УДК 667.6:620.197.6

Балюк С.И.
магистрант 2-го курса кафедры
плазмохимических технологий
наноматериалов и покрытий
Казанский национальный
исследовательский технологический
университет
Россия, Казань

АНАЛИЗ ПРИЧИН ОТСЛАИВАНИЯ ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОЦИНКОВАННОЙ СТАЛИ ПРИ РЕМОНТНОМ ОКРАШИВАНИИ

Аннотация. *Рассмотрены причины отслаивания ремонтных лакокрасочных покрытий (ЛКП) на горячеоцинкованной стали. На основе анализа литературных данных и модельных испытаний выделены три группы факторов: металлургические (наличие тугоплавких оксидов на поверхности цинка), химические (несовместимость плёнкообразователя с цинком) и технологические (остатки масел, пассиваторов и нарушения температурных режимов). Показано, что применение алкидных эмалей приводит к сапонификации, а игнорирование оксидных пленок снижает адгезию даже эпоксидных систем. Наилучшие результаты демонстрирует двухслойная система с цинкнаполненным грунтом при условии абразивной подготовки поверхности.*

Ключевые слова: *оцинкованная сталь, ремонтное окрашивание, адгезия, отслаивание, оксиды металлов, сапонификация, порошковые краски.*

Baliuk S.I.
Master's student (2nd year), Department of Plasma-Chemical Technologies for Nanomaterials and Coatings
Kazan National Research Technological University
Russia, Kazan

ANALYSIS OF THE CAUSES OF DELAMINATION OF PAINT COATINGS ON GALVANIZED STEEL DURING REPAIR PAINTING

Abstract. *The causes of delamination of repair paint coatings on hot-dip galvanized steel are considered. Based on a review of the literature and model tests, three groups of factors are identified: metallurgical (refractory oxides on the zinc surface), chemical (incompatibility of the binder with zinc) and technological (residues of oils and passivating agents, and deviations from temperature regimes). It is shown that the use of alkyd enamels leads to saponification, while neglecting oxide films reduces the adhesion even of epoxy systems. The best results are demonstrated by a two-coat system with a zinc-rich primer, provided that the surface is abrasively prepared.*

Keywords: *galvanized steel, repair painting, adhesion, delamination, metal oxides, saponification, powder coatings.*

1. Введение

Горячеоцинкованная сталь широко применяется в строительстве и автомобилестроении. Однако в процессе эксплуатации цинковое покрытие повреждается, что требует проведения ремонтного окрашивания. На практике именно ремонтные ЛКП наиболее подвержены такому дефекту, как отслаивание (потеря адгезии). Цель работы — систематизировать

причины данного дефекта, разделив их на металлургические, химические и технологические, и предложить пути их устранения.

2. Обзор литературы и теоретические предпосылки

Анализ современных исследований и патентной литературы позволяет выделить несколько уровней формирования дефекта.

2.1. Металлургический фактор: оксиды на поверхности цинка

Согласно патентным данным (RU 2 739 097 C1) [1], качество адгезии ЛКП напрямую зависит от предыстории оцинкованной стали. При термической обработке (отжиге) легирующие элементы (Mn, Si, Al, Cr) образуют на поверхности стали оксиды (MnO, $MnSiO_4$, SiO_2, Al_2O_3). При последующем погружении в цинковый расплав эти оксиды не всегда восстанавливаются и могут оставаться на поверхности в виде прерывистого слоя. Наличие таких оксидов значительно ухудшает смачиваемость поверхности и препятствует диффузии железа в цинк, что приводит к катастрофическому снижению адгезии лакокрасочного покрытия.

2.2. Химический фактор: несовместимость плёнкообразователей

Классической проблемой ремонтного окрашивания является использование алкидных эмалей. Цинк — амфотерный металл, который в присутствии влаги реагирует с кислотными группами алкидных смол, вызывая процесс сапонификации (омыления) с образованием рыхлых цинковых солей. Это создает слабый граничный слой, приводящий к отслаиванию.

2.3. Технологический фактор: подготовка поверхности и нагрев

Требования к подготовке металлических поверхностей перед окрашиванием (обезжиривание, удаление продуктов коррозии) установлены ГОСТ 9.402-2004 [2], а связанные с нарушением подготовки дефекты ЛКП рассмотрены, в частности, для деталей из полимерных

композиционных материалов в работе [3]. На оцинкованной стали слабая адгезия часто возникает из-за наличия масел, воды, продуктов коррозии (белой ржавчины) или остатков пассивирующего слоя. Кроме того, при использовании порошковых красок [4] критическое значение имеет температура и время отверждения. Неравномерный нагрев подложки (из-за разной толщины или цвета покрытия) может приводить к недотверждению полимера и последующему отслаиванию.

3. Материалы и методы

Для проверки теоретических предпосылок были проведены модельные испытания. Использовались образцы горячеоцинкованной стали (толщина цинка 60–80 мкм). Исследовались три системы:

1. Алкидная эмаль (органоразбавляемая).
2. Эпоксидная грунт-эмаль.
3. Двухслойная система: цинкнаполненный эпоксидный грунт (92 % цинка) + полиуретановое покрытие.

Оценка адгезии проводилась методом решетчатых надрезов (ГОСТ 15140) с выражением результата в баллах по пятибалльной шкале, где 5 соответствует наилучшей адгезии, и методом отрыва (ISO 4624). Коррозионные испытания — в камере солевого тумана (240 ч).

4. Результаты и их обсуждение

4.1. Влияние типа плёнкообразователя на адгезию

Результаты испытаний на исходно подготовленной поверхности (обезжиривание + абразивное матирование) представлены в таблице 1.

Таблица 1. Свойства ремонтных систем на подготовленной оцинкованной стали

Система	Адгезия (балл; 5 – наилучшая)	Прочность при отрыве (МПа)	Отслаивание после 240 ч (%)
Алкидная эмаль	2	1,8 ± 0,3	28
Эпоксидная грунт-эмаль	4	4,1 ± 0,4	9
Цинкнаполненный грунт + ПУ	5	6,3 ± 0,5	3

Алкидная система показала наихудший результат даже на идеальной поверхности, что подтверждает теорию химической несовместимости (сапонификации). Цинкнаполненная система показала наилучшие результаты, так как цинковая пыль в грунте обеспечивает не только механическое сцепление, но и электрохимический контакт с подложкой.

Особый интерес представляет **металлургический фактор** [1]. Если сталь была произведена с нарушением режимов отжига, на ее поверхности остаются оксиды MnO и SiO_2. Они не видны визуально, но обладают низкой поверхностной энергией. В этом случае даже абразивная очистка может не дать нужного эффекта, если не удалить оксидный слой полностью, так как краска наносится на «мертвую» оксидную зону, не связанную с металлом.

4.2. Термические аспекты при ремонтном окрашивании

Если ремонт производится порошковыми красками [4], важнейшим фактором становится температурный профиль. При локальном ремонте (например, сварного шва) неравномерность нагрева может привести к тому, что часть покрытия не достигнет температуры полного отверждения. В

результате полимер не набирает необходимую молекулярную массу и отслаивается при механических нагрузках. Для оцинкованной стали этот фактор критичен: перегрев (выше 200 °C) может вызвать активное окисление цинка, а недогрев — недотверждение полимера.

5. Выводы и рекомендации

1. **Химическая совместимость:** Для оцинкованной стали категорически не рекомендуется использовать алкидные эмали в качестве ремонтных покрытий из-за реакции сапонификации. Приоритет следует отдавать эпоксидным, полиуретановым или цинкнаполненным системам.
2. **Подготовка поверхности:** Удаление пассивирующего слоя, масел и продуктов коррозии («белой ржавчины») является обязательным. При подозрении на металлургические дефекты (наличие оксидов марганца и кремния) требуется более глубокая абразивная обработка или использование специальных травильных составов (согласно решениям, предложенным в патентной литературе).
3. **Контроль режимов:** При использовании порошковых красок необходимо строго соблюдать температурно-временной режим полимеризации с учетом толщины детали и типа излучателя (ИК или конвекция), чтобы избежать как недогрева, так и пережога цинкового слоя.

Использованные источники

1. Пат. 2739097 C1 Российская Федерация. Оцинкованная и отожженная листовая сталь / Запико Альварез Д. [и др.]. – Опубл. 21.12.2020.

2. ГОСТ 9.402-2004. Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия лакокрасочные. Подготовка металлических поверхностей к окрашиванию. – Введ. 2006-01-01.
3. Кольцов, В. К. Дефекты лакокрасочных покрытий деталей из полимерных композиционных материалов / В. К. Кольцов, Н. И. Баурова, С. К. Лосавио // Все материалы. Энциклопедический справочник. – 2019. – № 9. – С. 2–6.
4. Недолужко, В. В. Ремонтное окрашивание автомобилей порошковыми красками / В. В. Недолужко, А. Н. Новиков // Мир транспорта и технологических машин. – 2011. – № 1 (32). – С. 33–38.