

Авторефер.

Б 90

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
им. М. В. ЛОМОНОСОВА.

Аспирант БУДЮК Л. Ф.

**ДВУХСЛОЙНЫЕ ВАКУУМНЫЕ
ЦИНК-АЛЮМИНИЕВЫЕ
И ОЛОВЯННО-КАДМИЕВЫЕ ПОКРЫТИЯ
НА СТАЛИ**

**(353-химическое сопротивление
и защита от коррозии).**

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук.**

Одесса — 1970

Аспирант БУДЮК Л. Ф.

ДВУХСЛОЙНЫЕ ВАКУУМНЫЕ
ЦИНК-АЛЮМИНИЕВЫЕ
И ОЛОВЯННО-КАДМИЕВЫЕ ПОКРЫТИЯ
НА СТАЛИ

(353-химическое сопротивление
и защита от коррозии).

Переучет 19.8.70.

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук.

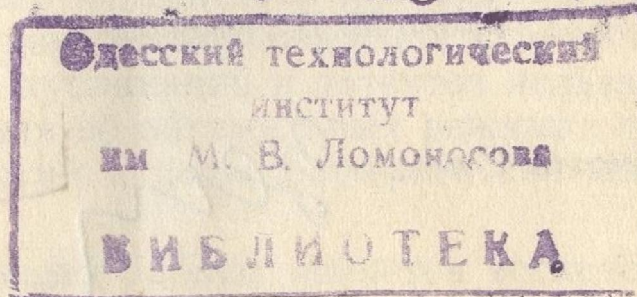
23.06.11

ОНАХТ

Двухслойные вакуумные



v001822



Одесса — 1970

Работа выполнена на кафедре физики Одесского технологического института имени М. В. Ломоносова.

Научные руководители:

доктор химических наук, профессор И. Л. Ройх,
кандидат физико-математических наук, доцент Д. М. Рафалович.

Официальные оппоненты:

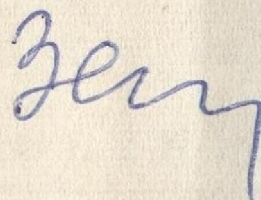
1. Доктор технических наук, профессор М. А. Шлугер.
2. Кандидат технических наук А. П. Лавров.

Автореферат разослан «10» февраля 1970 г.

Защита диссертации состоится «27» марта 1970 г.
на заседании Совета Одесского технологического института имени
М. В. Ломоносова.

Просим Ваши отзывы в двух экземплярах прислать по адресу:
г. Одесса-39, ул. Свердлова, 112, Технологический институт
имени М. В. Ломоносова.

Ученый секретарь Совета



(Л. А. Запорожец).

Современное развитие машиностроения, появление новых технологических процессов в химической промышленности, рост экспорта оборудования в страны с тропическим климатом предъявляют серьезные требования к коррозионной стойкости и конструкционных материалов и, особенно, углеродистой стали.

В настоящее время широко распространена защита стали от коррозии с помощью однослойных и многослойных металлических покрытий. Последние более надежны в тяжелых условиях эксплуатации. Однако выбор их ограничен как из-за трудностей нанесения отдельных материалов (например, алюминия) гальваническим способом, так и вследствие более высокой стоимости по сравнению с однослойными покрытиями. Кроме того, нанесение многослойных покрытий электролитически требует большого количества ванн для предварительной подготовки, нанесения и промывки деталей, и соответственно, больших производственных площадей.

Нанесение многослойных покрытий методом испарения металлов в вакууме позволяет упростить предварительную подготовку поверхности стали, избавиться от наводороживания основы, нанести более коррозионностойкие покрытия, чем металлизационные при меньших толщинах компонент, а главное — сделать процесс универсальным, дающим возможность на одной вакуумной линии получать многослойные покрытия из любого сочетания металлов.

В последнее десятилетие значительное внимание уделяется исследованию структуры, механических, электрических и др. свойств вакуумных конденсатов и покрытий. Меньше работ посвящено изучению их коррозионной стойкости. Из отдельных зарубежных публикаций и патентов нельзя получить четкого представления об оптимальных режимах получения многослойных покрытий и целесообразном соотношении толщин компонент в них.

Целью настоящей работы является исследование условий формирования вакуумных цинк-алюминиевых покрытий на

стали 08КП и кадмиевых с подслоем олова на сталях ЭП311 и 60С2А.

Особое внимание уделено изучению влияния условий получения (в частности, температуры стали) на структуру и защитные свойства двухслойных вакуумных покрытий, а также выбору оптимальных толщин компонент в них.

1. ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ЗАЩИТЫ СТАЛИ ОТ КОРРОЗИИ.

Обзор литературы показывает, что чаще всего применяются многослойные гальванические, медно-никеле-хромовые и оловянно-кадмиевые покрытия, а также металлизационное цинк-алюминиевое.

Опытные данные свидетельствуют о том, что однослойные цинковые и кадмиевые покрытия хорошо защищают сталь от коррозии только в чистой открытой атмосфере и воде с рН 6—8—. В жестких условиях эксплуатации и морской воде их защитные свойства недостаточно высоки. Катодные гальванические покрытия из меди, никеля, хрома, свинца и т. д. хорошо защищают сталь от коррозии только при отсутствии пор. Для получения беспористых покрытий необходимо значительно увеличивать их толщину, что не всегда возможно и оправдано.

Поэтому более целесообразно использовать для тяжелых условий эксплуатации многослойные покрытия, которые при меньшей суммарной толщине получаются беспористыми и обладают высокой коррозионной стойкостью.

Внедрение вакуумного способа нанесения позволит на одной линии для металлизации получать многослойные покрытия из любого сочетания металлов без промежуточных операций, снизит их стоимость по сравнению с покрытиями, полученными другими способами.

2. ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ПОЛУЧЕНИЯ НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВАКУУМНЫХ ПОКРЫТИЙ.

При вакуумном нанесении антикоррозионных покрытий

атомы, испаряемого при низком давлении остаточных газов металла, конденсируются на защищаемой поверхности.

Данные, приводимые в литературе, показывают, что свойства вакуумных покрытий определяются параметрами нанесения и могут приближаться к свойствам массивных металлов, либо резко отличаться от них.

Решающее влияние на формирование вакуумных покрытий оказывает температура конденсации. Она определяет механизм конденсации металла, а также оказывает влияние на структуру, плотность, адгезию и декоративные свойства.

Повышение скорости конденсации приводит к получению плотного осадка с малым количеством газовых включений и упорядоченной структурой. При повышении давления остаточных газов в вакуумной камере образуются рыхлые, пористые конденсаты.

Большинство работ по исследованию защитных свойств посвящено алюминиевым вакуумным покрытиям. Отмечается их высокая коррозионная стойкость в консервных средах и при испытаниях в камере солевого тумана.

Кадмиевые вакуумные покрытия выдерживают стандартные испытания в камере солевого тумана. Цинковые вакуумные покрытия ведут себя во влажной атмосфере при повышенной температуре лучше, чем гальванические.

Данные по режимам нанесения покрытий крайне ограничены и противоречивы, хотя за рубежом уже созданы промышленные линии непрерывного действия для получения одностороннего цинкового и алюминиевого покрытий на стальной полосе.

3. МЕТОДИКА НАНЕСЕНИЯ И ИСПЫТАНИЙ ДВУХСЛОЙНЫХ ВАКУУМНЫХ ПОКРЫТИЙ

Вакуумные цинк-алюминиевые и оловянно-кадмиевые покрытия наносили на стали 08КП, ЭП-311, 6ОС2А в лабораторной установке периодического действия при давлении остаточных газов $10^{-3} \div 10^{-4}$ мм рт. столба последовательным испарением металлов в одной вакуумной камере. Испарение цинка и кадмия производили из стальных испарителей, алюминия — с вольфрамовых спиралей и олова из молибденовых лодочек.

Предварительная подготовка стали 08КП заключалась в

обезжиривании органическими растворителями и нагреве в вакууме 10^{-4} мм. рт. столба до 450°C в течение 1 минуты.

Перед помещением стале́й ЭП-311 и 60С2А в вакуумную камеру их подвергали пескоструйной обработке кварцевым песком зернистости 0,4—0,8 мм при давлении 6 ати.

При изучении зависимости структуры и плотности от температуры конденсации применяли термостатируемую подложку. Это обеспечивало постоянство заданной температуры во время нанесения и позволяло при достаточно высоком давлении паров металла получать осадки из цинка и кадмия при температурах от 20 до 300°C .

Толщина двухслойных покрытий определялась на поперечных шлифах, а однослойных — толщиномером КТП-1 и весовым методом.

Адгезия покрытий к стали проверялась методами, предусмотренными стандартами для гальванических покрытий.

Структура покрытий изучалась на поперечных, продольных и косых шлифах на микроскопе МИМ-7 при увеличениях 450 и 1000. Рентгеноструктурный анализ проводили на установке УРС-55 при отражении пучка рентгеновских лучей от шлифа под малыми углами к поверхности.

Ускоренные испытания вакуумных покрытий проводили в 3% растворе хлористого натрия, атмосфере с примесью 0,1% сернистого газа, влажной камере, имитирующей условия тропического климата, и камере морского тумана, а также двухлетние натурные испытания в морской промышленной атмосфере Одесского порта и на автомобилях в условиях их эксплуатации.

При электрохимических исследованиях гальваностатическим методом снимали поляризационные кривые, а также кривые «потенциал-время».

Пористость двухслойных покрытий определяли по специально разработанной методике.

4. ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ КОНДЕНСАЦИИ НА СВОЙСТВА ЦИНКОВЫХ ПОКРЫТИЙ.

Изучение структуры, плотности и декоративных свойств цинковых покрытий, полученных на термостатируемой подложке со скоростью осаждения 10—20 мкм/мин при температурах конденсации от 20 до 300°C показало, что по характеру

структуры поверхности область исследуемых температур можно разбить на 4 интервала: I — $20 \div 120^\circ\text{C}$ — структура мелкокристаллическая, разрешается при увеличении не менее 2000, базисные плоскости кристаллитов расположены перпендикулярно направлению падения молекулярного пучка, II — $120 - 200^\circ\text{C}$ — размеры кристаллов увеличиваются, базисные плоскости располагаются параллельно плоскости подложки, III — $200 - 250^\circ\text{C}$ — нормально к ней. При температурах от 200 до 250°C конденсация цинка идет по механизму пар-кристалл.

При температурах 250°C и выше структура поверхности качественно меняется, рельеф сглаживается, по-видимому, в этом интервале конденсация происходит по механизму пар-жидкость (кристалл).

Структура поверхности определяет декоративные свойства (блеск) покрытий. В интервале температур $20-120^\circ\text{C}$ покрытия обладают избирательным отражением, при повышении температуры более 120°C декоративные свойства улучшаются, и наиболее блестящими являются покрытия, полученные при температуре 250°C .

Исследование продольных и поперечных шлифов показало, что при температуре конденсации (T_k), удовлетворяющей неравенству $0,33 T_{пл} < T_k < 0,54 T_{пл}$, ($T_{пл}$ — температура плавления в градусах Кельвина) цинковые покрытия имеют столбчатую структуру. При более высоких температурах — состоят из равноосных зерен, главным образом шестиугольных. Их структура напоминает структуру массивного цинка после собирательной рекристаллизации. По-видимому, при более высоких температурах структура покрытий определяется процессами рекристаллизации, протекающими при нанесении покрытия.

Рентгеновским методом был исследован состав покрытий всех температурных интервалов. Установлено, что, начиная с 220°C , в покрытии со стороны стали имеется тонкий слой интерметаллического соединения цинка с железом.

Плотность покрытий с ростом температуры конденсации от 50 до 200°C увеличивается от 6,3 до $6,9 \text{ г/см}^3$. При нанесении покрытий на термостатируемую подложку изменение скорости конденсации от 5 до 25 мкм/мин мало влияет на структуру покрытия.

Если полоса из стали 08КП не подвергалась предварительному прогреву в вакууме, то адгезия цинкового покрытия к

стали в интервале температур конденсации от 20 до 300°C неудовлетворительная. Установлено, что одним из способов получения надежной адгезии цинка является предварительное прогревание стальной полосы в вакууме 10^{-4} мм рт. столба до температуры порядка 450°C, затем ее охлаждение перед нанесением покрытия до 100—200°C.

В процессе получения цинкового покрытия, если стальная полоса не охлаждается, ее температура не остается постоянной, а повышается за счет выделения теплоты конденсации и излучения испарителя. При этом структура нижележащих слоев, вследствие рекристаллизационных процессов, изменяется и приближается к структуре, соответствующей температуре в конце нанесения покрытия.

Проведенные исследования показали, что структура и плотность цинковых покрытий, в процессе получения которых температура повышалась от 120 до 200°C, приближаются к соответствующим значениям для массивного цинка.

Исследовано влияние температуры конденсации на защитные свойства цинковых покрытий. Покрытия, полученные при температурах 100 и 200°C, испытывали в течение 90 суток в 3% растворе хлористого натрия, атмосфере с примесью 0,1% сернистого газа и влажной камере. Установлено, что коррозионные потери покрытий, полученных при $T_k=200^\circ\text{C}$ примерно на 30% меньше, чем полученных при 100°C, что, по-видимому, объясняется большей плотностью покрытия.

Кинетика изменения электродного потенциала и вид поляризационных кривых свидетельствуют о том, что вакуумные цинковые покрытия, подобно гальваническим, обеспечивают электрохимическую защиту стали.

Проведены двухлетние натурные испытания цинковых вакуумных покрытий в атмосфере Одесского порта и на автомобилях. Покрытия потеряли блеск, но сохранили защитные свойства.

Хроматирование цинковых вакуумных покрытий по режимам, применяемым для гальванических, повышает их защитные свойства.

5. РАЗРАБОТКА РЕЖИМА ПОЛУЧЕНИЯ ДВУХСЛОЙНЫХ ВАКУУМНЫХ ЦИНК-АЛЮМИНИЕВЫХ ПОКРЫТИЙ И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ СВОЙСТВ.

Исследовано влияние температуры конденсации алюминия на структуру и адгезию его к цинковому покрытию. Изме-

ние температуры подложки от 50 до 250°C мало влияет на структуру поверхности двухслойного покрытия. При изучении поперечных шлифов покрытий, полученных на подложке, нагретой до 200°C, не обнаружено промежуточных соединений между цинком и железом, а также цинком и алюминием, при 220 — 250°C между цинком и железом образуется подслой интерметаллоида. Декоративные свойства и адгезия алюминиевого покрытия к цинку улучшаются с ростом температуры конденсации и при 150—200°C двухслойное покрытие блестящее, и алюминий не отслаивается от цинка при перегибах стали на $\pm 90^\circ\text{C}$ вплоть до излома образца.

Таким образом, цинк-алюминиевое покрытие целесообразно получать по следующему режиму: предварительный нагрев стали в вакууме до 450°C, охлаждение до 120°C и нанесение слоя цинка (при его конденсации температура не должна повышаться более 200°C); осаждение алюминия на цинковое покрытие, имеющее температуру не ниже 150°C.

Разработана методика определения пористости цинк-алюминиевых покрытий, позволяющая одновременно фиксировать число сквозных пор и число пор в слое алюминия. Подсчет пор и определение их диаметра проводилось на микроскопе МИМ-7 при увеличениях 450 и 1000.

Число сквозных пор уменьшается с увеличением слоя цинка в комбинированном покрытии, и при толщине его 10 мкм и более сквозные поры отсутствуют. С ростом толщины алюминиевого покрытия уменьшаются как размеры пор, так и их количество в слое алюминия.

Изучение электрохимического поведения двухслойных покрытий в 3% растворе хлористого натрия показало, что даже при незначительной пористости слоя алюминия потенциал покрытия ближе к потенциалу цинка, чем алюминия. Построение коррозионной диаграммы двухэлектродной системы цинк-алюминий позволило установить взаимосвязь между толщиной (а следовательно и пористостью) покрытия и величиной коррозионного тока. Ток коррозии уменьшается с ростом толщины алюминия в двухслойном покрытии.

Изучено влияние толщин слоя цинка и алюминия на защитные свойства цинк-алюминиевых покрытий в 3% растворе хлористого натрия, атмосфере с примесью 0,1% сернистого газа и влажной камере. Коррозионные испытания проводились в течение 150 суток.

Установлено, что толщина слоя цинка в присутствии ионов

хлора и сернистого газа должна быть 10 мкм и более, в чистой влажной атмосфере она может быть снижена до 6 мкм.

Рост толщины алюминиевого покрытия от 1 до 7 мкм увеличивает защитные свойства двухслойных покрытий в 2,5 раза.

Таким образом, лучшими защитными свойствами обладают цинк-алюминиевые покрытия с толщиной слоев: цинка — 10 мкм, а алюминия — 5 мкм и более.

Проведены сравнительные ускоренные коррозионные испытания цинковых вакуумных покрытий толщиной 25 мкм и цинк-алюминиевых (15 мкм). Коррозионные потери двухслойных покрытий $\approx$ втрое ниже, чем однослойных цинковых.

Проведены сравнительные натурные коррозионные испытания цинковых (толщина 25 мкм), алюминиевых (10 мкм) и цинк-алюминиевых (15 мкм) покрытий в течение двух лет в атмосфере Одесского порта. Оказалось, что защитные и декоративные свойства двухслойных покрытий выше, чем однослойных. Цинковые покрытия теряют блеск и корродируют со скоростью в 2,5 раза большей, чем цинк-алюминиевые. За указанный промежуток времени 90—95 % площади поверхности слоя алюминия покрывается железной ржавчиной.

Сравнительные коррозионные испытания указанных выше покрытий на автомобилях в процессе эксплуатации также показали лучшие защитные свойства цинк-алюминиевых покрытий по сравнению с вакуумными цинковыми и алюминиевыми.

Величина и характер изменения потенциала двухслойного цинк-алюминиевого покрытия со временем свидетельствуют об электрохимическом характере защитного действия покрытия.

При помощи поляризационных кривых, снятых в дистиллированной воде, установлено, что у цинк-алюминиевых покрытий торможение анодной и катодной электрохимических реакций более сильное, чем у однослойного алюминиевого и цинкового.

Наиболее перспективно применение вакуумного цинк-алюминиевого покрытия для защиты стали от коррозии в тропиках и промышленной атмосфере взамен гальванического цинка, а также для замены горячеоцинкованной стальной полосы на одностороннее двухслойное вакуумное покрытие, обеспечивающее возможность последующей сварки листов, что необходимо, например, в автомобильной промышленности.

6. ВАКУУМНЫЕ КАДМИЕВЫЕ ПОКРЫТИЯ С ПОДСЛОЕМ ОЛОВА

Защитные свойства вакуумных цинковых и цинк-алюминевых покрытий недостаточно высоки в 3% растворе хлористого натрия.

В этих условиях чаще всего применяют кадмиевые гальванические покрытия. Однако возможное наводороживание основы в процессе электрохимической подготовки и нанесения покрытия делает более перспективным применение вакуумного кадмирования для особо ответственных деталей из высокопрочных сталей.

Было изучено влияние температуры конденсации на структуру, адгезию и декоративные свойства кадмиевых покрытий. Установлено, что в интервале температур от 20 до 300°C структура поверхности образует 5 зон со следующими граничными температурами: I — 20 ÷ 70°; II — 70 ÷ 150°C; III — 150 ÷ 200°C; IV — 200 ÷ 250°C и V — выше 250°C.

В первых трех зонах структура поверхности отличается ориентировкой кристаллитов кадмия, конденсация которого идет по механизму пар-кристалл.

В IV и V зонах конденсация кадмия происходит по механизму пар-жидкость (кристалл), на что указывает сглаженная структура IV зоны и капельная — пятой.

В поперечном сечении структура кадмиевых покрытий, полученных при температуре $0,33 \text{ Тпл} < T_k < 0,54 \text{ Тпл}$, — столбчатая. На формирование структуры при температурах более 0,54—0,55 Тпл влияют рекристаллизационные процессы. Покрытие состоит из равноосных зерен. Декоративные свойства кадмиевых покрытий с ростом температуры улучшаются. Применение предварительного нагрева либо электрохимической подготовки сталей ЭП-311 и 60С2А для получения адгезии кадмиевого покрытия недопустимо, так как повышение температуры более 250° ведет к ухудшению их механических свойств. Нанесение слоя кадмия при $T_k = 20 \div 300^\circ\text{C}$ на опескоструенную поверхность также не обеспечивает прочного сцепления покрытия с основой.

Для улучшения сцепления наносили промежуточные слои из легкоплавких металлов (свинца и олова).

Изучение влияния температуры конденсации на структуру и адгезию свинцовых и оловянных покрытий показало, что хорошая адгезия свинцового покрытия к стали наблюдается при температуре выше 250°C, а для оловянных — при 180°C, когда

металлы осаждаются по механизму пар-жидкость (кристалл), на что указывает капельная структура покрытий.

В связи с более низкой температурой, обеспечивающей адгезию олова и стали, оно было выбрано в качестве подслоя. Адгезия кадмиевого покрытия к олову получается надежной при температуре конденсации 170—180°C. Изучение поперечных шлифов позволило установить, что при указанной температуре в процессе конденсации олово диффундирует в кадмий, что обеспечивает улучшение адгезии. Диффузионные процессы меняют декоративные свойства и структуру поверхности покрытия. Кристаллиты располагаются параллельно подложке, зерна становятся округлыми, поверхность — блестящей.

На основе экспериментальных данных рассчитан коэффициент диффузии и определено количество олова, диффундирующего при указанных выше T_p в кадмий, а также его распределение в покрытии. Установлено, что вакуумное кадмиевое покрытие с подслоем олова представляет на границе со сталью сплав олово-кадмий переменного состава, концентрация олова в котором убывает по мере удаления от стали.

Изучено электрохимическое поведение и защитные свойства оловянно-кадмиевых сплавов. Стационарный потенциал сплавов близок к потенциалу кадмия. Концентрация олова до 20 % улучшает защитные свойства их по сравнению с кадмием.

Установлено, что кадмиевые покрытия с подслоем олова обеспечивают электрохимическую защиту стали и обладают хорошими защитными свойствами в 3 % растворе хлористого натрия и камере морского тумана. Толщина кадмиевого покрытия должна быть не менее 10 мкм, олова — 1 мкм.

7. НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ЭКОНОМИКИ ВАКУУМНЫХ ПОКРЫТИЙ.

В СССР еще нет промышленных линий нанесения антикоррозионных покрытий в вакууме, поэтому для обоснования экономической целесообразности внедрения вакуумной металлизации в народное хозяйство проведен предварительный расчет себестоимости полосы с вакуумным цинк-алюминиевым покрытием, годового экономического эффекта и срока

окупаемости для опытно-промышленного агрегата УВМ-24, спроектированного Рижским СКБ вакуумных покрытий.

Сравнение проводилось с гальваническим цинковым покрытием.

Расчет показал высокую эффективность процесса нанесения двухслойного покрытия в непрерывной линии вакуумной металлизации, когда ввод стальной полосы в испарительную камеру и вывод ее производится через шлюзы.

ВЫВОДЫ:

1. Показано, что температура конденсации является основным параметром, влияющим на структуру, состав, декоративные и защитные свойства вакуумных покрытий из цинка, кадмия, свинца и олова.

2. Обнаружено, что в зависимости от температуры конденсации возможно образование 4 видов цинковых покрытий. Изучен механизм конденсации и декоративные свойства каждого вида покрытия. Найден оптимальный интервал температур ($120 \div 200^\circ\text{C}$), в котором целесообразно наносить покрытие. При этом цинковые покрытия имеют высокие защитные и декоративные свойства. Цинковые вакуумные покрытия обеспечивают анодную защиту стали.

3. Изучено влияние температуры конденсации алюминия на структуру, адгезию и декоративные свойства двухслойных покрытий. Разработан оптимальный режим нанесения вакуумных цинк-алюминиевых покрытий на стали 08КП. Установлены оптимальные толщины компонент покрытия.

4. Показано, что на защитные свойства двухслойных покрытий в 3% растворе хлористого натрия существенно влияет пористость покрытий. Установлена взаимосвязь между пористостью покрытия и током коррозии.

Проведены сравнительные ускоренные испытания вакуумных цинковых, алюминиевых и цинк-алюминиевых покрытий в 3% растворе хлористого натрия, атмосфере с примесью 0,1% сернистого газа, влажной камере и натурные — в атмосфере Одесского порта (2 года), на автомобилях в условиях эксплуатации.

Установлено, что защитные свойства двухслойных цинк-алюминиевых покрытий выше, чем однослойных цинковых и алюминиевых. Характер защиты стали ими — анодный.

5. Изучено влияние температуры конденсации на структуру, адгезию и декоративные свойства кадмиевых покрытий. Показано, что в диапазоне температур от 20 до 300°C образуется 5 видов покрытий, отличающихся по структуре, механизму конденсации и декоративным свойствам.

6. Разработан оптимальный режим нанесения кадмиевого покрытия с подслоем олова на сталях ЭП311 и 60С2А, в процессе которого температура не повышается более 200°C.

7. Изучена структура и диффузионные процессы, происходящие в оловянно-кадмиевом покрытии. Установлено, что на границе со сталью такое покрытие представляет сплав олово-кадмий переменной состава, концентрация олова в котором понижается по мере удаления от стали.

8. Показано, что кадмиевые покрытия с подслоем олова обеспечивают электрохимическую защиту стали и имеют хорошие защитные свойства в 3% растворе хлористого натрия и камере солевого тумана.

9. Указано на экономическую целесообразность внедрения вакуумного цинк-алюминиевого покрытия взамен гальванического цинкового.

На основе проведенных исследований можно дать следующие практические рекомендации:

1. Для получения надежной адгезии цинкового и кадмиевого покрытий на стали 08КП следует подложку предварительно нагревать в вакууме 10^{-4} мм рт. столба в течение минуты до температуры 450°C. Затем охлаждать до 100—120°C и наносить цинковое покрытие. В процессе конденсации цинка температура не должна повышаться более 200°C.

2. В тех случаях, когда предварительный нагрев стали недопустим, адгезию цинковых и кадмиевых покрытий можно получить, нанося на сталь тонкий подслои из свинца или олова. Температура стали при нанесении таких покрытий не повышается более 250°C.

3. Для получения надежной адгезии свинцового и оловянного подслоя к стали, конденсация этих металлов должна происходить по механизму пар — жидкость (кристалл) и толщина слоя составлять не менее 1 мкм.

4. При получении двухслойного цинк-алюминиевого покрытия температура конденсации алюминия должна быть не менее 150°C, а давление остаточных газов не более 10^{-3} мм. рт. столба.

5. Для защиты стальной полосы от коррозии в условиях тропиков или промышленной атмосферы рационально применять вакуумные цинк-алюминиевые покрытия толщиной 15 мкм (10 мкм цинка + 5 мкм алюминия) взамен цинковых (толщиной 25 мкм).

6. При получении вакуумных оловянно-кадмиевых покрытий температура конденсации кадмия должна быть не менее 170°C.

7. В морской атмосфере и непосредственно в морской воде целесообразно применять для защиты от коррозии высокопрочных сталей вакуумные оловянно-кадмиевые покрытия взамен гальванических кадмиевых той же толщины. При этом не происходит наводороживание основы.

Основное содержание диссертационной работы докладывалось автором на:

1. Научном Совете отдела коррозионностойких материалов и покрытий ЦНИИТМаш (г. Москва, 1969).
2. Научном семинаре кафедры конструкционных материалов и коррозии МИНХ и ГП им. Губкина (г. Москва, 1969).
3. XIX и XX научных конференциях ОТИ им. М. В. Ломоносова.

Материалы диссертации содержатся в следующих работах:

1. Д. М. Рафалович, И. Л. Ройх, С. Р. Пустотина, Л. Ф. Будюк. Защитные свойства вакуумных алюминиевых покрытий в атмосфере. Сб. Вакуумная техника, вып. 1, стр. 39, Казань, 1968.
2. Л. Ф. Будюк, Д. М. Рафалович, И. Л. Ройх, Б. С. Рыбин. Влияние рекристаллизации на структуру цинковых, кадмиевых и свинцовых вакуумных конденсатов.

Физика и химия обработки материалов, №№ 6, 22, 1968.

3. И. Л. Ройх, Л. Ф. Будюк, Д. М. Рафалович, Е. В. Толкачев. Исследование коррозии двухслойных вакуумных цинк-алюминиевых покрытий на стали. Защита металлов, № 6, 1969.

4. Л. Ф. Будюк, Д. М. Рафалович, И. Л. Ройх. Защитные вакуумные цинк-алюминиевые покрытия на стали. Технология и организация производства, № 1, 1970.