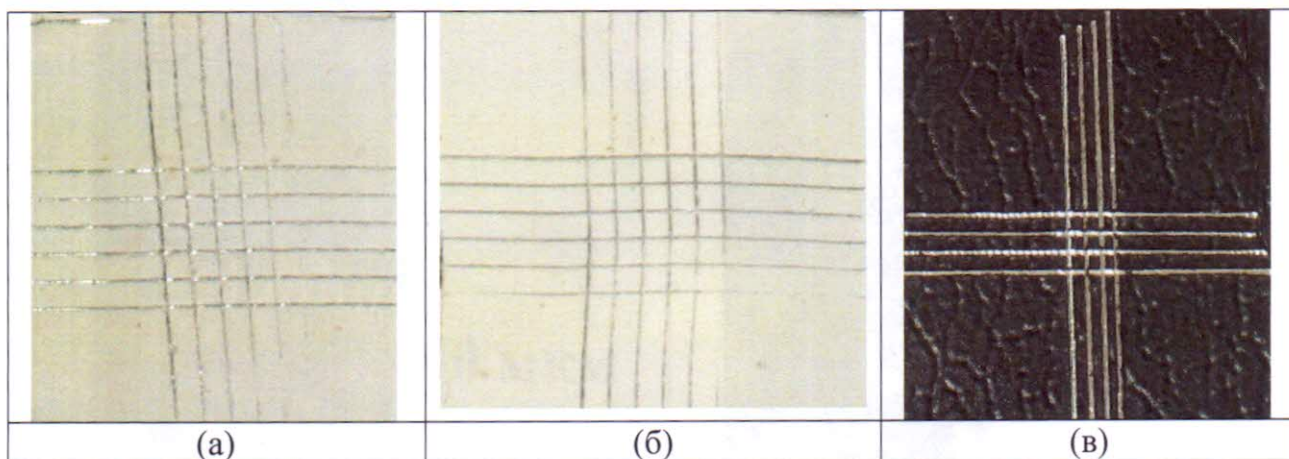


Рис. 2 Результаты тестов по «методу решетчатого надреза» покрытий после испытаний по методу 6: а – PURMAN, б – PPV, в – Пластизол ПЛ-20.

С целью оценки качества покрытий и состояния материалов исследуемых деталей вблизи поверхностей, толщины и качества покрытий проводили **металлографический анализ**.

В результате анализа установлено, что на внешнюю поверхность стальных листов №1-№3 нанесены многослойные покрытия: цинковый (по методу горячего цинкования) слой, грунт (№1 и №3) и полимерные покрытия (табл. 8).

Толщина цинкового слоя образцов №1 и №2 (1 класс цинкования) составляет 25-30 мкм и 20 мкм соответственно (рис. 3 а, б), образца №3 (повышенный класс цинкования) – 40-70 мкм (рис. 7 в). Полимерное покрытие, нанесенное на цинковый слой стальных образцов №2, имеет толщину 50 мкм (рис. 7 б). На образцах №1 и №3 на слой цинка нанесен слой грунта толщиной 24-25 и 10 мкм соответственно (рис. 7 а, в), а затем полимерное покрытие – 25-26 и 160-180 мкм соответственно.

Таблица 8 – Толщины исследуемых покрытий, нанесенных на образцы из низкоуглеродистых сталей, мкм

№ образца	Цинковое покрытие	Грунт	Полимерное покрытие
1	25-30	24-25	25-26
2	20	14	20
3	40-70	10	180-200

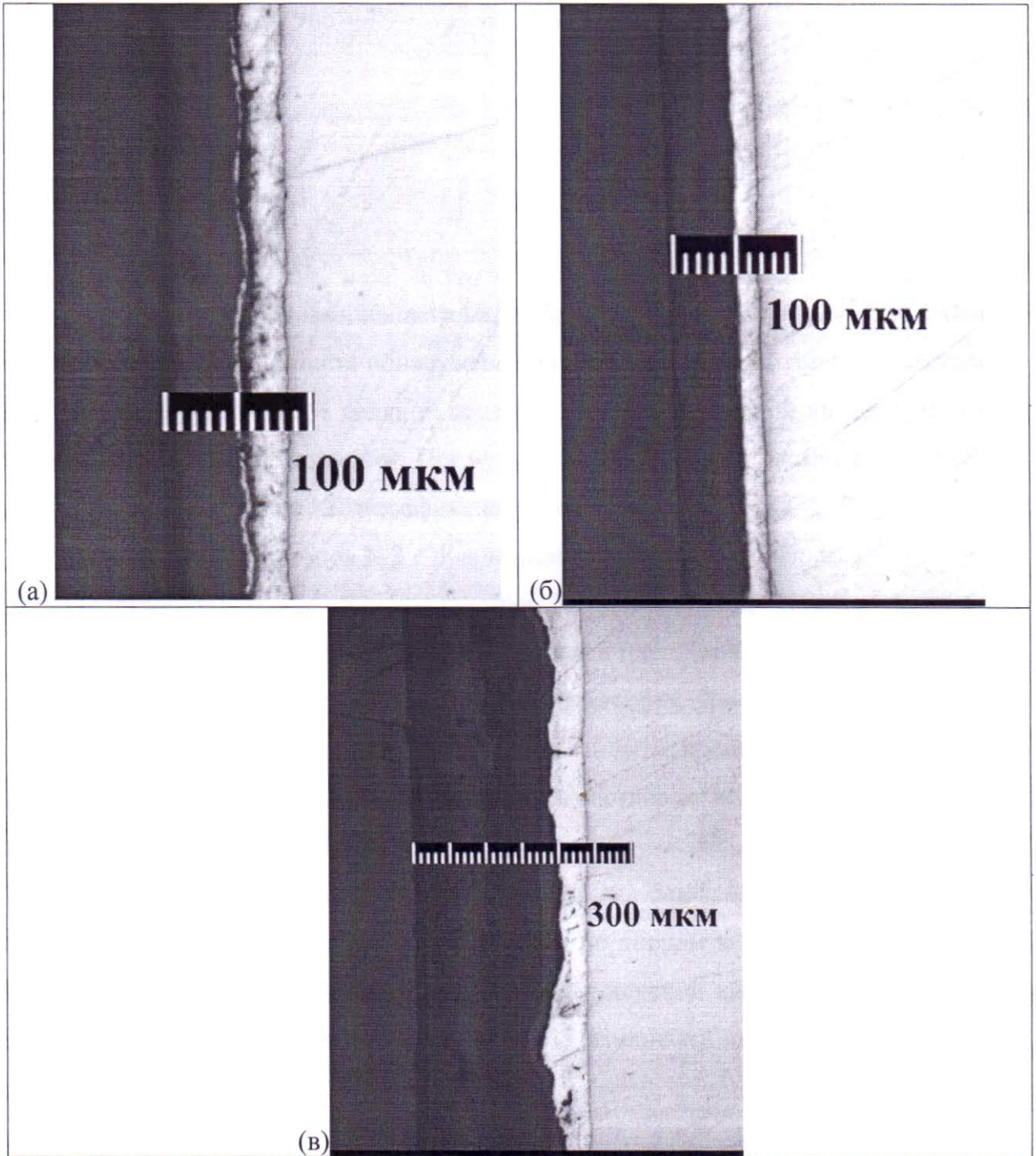


Рис. 3 Состояние материала стальных листов с многослойными покрытиями с внешней стороны в состоянии поставки: а – PURMAN, б – PPV, в – Пластизол ПЛ-20.

Таким образом, в ходе коррозионных испытаний при контроле качества защитно-декоративных полимерных покрытий на образцах №1, №2 и №3 отклонений от норм не выявлено.

Параллельно проводили испытания полимерных покрытий PURMAN, PPV и Пластизол ПЛ-20 на стойкость к статическому воздействию жидкостей по ГОСТ 9.403-80. Оценка внешнего вида образцов с покрытиями после испытаний в различных жидких средах проведена периодически через:

- 48 ч (2 суток);
- 96 ч (4 суток);
- 192 ч (8 суток);
- 432 ч (18 суток);
- 840 ч (35 суток)
- 1080 ч (45 суток).

В результате анализа внешнего вида образцов №1 с покрытием PURMAN после 48 ч (2 суток) испытаний обнаружено вздутие покрытия по торцам в растворах №1, №7, №10 и №11 (25% соляной кислоте, 25% и 3.5% серной кислоте, 10% молочной кислоте соответственно). После испытаний в других растворах изменений внешнего вида покрытия №1 не зафиксировано.

Внешний вид образцов №2 с покрытием PPV после 48 ч испытаний в соляной (25%) (раствор №1) и серной (25%) (раствор № 7) кислотах представлен на рисунке 4 а, б. Наблюдаются вздутия и отслаивания краски (рис. 4 а, б), что является основанием для приостановки испытаний в данных растворах. Изменения внешнего вида после испытаний в растворах №9-№13, №15 и №16 представлены в таблице 9. Внешний вид покрытия №2 после испытаний в растворах №2-№6, №8, №14 не перенес видимых изменений.

После испытаний в течение 48 ч образцов №3 с покрытием Пластизол ПЛ-20 обнаружены вздутия и отслаивания покрытия по торцам в 25% серной кислоте и множественные вздутия в виде пупырей в 10% уксусной кислоте (рис. 4 в). В результате испытаний в средах №1-№6, №8-№15 изменений внешнего вида образцов №3 не зафиксировано.

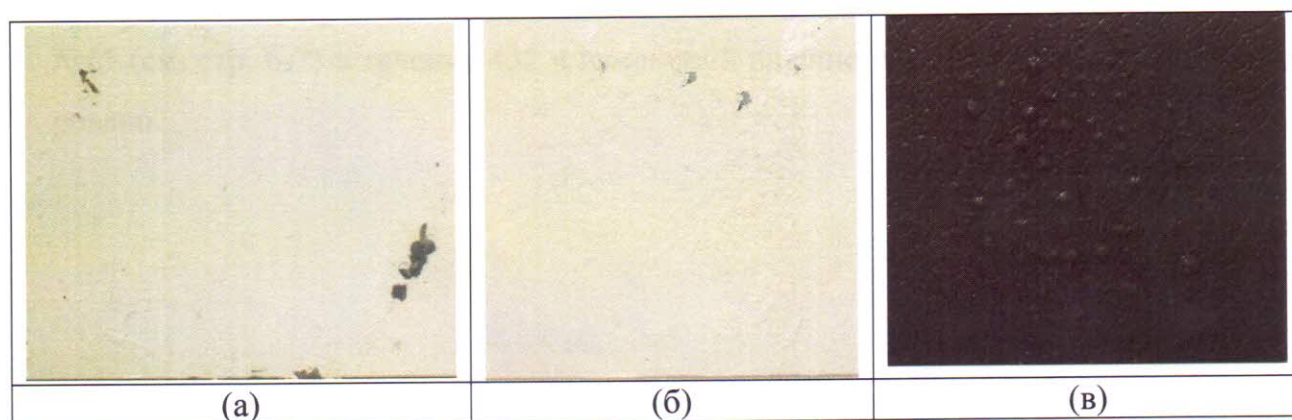


Рис. 4 Внешний вид образцов №2 после испытаний в соляной кислоте (25%) (а) и серной кислоте (25%) (б) и образцов №3 в уксусной кислоте (10%) (в) в течение 48 ч

[Handwritten signature]

Таблица 9 – Внешний вид образцов №2 с покрытием PPV после 48 ч испытаний в различных жидкостях

Испытательная среда	Описание внешнего вида
№9 Аммиак 10%	Множественные мелкие пузыри и вздутия
№10 соляная кислота 3,5%	Посветление. Множественные точечные вздутия, растрескивание покрытия
№11 молочная кислота 10%	Единичные проколы, вздутия по краям
№12 серная кислота 3,5%	Множественные мелкие пузыри и вздутия
№13 едкий натр (NaOH) 3,5%	Посветление
№15 формалин 40%	Единичные проколы
№16 уксусная кислота 10%	Единичные вздутия и трещины

Внешний вид образцов №1 с покрытием PURMAN после 432 ч (18 суток) испытаний в соляной (25%) (раствор №1) и серной (25%) (раствор № 7) кислотах, а также 10% аммиаке (раствор №9) представлен на рисунке 5 а-в. Выявлено вздутие покрытия №1 по краям после испытаний в растворах №1 и №7 (рис. 5 а, б), а также вздутия в виде пузырей в растворе №9 (рис. 5 в). В таблице 9 представлено описание внешнего вида образца №1 после испытаний в различных средах.

На образцах №2 с покрытием PPV наблюдаются изменения внешнего вида после 432 ч испытаний в большинстве сред (табл. 9), кроме испытаний в растворах 10% карбоната натрия, 3% нитрата натрия и 3% фосфата аммония. На рисунке 3 представлен внешний вид покрытий после испытаний в 10% молочной кислоте (рис. 5г), 3,5% серной кислоте (рис. 5д), гранулах 3,5% едкого натра (рис. 5е) и 10% уксусной кислоте (рис. 5ж).

В результате анализа внешнего вида образца №3 с покрытием Пластизол ПЛ-20 обнаружены вздутия и отслоения покрытия после испытаний в различных средах (рис. 5 з, и; табл. 10). После взаимодействия с жидкостями № 2-6, №8, №9, №12, №15 (см. стр. 6-7) в течение 432 ч изменений внешнего вида покрытия не зафиксировано.

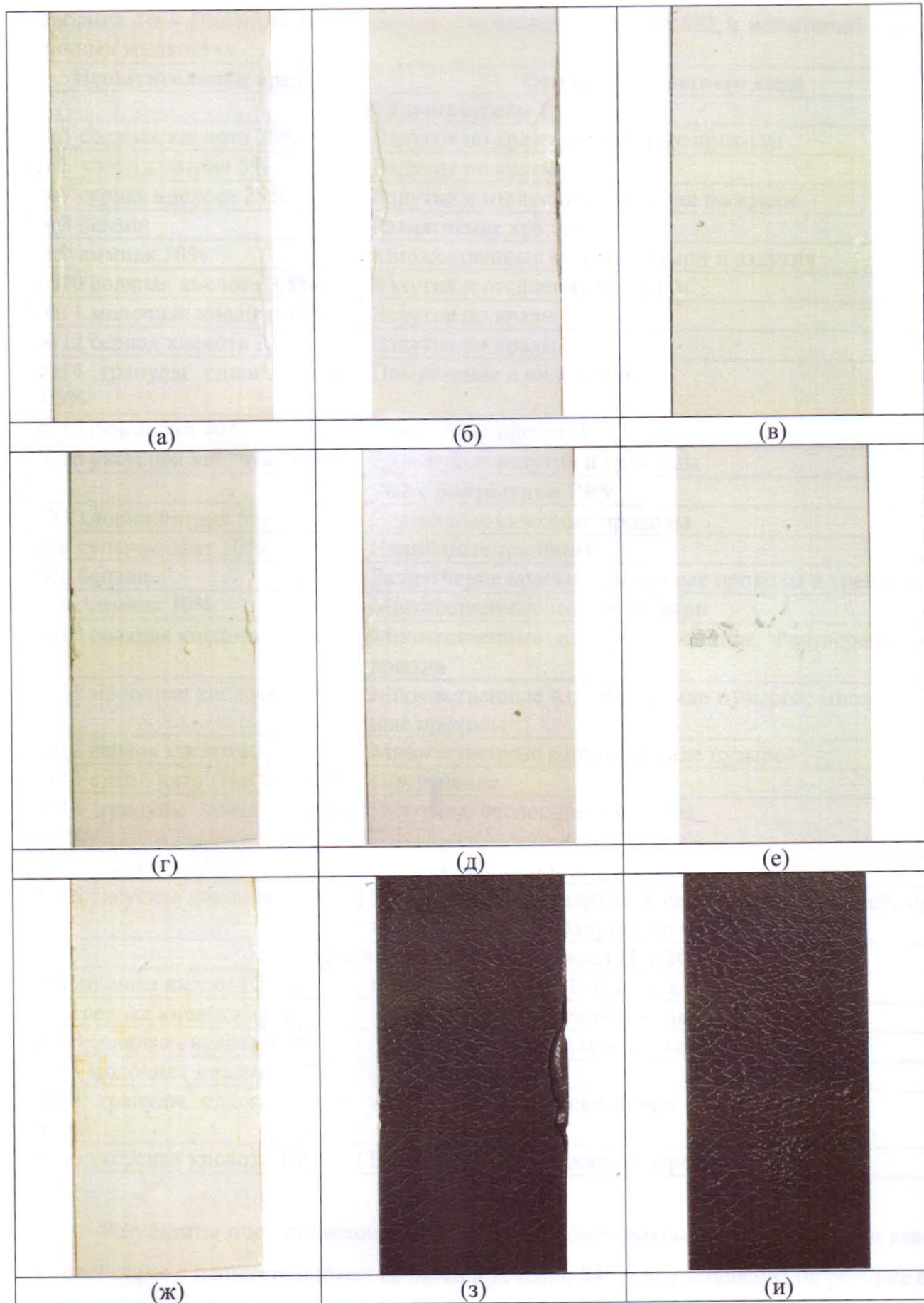


Рис. 5 Внешний вид образцов №1 (а-в), №2 (г-ж), №3 (з, и) после 462 ч испытаний в:
а - 25% соляной кислоте, б - 25% серной кислоте, в - 10% аммиаке, г - 10% молочной
кислоте, д - 3,5% серной кислоте, е - гранулах 3,5% едкого натра, ж - 10% ук-
сусной кислоте, з - 25% серной кислоте, и - 3,5% соляной кислоте

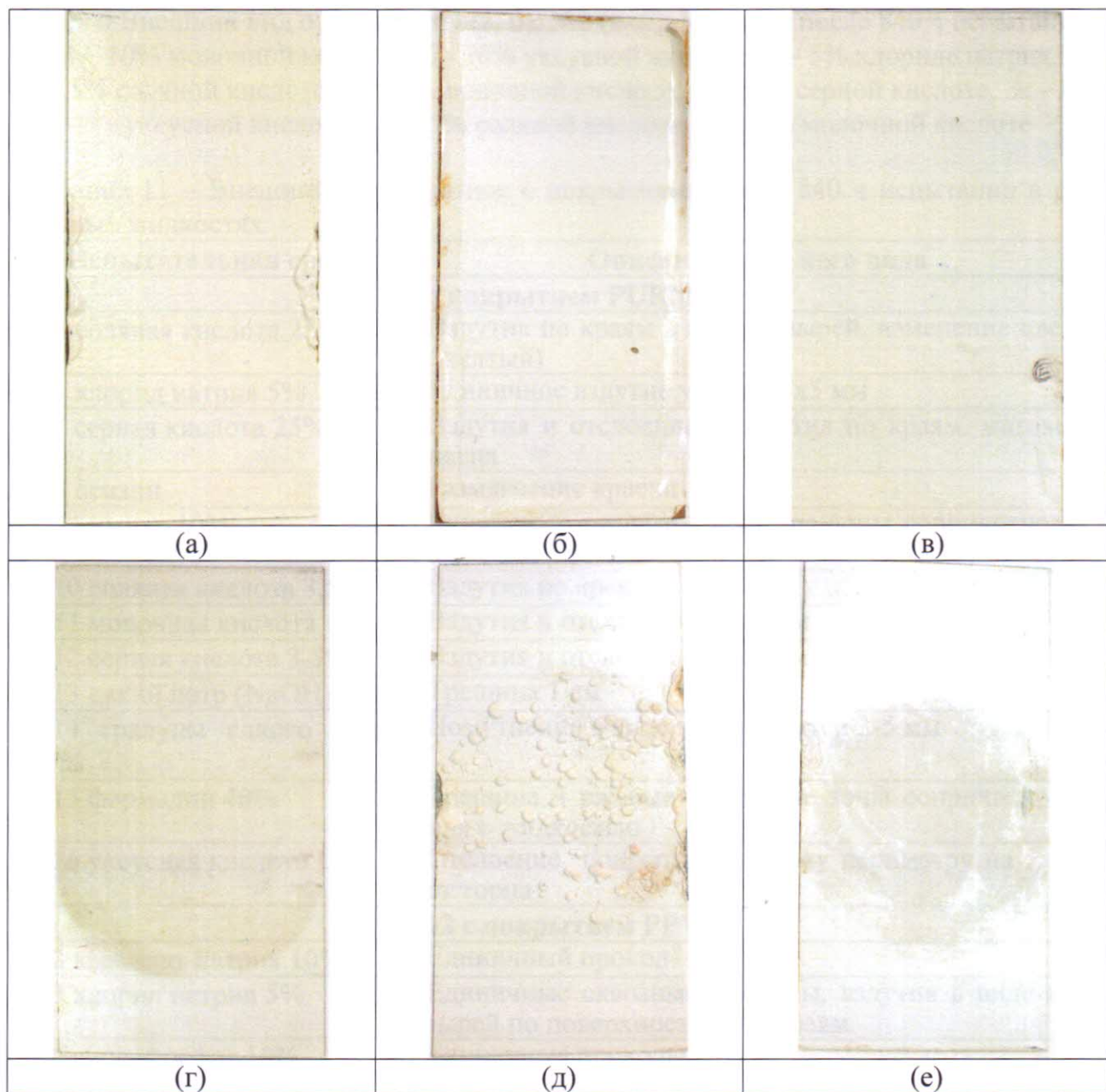
Таблица 10 – Внешний вид образцов с покрытиями после 432 ч испытаний в различных жидкостях

Испытательная среда	Описание внешнего вида
№1 с покрытием PURMAN	
№1 соляная кислота 25%	Вздутия по краям, единичные проколы
№3 хлорид натрия 5%	Вздутия по краям
№7 серная кислота 25%	Вздутия и отслоения покрытия по краям
№8 бензин	Размягчение краски
№9 аммиак 10%	Множественные мелкие пузыри и вздутия
№10 соляная кислота 3,5%	Вздутия и отслоения по краям
№11 молочная кислота 10%	Вздутия по краям
№12 серная кислота 3,5%	Вздутия по краям
№14 гранулы едкого натра 3,5%	Помутнение в виде пятен
№15 формалин 40%	Единичные проколы
№16 уксусная кислота 10%	Единичные вздутия и трещины
№2 с покрытием PPV	
№3 хлорид натрия 5%	Единичные сквозные проколы
№4 суперфосфат 10%	Единичные трещины
№8 бензин	Размягчение краски, единичные проколы и трещины
№9 Аммиак 10%	Множественные мелкие пузыри
№10 соляная кислота 3,5%	Множественные вздутия, трещины. Растворение покрытия
№11 молочная кислота 10%	Множественные вздутия в виде пузырей, множественные проколы
№12 серная кислота 3,5%	Множественные вздутия в виде пузырей
№13 едкий натр (NaOH) 3,5%	Помутнение
№14 гранулы едкого натра 3,5%	Вздутие и отслоение покрытия
№15 формалин 40%	Единичные трещины
№16 уксусная кислота 10%	Множественные вздутия в виде мелких пузырей, проколы и трещины. Вздутия по краям
№3 с покрытием Пластизол ПЛ-20	
№1 соляная кислота 25%	Вздутия по краям, 1 пузырь в центре
№ 7 серная кислота 25%	Вздутие и отслоение покрытия от торцов
№10 соляная кислота 3,5%	Множественные мелкие пузыри и вздутия
№11 молочная кислота 10%	Вздутия по краям
№14 гранулы едкого натра 3,5%	Незначительное посветление
№16 уксусная кислота 10%	Вздутия в виде мелких пузырей

Результаты оценки внешнего вида исследуемых покрытий №1-№3 после взаимодействия с испытательными средами в течение 840 ч представлены на рисунке 6 и таблице 11.

Анализ внешнего вида образцов №1 показал устойчивость покрытия PURMAN к воздействию 10% карбоната натрия, 10% суперфосфата, 3% нитрата натрия

и 3% фосфата аммония и вздутие и отслоение покрытия в растворах 10% молочной и 10% уксусной кислот (рис.6 а, б) после 840 ч испытаний. Различные изменения внешнего вида покрытия PPV наблюдаются после испытаний во всех экспериментальных средах (рис. 6 в-ж, табл. 11). Испытания завершены в кислотах №10-№12, №16 и растворе №14. Изменения внешнего вида образцов №3 с покрытием Пластизол ПЛ-20 наблюдаются после взаимодействия с кислотами и гранулами 3,5% едкого натра (табл. 11). Поскольку на поверхности покрытия №3 после испытаний в 3,5% соляной кислоте (рис. 6 з) обнаружены множественные вздутия, испытания приостановлены.



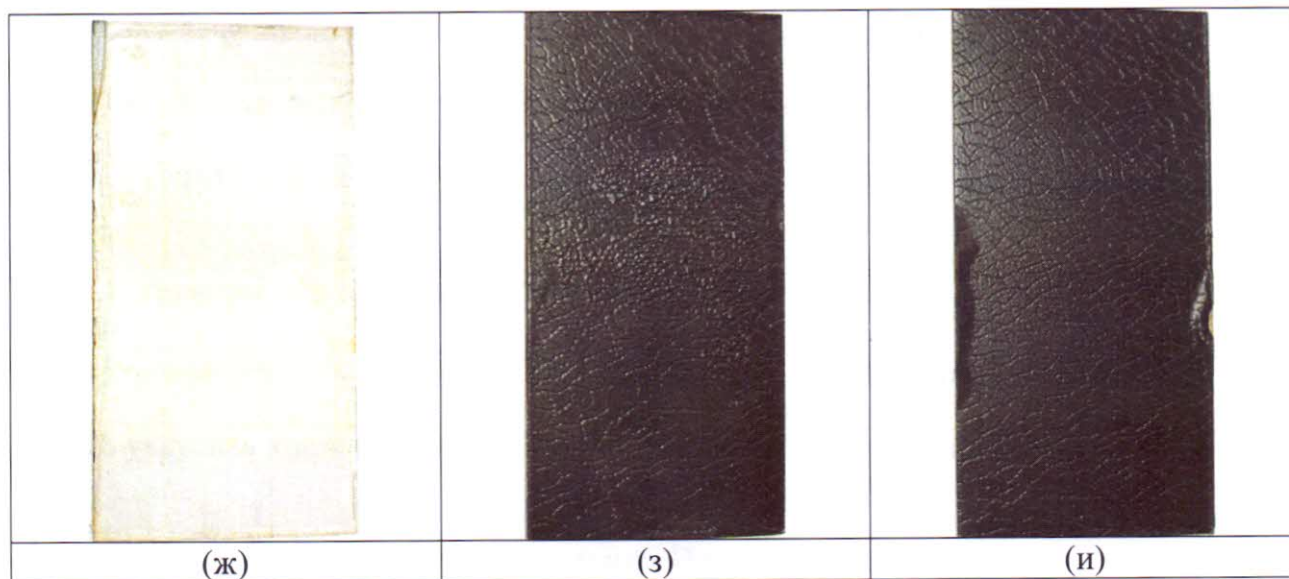


Рис. 6 Внешний вид образцов №1 (а, б), №2 (в-ж), №3 (з, и) после 840 ч испытаний в:
 а - 10% молочной кислоте, б - 10% уксусной кислоте, в - 5% хлориде натрия, г - 3,5% соляной кислоте, д - 10% молочной кислоте, е - 3,5% серной кислоте, ж - 10% уксусной кислоте, з - 3,5% соляной кислоте, и - 10% молочной кислоте

Таблица 11 – Внешний вид образцов с покрытиями после 840 ч испытаний в различных жидкостях

Испытательная среда	Описание внешнего вида
№1 с покрытием PURMAN	
№1 соляная кислота 25%	Вздутия по краям в виде пузырей, изменение цвета (желтый)
№3 хлорид натрия 5%	Единичное вздутие у края 15x5 мм
№7 серная кислота 25%	Вздутия и отслоения покрытия по краям. матовые пятна
№8 бензин	Размягчение краски
№9 аммиак 10%	Единичные ржавые точки вне зоны соприкосновения с жидкостью
№10 соляная кислота 3,5%	Вздутия по краям
№11 молочная кислота 10%	Вздутия и отслоения по краям
№12 серная кислота 3,5%	Вздутия и отслоения по краям
№13 едкий натр (NaOH) 3,5%	Трещина 1 см
№14 гранулы едкого натра 3,5%	Помутнение в виде точек и пятен 3-5 мм
№15 формалин 40%	Трещина и ржавые точки вне зоны соприкосновения с жидкостью
№16 уксусная кислота 10%	Отслоение покрытия по всему периметру на 5 мм от торца
№2 с покрытием PPV	
№2 карбонат натрия 10%	Единичный прокол
№3 хлорид натрия 5%	Единичные сквозные проколы, вздутия в виде пузырей по поверхности и по краям
№4 суперфосфат 10%	Единичные проколы
№5 нитрат натрия 3%	Единичный прокол
№6 фосфат аммония 3 %	Единичные проколы и трещины вне зоны контакта
№8 бензин	Единичные проколы и трещины
№9 Аммиак 10%	Единичные проколы, трещины и точки ржавчины

№10 соляная кислота 3,5%	Потеря блеска. Растворение покрытия. Точки ржавчины
№11 молочная кислота 10%	Множественные вздутия в виде пузырей 1-5 мм, отслоение по краям
№12 серная кислота 3,5%	Множественные вздутия в виде пузырей. Потеря блеска
№13 едкий натр (NaOH) 3,5%	Помутнение
№14 гранулы едкого натра 3,5%	Разъедание краски пятнами
№15 формалин 40%	Единичные трещины. Проколы и точки ржавчины вне зоны контакта
№16 уксусная кислота 10%	Потеря блеска. Множественные вздутия в виде мелких пузырей, проколы и трещины. Вздутия по краям
№3 с покрытием Пластизол ПЛ-20	
№1 соляная кислота 25%	Отслоения по краям
№ 7 серная кислота 25%	Отслоение по краям. Язвы и ржавчина на стальной поверхности
№10 соляная кислота 3,5%	Множественные мелкие пузыри и вздутия
№11 молочная кислота 10%	Отслоение по краям. Ржавчина на стальной поверхности
№12 серная кислота 3,5%	Незначительное помутнение
№14 гранулы едкого натра 3,5%	Посветление
№16 уксусная кислота 10%	Вздутия в виде мелких пузырей. Вздутия по краям

В результате анализа внешнего вида образцов №1 с покрытием PURMAN после 1080 ч (45 суток) испытаний по ГОСТ 9.403-80 наблюдаются различные повреждения и изменения поверхности при взаимодействии со всеми экспериментальными жидкими средами (рис. 7 а-е, табл. 12). После взаимодействия с кислотами обнаружено отслоение покрытия от торцов и коррозия стальной основы (рис. 7 а-г).

Оценка внешнего вида образцов №2 с покрытием PPV проведена после 1080 ч испытаний в средах №2-№6, №8, №9, №13, №15 (табл. 12). После взаимодействия с 10% аммиаком (№9) (рис. 7 ж) и 40% формалином (№15) зафиксированы множественные вздутия в виде мелких пузырей; с остальными растворами – проколы, мелкие трещины и сколы от торцов.

Анализ внешнего вида образцов с покрытием Пластизол ПЛ-20 показал наличие дефектов в виде вздутий и отслоение покрытия от торцов после испытаний в жидких средах №1, №3, №7, №11, №13, №14, №16 (табл. 12). Помутнение покрытия зафиксировано после воздействия сред №5, №9, №12, №13 и №15. После испытаний в растворах 10% карбоната натрия (№2), суперфосфата (№4), 3% фосфата аммония (№6) и бензина (№8) изменений внешнего вида не наблюдается.

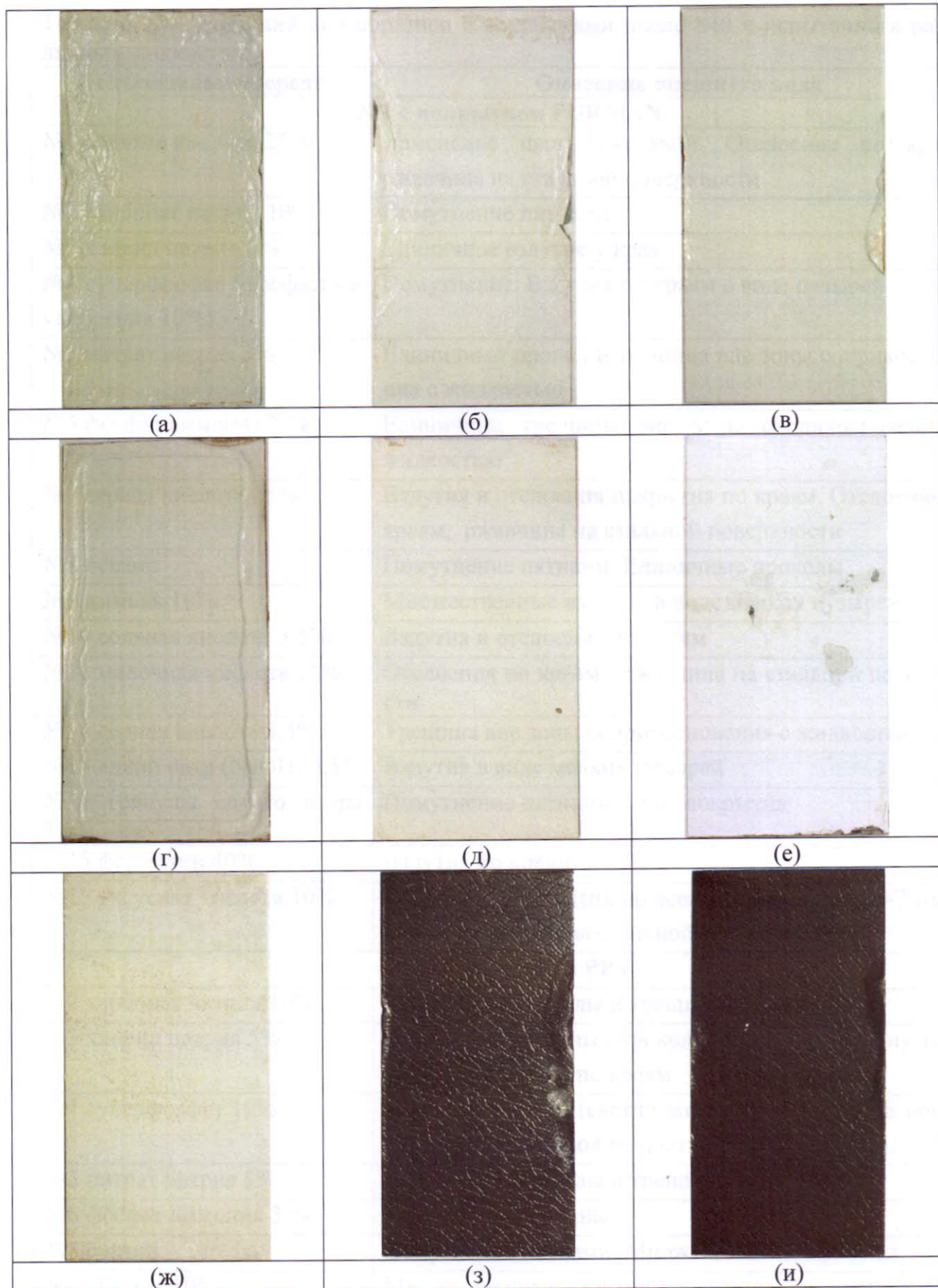


Рис. 7 Внешний вид образцов №1 (а-е), №2 (ж), №3 (з, и) после 1080 ч испытаний в:
а - 25% соляной кислоте, б - 25% серной кислоте, в - 10% молочной кислоте, г -
10% уксусной кислоте, д - 10% аммиаке, е - гранулах 3,5% едкого натра, ж - 10%
аммиаке, з - 25% серной кислоте, и - 10% молочной кислоте

Таблица 12 – Внешний вид образцов с покрытиями после 840 ч испытаний в различных жидкостях

Испытательная среда	Описание внешнего вида
№1 с покрытием PURMAN	
№1 соляная кислота 25%	Изменение цвета (желтый). Отслоение по краям, ржавчина на стальной поверхности
№2 карбонат натрия 10%	Помутнение пятнами
№3 хлорид натрия 5%	Единичное вздутие у края
№4 суперфосфат (фосфатные удобрения 10%)	Помутнение. Вздутия по краям в виде пузырей
№5 нитрат натрия 3%	Единичный прокол и трещина вне зоны соприкосновения с жидкостью
№6 фосфат аммония 3 %	Единичные трещины вне зоны соприкосновения с жидкостью
№7 серная кислота 25%	Вздутия и отслоения покрытия по краям. Отслоение по краям, ржавчина на стальной поверхности
№8 бензин	Помутнение пятнами. Единичные проколы
№9 аммиак 10%	Множественные вздутия в виде мелких пузырей
№10 соляная кислота 3,5%	Вздутия и отслоения по краям
№11 молочная кислота 10%	Отслоения по краям, ржавчина на стальной поверхности
№12 серная кислота 3,5%	Трещина вне зоны соприкосновения с жидкостью
№13 едкий натр (NaOH) 3,5%	Вздутия в виде мелких пузырей
№14 гранулы едкого натра 3,5%	Помутнение пятнами. Скол покрытия
№15 формалин 40%	Вздутия по краям
№16 уксусная кислота 10%	Отслоение покрытия по всему периметру на 5-7 мм от торца. Ржавчина на стальной поверхности
№2 с покрытием PPV	
№2 карбонат натрия 10%	Единичные проколы и трещины
№3 хлорид натрия 5%	Единичные сквозные проколы, вздутия в виде пузырей по поверхности и по краям
№4 суперфосфат 10%	Изменение цвета (светло желтый). Единичные проколы и трещины. Скол покрытия от торца 1x4 мм
№5 нитрат натрия 3%	Единичные проколы и трещины
№6 фосфат аммония 3 %	Единичные трещины
№8 бензин	Помутнение пятнами. Множественные проколы
№9 аммиак 10%	Множественные вздутия в виде мелких пузырей. Проколы и точки ржавчины
№13 едкий натр (NaOH) 3,5%	Помутнение пятнами. Ржавые точки и пятна. Скол покрытия от торца
№15 формалин 40%	Множественные мелкие пузыри и вздутия

№3 с покрытием Пластизол ПЛ-20

№1 соляная кислота 25%	Отслоения по краям. Ржавчина на стальной поверхности
№3 хлорид натрия 5%	Незначительное вздутие у края
№5 нитрат натрия 3%	Помутнение пятнами
№7 серная кислота 25%	Отслоение по краям. Язвы и ржавчина на стальной поверхности
№9 аммиак 10%	Помутнение. Точка ржавчины
№11 молочная кислота 10%	Отслоение по краям. Ржавчина на стальной поверхности
№12 серная кислота 3,5%	Помутнение
№13 едкий натр (NaOH) 3,5%	Помутнение пятнами. Незначительное отслоение от края
№14 гранулы едкого натра 3,5%	Отслоение от края
№15 формалин 40%	Помутнение
№16 уксусная кислота 10%	Вздутия в виде пузырей. Вздутия по краям

Таким образом, полученные данные по химической стойкости предоставленных на испытания покрытий свидетельствуют о высокой устойчивости к воздействию большинства агрессивных реагентов покрытий PURMAN и Пластизол ПЛ-20; и ограниченную устойчивость покрытия PPV (табл. 13).

Таблица 13 – Сопротивляемость коррозии покрытий *)

Испытательная среда	PURMAN			PPV			Пластизол ПЛ-20		
	Отличная	Хорошая	Ограниченная	Отличная	Хорошая	Ограниченная	Отличная	Хорошая	Ограниченная
№1 соляная кислота 25%			+			+			+
№2 карбонат натрия 10%	+			+			+		
№3 хлорид натрия 5%		+			+		+		
№4 суперфосфат (фосфатные удобрения 10%)	+			+			+		
№5 нитрат натрия 3%	+			+			+		
№6 фосфат аммония 3 %	+			+			+		
№7 серная кислота 25%			+			+			+
№8 бензин		+			+		+		
№9 аммиак 10%	+					+	+		
№10 соляная кислота 3,5%			+			+		+	
№11 молочная кислота 10%			+			+		+	
№12 серная кислота 3,5%		+				+		+	
№13 едкий натр (NaOH) +3,5%	+			+			+		
№14 гранулы едкого натра 3,5%	+				+		+		
№15 формалин 40%	+			+			+		
№16 уксусная кислота 10%		+				+		+	+

*) Отличная сопротивляемость - покрытие устойчиво более 200 ч.

Хорошая сопротивляемость покрытие устойчиво в течение непродолжительного воздействия (100 - 150 ч.).

Ограниченная сопротивляемость - покрытие ограничено устойчиво (менее 100 часов).

Анализ результатов исследования

Целью работы является исследование коррозионной стойкости и долговечности покрытий PURMAN, PPV и Пластизол ПЛ-20, нанесенных на стальные оцинкованные листы.


При анализе физико-химических и защитно-декоративных свойств полимерных покрытий были проведены ускоренные коррозионные испытания по ГОСТ 9.401-91 по методам 6 и 9, имитирующие комплексное воздействие климатических факторов открытой промышленной атмосферы умеренного и холодного климатов (слабо- и среднеагрессивные среды), методу 21, имитирующие прибрежные территории в пределах непосредственного воздействия морской воды (средне- и сильноагрессивные среды). Сроки службы полимерных покрытий с учетом коэффициентов ускорения 41 для открытой атмосферы (ГОСТ 9.401-91 приложение 10) рассчитываются: количество циклов умножаем на коэффициент ускорения и делим на 365 дней (количество дней в году).

Анализ результатов испытаний показал, что покрытия PURMAN (50 мкм), PPV (50 мкм) и Пластизол ПЛ-20 (200 мкм), нанесенные на поверхность оцинкованной стали, обладают высокими физико-механическими свойствами, так как до и после климатических испытаний адгезия покрытия по методу решетчатых надрезов по ГОСТ 15140-78 составляет 0 балл.

Оценку атмосферостойкости покрытий проводили по методу воздействия нейтрального соляного тумана (метод Б). В результате исследования установлено, что покрытия обладают высокой адгезией и обеспечивают защиту изделий от воздействия коррозионно-агрессивной среды без признаков коррозии основы в течение более 720 часов.

При оценке стойкости к циклическому воздействию знакопеременных (-60/+60 °С) температур установлено, что полимерные покрытия не претерпели видимых изменений после 10 циклов испытаний, что соответствует требованиям ГОСТ 27037-86.

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что покрытия PURMAN, PPV и Пластизол ПЛ-20 обладают высокими защитно-декоративными свойствами и рекомендуется для применения в условиях эксплуатации неагрессивных, слабо-, среднеагрессивных и специальных сред.



Выводы

В результате проведенных испытаний физико-механических, защитных и декоративных свойств сталей с покрытиями **PURMAN**, **PPV** и **Пластизол ПЛ-20**, производства ООО «Компания Металл Профиль» установлено, что срок службы покрытий:

Покрытие №1. PURMAN.

1.1. при применении в неагрессивных и слабоагрессивных средах составит не менее 40 лет (отсутствие сквозной коррозии в результате окисления стальной основы), не менее 20 лет (отсутствие растрескивания или отслаивания покрытия); в среднеагрессивных средах (прибрежная и береговая зоны) – не менее 25 лет (отсутствие сквозной коррозии в результате окисления стальной основы); не менее 15 лет (отсутствие растрескивания или отслаивания покрытия);

1.2. при применении покрытия PURMAN для облицовок, используемых для изготовления трехслойных сэндвич-панелей специального назначения **Agrarium®**, рекомендуется для использования в среднеагрессивной (агрессивной) среде для внутренней отделки в зданиях и сооружениях животноводческого комплекса (птичники, свинарники, коровники, в т.ч. убойные цеха) со сроком службы 20 лет;

1.3. при применении покрытия PURMAN для облицовок, используемых для изготовления трехслойных сэндвич-панелей специального назначения **Sterilium®**, рекомендуется для применения в среднеагрессивной (агрессивной) среде для внутренней отделки в зданиях и сооружениях с регулируемой средой и со стерильными производствами (картофелехранилища, фруктохранилища, сыродельни, молочные цеха, грибницы помещения для производств продуктов питания, операционные комнаты) со сроком службы 20 лет;

1.4. при применении покрытия PURMAN для облицовок, используемых для изготовления трехслойных сэндвич-панелей специального назначения **Industrium®**, рекомендуется для применения в среднеагрессивной (агрессивной) среде для внутренней и наружной отделки в зданиях и сооружениях с промышленным производством (металлургические комбинаты, химзаводы, целлюлозное производство, нефтепереработка, АЭС, бассейны, автомойки, мойки железнодоро-

рожных составов, цеха по производству удобрений, грибницах, в южных и северных районах с температурой +60 до -60 градусов) со сроком службы 15 лет.

Покрытие №2. PPV.

2.1. при применении в неагрессивных и слабоагрессивных средах составит не менее 11 лет (отсутствие сквозной коррозии в результате окисления стальной основы), не менее 8 лет (отсутствие растрескивания или отслаивания покрытия); в среднеагрессивных средах (прибрежная и береговая зоны) – не менее 5 лет (отсутствие сквозной коррозии в результате окисления стальной основы); не менее 3 лет (отсутствие растрескивания или отслаивания покрытия);

2.2. применение покрытия **PPV** для облицовок, используемых для изготовления трехслойных сэндвич-панелей специального назначения **Agrarium®**, **Sterilium®**, **Industrium®** не рекомендуется.

Покрытие №3. Пластизол ПЛ-20.

3.1. при применения в неагрессивных и слабоагрессивных средах составит не менее 50 лет (отсутствие сквозной коррозии в результате окисления стальной основы), не менее 26 лет (отсутствие растрескивания или отслаивания покрытия); в среднеагрессивных средах (прибрежная и береговая зоны) – не менее 30 лет (отсутствие сквозной коррозии в результате окисления стальной основы); не менее 20 лет (отсутствие растрескивания или отслаивания покрытия).

1.2. при применении покрытия Пластизол ПЛ-20 для облицовок, используемых для изготовления трехслойных сэндвич-панелей специального назначения **Agrarium®**, рекомендуется для использования в среднеагрессивной (агрессивной) среде для внутренней отделки в зданиях и сооружениях животноводческого комплекса (птичники, свинарники, коровники, в т.ч. убойные цеха) со сроком службы 35 лет;

1.3. при применении покрытия Пластизол ПЛ-20 для облицовок, используемых для изготовления трехслойных сэндвич-панелей специального назначения **Sterilium®**, рекомендуется для применения в среднеагрессивной (агрессивной) среде для внутренней отделки в зданиях и сооружениях с регулируемой средой и со стерильными производствами (картофелехранилища, фруктохранилища, сыродельни, молочные цеха, грибницы помещения для производств продуктов питания, операционные комнаты) со сроком службы 35 лет;

1.4. при применении покрытия Пластизол ПЛ-20 для облицовок, используемых для изготовления трехслойных сэндвич-панелей специального назначения **Industrium®**, рекомендуется для применения в среднеагрессивной (агрессивной) среде для внутренней и наружной отделки в зданиях и сооружениях с промышленным производством (металлургические комбинаты, химзаводы, целлюлозное производство, нефтепереработка, АЭС, бассейны, автомойки, мойки железнодорожных составов, цеха по производству удобрений, грибницах, в южных и северных районах с температурой +60 до -60 градусов) со сроком службы 30 лет.

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



Оборудовано и проинформировано

28 стр.

