

УДК 621.794.62

История развития коррозионных исследований металлов в ИФХЭ РАН. Процессы фосфатирования металлов и сплавов

С.В. Олейник и **Ю.А. Кузенков***

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН, 119071 Москва, Ленинский пр., д.31/4,

**E-mail: osvpkz@outlook.com*

Аннотация

Обзор посвящён истории процессов фосфатирования металлов и сплавов, основу для промышленного применения которых заложили сотрудники ИФХ АН СССР в первой половине XX века. Результатами их работы стало открытие метода ускоренного фосфатирования, позволяющего получить более коррозионностойкие покрытия, разработка способов дополнительной обработки покрытий, создание метода экспресс-анализа защитных свойств фосфатных плёнок. В обзоре кратко описаны наиболее популярные промышленные процессы фосфатирования, особенности фосфатирования цинка и алюминия, приводятся примеры коррозионных исследований покрытий, проведённых в ИФХЭ РАН.

Ключевые слова: конверсионные покрытия, фосфатирование, химическое оксидирование

Поступила в редакцию 02.02.2026 г.; После доработки 02.02.2026 г.; Принята к публикации 24.03.2026 г.

doi: [10.61852/2949-3412-2026-4-1-115-129](https://doi.org/10.61852/2949-3412-2026-4-1-115-129)

Введение

Активное развитие фосфатирования как метода противокоррозионной защиты стали началось в 1930–40-ые годы XX века. Как отмечал Г.В. Акимов в своей книге, являющейся основополагающей работой по этому методу получения конверсионных покрытий: «Фосфатирование – один из наиболее распространённых современных способов защиты стальных деталей массового производства от действия атмосферной коррозии» [1]. Эта формулировка остаётся правильной и теперь, с той лишь разницей, что данный метод усилиями отечественных электрохимиков успешно распространён и на другие металлы, включая цинк, алюминий, магний и их сплавы.

Суть процесса фосфатирования состоит в том, что в результате воздействия растворов фосфорной кислоты и её кислых солей на поверхности металла образуются тонкие, но достаточно адгезионно прочные, пористые оксидные плёнки малорастворимых фосфатов. Механизм процесса при этом можно

представить следующим образом: дигидро-ортофосфаты железа (II) и марганца общей формулой $Me(H_2PO_4)_2$ в воде подвергаются гидролизу, образуя дву- и трехзамещённые фосфаты, которые нерастворимы в воде, согласно реакциям 1 и 2:



Образование фосфатной плёнки можно считать вторичным процессом, которому предшествует электрохимическое растворение железа. Во время процесса оксидирования/фосфатирования на анодных участках происходит растворение железа согласно реакции 3, а на катодных – выделение водорода (реакция 4):



Так как железо, перешедшее в раствор, связывает фосфорную кислоту, то равновесие реакций 1 и 2 сдвигается вправо. Выпадение осадка происходит преимущественно в слое на поверхности железа, где и образуется плотная кристаллическая фосфатная плёнка. По мере кристаллизации поверхность железа всё более изолируется от раствора, скорость процесса падает и, наконец, процесс останавливается, о чём можно судить по завершению выделения пузырьков водорода. Применение радиоизотопного метода исследований подтвердило правильность трактовки механизма фосфатирования, как вторичного процесса: в составе фосфатов защитной плёнки обнаружено железо, ранее перешедшее в раствор [2]. При фосфатировании происходит непрерывное уменьшение концентрации дигидроортофосфата, уменьшается и концентрация одновалентных ионов $H_2PO_4^-$. В итоге концентрация ионов водорода во время протекания процесса остаётся практически постоянной, а pH раствора колеблется в пределах 0,1 [3].

Фосфатные покрытия имеют мелкокристаллическую структуру. На величину кристаллов влияет pH и характер подготовки поверхности. Толщина фосфатной плёнки с тонкой структурой составляет 2–4 мкм, более грубой – 9–11 мкм и защитная способность её – ниже. В процессе образования плёнки происходит снижение толщины самого металла, примерно на 50% от толщины плёнки. Фосфатные конверсионные покрытия могут применяться [4]:

- для получения защитных покрытий на поверхности стальных изделий и из цветных металлов с обязательной их обработкой в растворах ингибиторов коррозии, например, хроматных солей и гидрофобизирующих составов;
- для повышения защитной способности цинковых и других металлических покрытий, осаждаемых электрохимическим методом;
- в качестве промежуточных покрытий для повышения адгезии и защитной способности лакокрасочных покрытий (ЛКП);
- в качестве антифрикционных покрытий с целью уменьшения износа

деталей машин, работающих на трение;

- в качестве временных покрытий для облегчения операций при выполнении процессов волочения, штамповки, глубокой вытяжки и холодной обработки металлов;
- в качестве теплоустойчивых покрытий, выдерживающих длительный нагрев (до 350–500°C более 100 ч);
- для получения электроизоляционного слоя;
- для увеличения глубины и твердости азотированного слоя;
- для изоляции участков деталей при цинковании, нанесении оловянных и свинцовых покрытий.

Начало исследования процессов фосфатирования

Первые обобщения исследований фосфатирования металлов были выполнены Ю.Р. Эвансом в 1920–30-ых годах [5]. В СССР практическое применение фосфатирования и самих фосфатных покрытий стало возможно после работ Г.В. Акимова и его сотрудников [1, 6–10]. Г.В. Акимов сформулировал следующие требования к фосфатным конверсионными покрытиями и описал особенности их защитных свойств:

- наилучшую защитную способность проявляют фосфатные плёнки промежуточной толщины. Слишком тонкие не затрудняют диффузию коррозионной среды к металлу, а слишком толстые неравномерны по структуре и не имеют достаточной прочности;
- слои, прилегающие к металлу – мелкокристаллического строения, более отдаленные – крупнокристаллического, слабые в коррозионном отношении. При длительном фосфатировании коррозионная стойкость покрытия резко снижается;
- прекращение выделения водорода свидетельствует об окончании процесса фосфатирования. Однако целесообразно его прерывать несколько ранее, чтобы пленка не оказалась рыхлой;
- фосфатные покрытия нуждаются в пропитке растворами неорганических ингибиторов и органических веществ (консервационных составов). Возможны другие методы повышения защитных свойств фосфатных плёнок.

Исходя из этого, Г.В. Акимов с сотр. предположили, что возможно использовать, так называемое, «неполное» фосфатирование, резко сократив его время и усилив защитные свойства тонкой фосфатной плёнки при помощи неорганических ингибиторов. Так были заложены основы дальнейшего развития метода ускоренного фосфатирования черных металлов. Для пропитки (наполнения пор) фосфатных покрытий Г.В. Акимов предложил использовать растворы хроматных солей.

В этот же период времени в США был распространен крайне несовершенный способ фосфатирования, который назывался «бондеризация». Он отличался тем,

что в оксидирующий раствор вводили добавки соединений меди (окись или карбонат меди), окислители (нитриты и др.) и органические соединения [11]. Процесс образования такой фосфатной плёнки проходил по тем же реакциям, но введение соединений меди вызывало её контактное осаждение на поверхности железа, что в свою очередь приводило к росту числа катодных участков. В результате медь включалась в состав конверсионного покрытия, достигая 20% от содержания в ней соединений марганца, увеличивала его электропроводность, но одновременно и длительность процесса фосфатирования. Аналогичного эффекта можно было добиться введением в оксидирующий состав ионов серебра [12].

Общая схема установки для фосфатирования, применяемая в лаборатории Г.В. Акимова, показана на рисунке 1. Во всех исследованиях Г.В. Акимов с сотр. использовали препарат Мажеф. Это комплексная соль гидроортофосфатов железа и марганца общей формулой: $n\text{Fe}(\text{P}_2\text{O}_4)_2 \times m\text{Mn}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$.

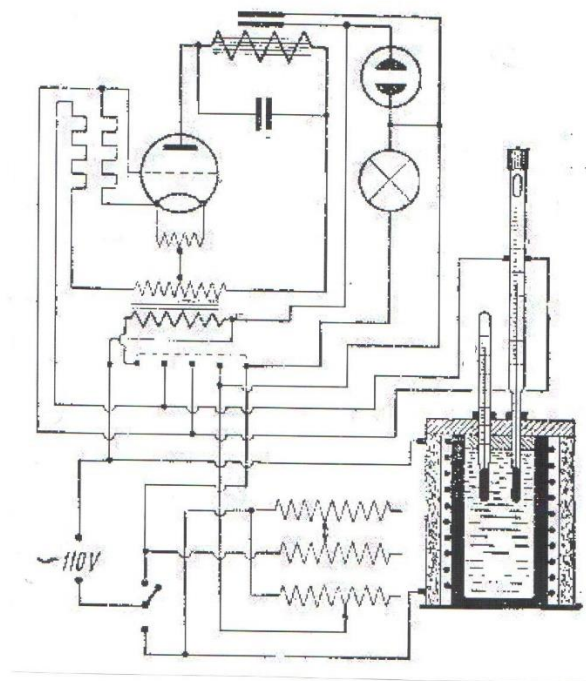
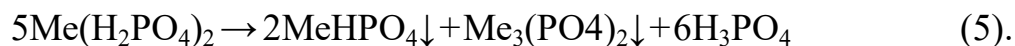


Рисунок 1. Общая схема установки, на которой проводились исследования процессов фосфатирования Г.В. Акимовым с сотр. [1].

Мажеф в водных растворах гидролизует согласно реакции 1, но при увеличении температуры раствора далее гидролиз идёт согласно реакции 5:



Г.В. Акимов и Е.Н. Палеолог, исследовавшие фосфатную плёнку, на железе обнаружили три разновидности участков, различных по кинетике процесса [10]. Анодные - в порах плёнки, катодные - тоже в порах и участки, покрытые плёнкой. Анодные участки выявлялись в виде синих бугорков при незначительной анодной поляризации образца и действии реактива, содержащего железосинеродистый калий. Катодные - при невысокой катодной поляризации образца в

однонормальном растворе сульфата меди выявлялись в виде многочисленных выделений меди. Анодные и катодные участки не совпадали друг с другом, причём возле анодных участков плотность катодных была понижена. Потенциал металла, покрытого плёнкой, определяется как абсолютным количеством, так и соотношением анодных и катодных участков. При фосфатировании происходило изменение количества и соотношения анодных и катодных участков, в результате чего наблюдалось изменение потенциала.

Ранее было установлено, что потенциал железа в процессе «бондеризации» в первые две минуты изменялся от $-0,294$ В до $-0,244$ В, в течение последующих двух–трёх минут до $-0,178$ В и спустя ещё полторы минуты достигал значения $-0,163$ В, практически не изменяясь в дальнейшем [13]. Эти данные совпадают с результатами коррозионных испытаний, проведенных Г.В. Акимовым с сотр. Потери массы плёнки уменьшались с увеличением длительности фосфатирования только в течение первых пяти минут процесса и оставались далее практически постоянными. Таким образом, процесс «бондеризации» завершался в течение пяти минут. В опытах Г.В. Акимовым с сотр. был использован следующий состав: Мажеф 30–33 г/л, CuO 0,3–0,5 г/л, CaO до 3 г/л, температура оксидирования 96 – 98°C . Было изучено влияние концентрации кристаллогидрата сульфата меди (рисунок 2а) и окиси кальция (рисунок 2б) на длительность фосфатирования. Минимальное время фосфатирования (5–6 мин) во втором случае достигалось при концентрации CaO 1,6 г/л. Полученные при этом фосфатные плёнки мелкокристаллической структуры чёрного и серого цвета, по коррозионной стойкости в 3% NaCl превосходили покрытия, полученные в процессе «бондеризации».

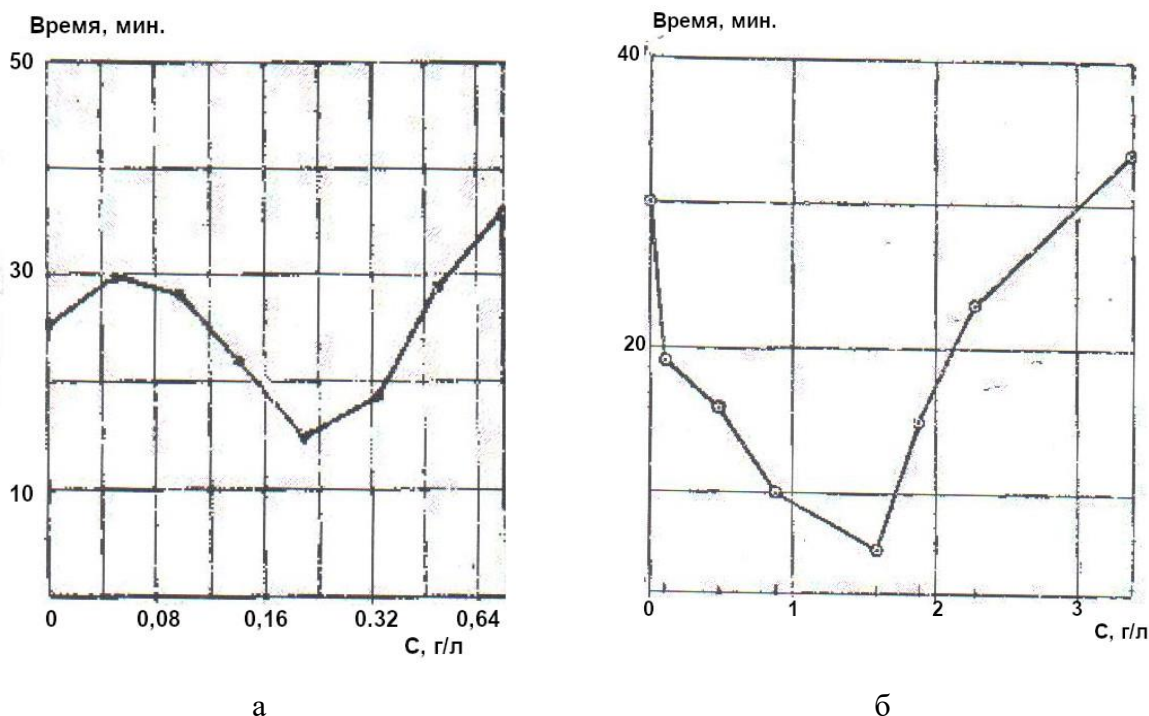


Рисунок 2. Влияние концентрации сульфата меди (а) и оксида кальция (б) на длительность процесса фосфатирования в препарате Мажеф.

Все дальнейшие исследования по фосфатированию в растворах с солями меди показали бесперспективность такого технологического процесса из-за его сложности, особенно в части корректировки концентраций и многокомпонентности растворов. Получаемые осадки низкого качества были малопригодны в качестве подслоя под окраску [14].

Процессы фосфатирования, применяемые в промышленности

Фосфатные пленки, осаждаемые по методу Г.В. Акимова, пропитанные соединениями хрома, показали высокие защитные свойства стальных деталей в условиях атмосферной коррозии. Г.В. Акимов отмечал, что реализация процессов фосфатирования на практике, например, для защиты взрывателей снарядов и авиабомб в Великую Отечественную войну позволила сократить расход цветных металлов (латуни, бронзы), потребляемых ранее для данной цели в огромных количествах. Дальнейшее совершенствование фосфатирования привело к созданию целого ряда различных методов. На некоторых из них, получивших широкое распространение в промышленности, остановимся в настоящем обзоре.

Фосфатирование в нагретых растворах наиболее часто используется в промышленности. Например, применяется оксидирующий состав с 20–40 г/л препарата Мажеф, 1,5–3,5 точек кислотности (количество 0,1н раствора NaOH в мл на титрование 10 мл раствора фосфатирования), без перемешивания при 92–98°C в течение 1 ч. В этом растворе получают покрытия, содержащие соли железа и марганца. Для фосфатирования высоколегированных сталей в раствор вводят дополнительно 1–15 г/л хлорида бария. Выделяющийся водород, насыщая поверхностные слои, может проникать в металл, вызывая его охрупчивание. Наблюдалось снижение предела выносливости сталей 30ХГСА и 12ХНЗА до 50%. Для уменьшения эффекта наводороживания снижают время процесса, вводят в раствор ингибиторы, а в методику – операцию нагрева по завершению фосфатирования [15].

Ускоренное фосфатирование ведут в растворах, содержащих нитраты. Введение в раствор препарата Мажеф с концентрацией 50–70 г/л нитрата цинка и повышением кислотности до 5/5 точек позволяет сократить время процесса до 10–20 мин. В таком растворе допускаются наносить покрытия на ответственные детали, например, пружины из проволоки диаметром сечения более 0,5 мм. Для улучшения структуры осадка в раствор можно ввести 0,1 г/л оксалата цинка.

Холодное фосфатирование – более экономичный процесс в сравнении с другими, так как раствор оксидирования сохраняется длительное время, не требуется дополнительных затрат по технике безопасности (усиления местной вентиляции, укрытия ванн и т.п.). Он используется при нанесении покрытий методом струйного напыления, а также при исправлении дефектов и восстановлении покрытий в условиях ремонта и эксплуатации. Наиболее простым раствором холодного фосфатирования является однокомпонентный, содержащий 200 г/л препарата Мажеф. Его выгодно использовать в ремонтной практике, так как после нанесения пленки на металл можно не промывать поверхность изделия

[16].

Фосфатирование в растворах концентратов применяется, в основном, для защиты от коррозии углеродистых и низколегированных сталей перед нанесением ЛКП. В промышленности используются растворы на основе концентратов фосфатов – КФ-1 и КФ-3, для подготовки поверхностей перед холодной деформацией – КФЭ-1, КФЭ-3 и для предотвращения задигов в процессе предработки – КПФ-1. КФ-1 наносится преимущественно напылением, остальные – погружением в раствор. Применение концентратов позволяет значительно упростить корректировку растворов при эксплуатации. [17, 18]. Модификация поверхности таких покрытий нанесением гидрофобизирующих составов типа ГКЖ-10, -94 и (или) жидкими ингибированными маслами типа К-17, КАМ-25 позволяет получать покрытия, способные сохранять изделия в жестких условиях эксплуатации (тропики, воздействие микроорганизмов) [19].

Наложение тока (**электрохимическое фосфатирование**) даёт возможность получить комбинированные покрытия с высокой защитной способностью. Однако в этом случае процесс усложняется и удорожается [1].

Процесс химического осаждения конверсионных покрытий на основе фосфатов металлов из растворов, содержащих соли бария получил название **оксидного фосфатирования**. Для получения мелкокристаллического осадка на шлифованной и полированной поверхности стальных изделий применяют растворы фосфорной кислоты или монофосфатов металлов с добавками нитратов бария, кальция, стронция. При температуре 80–85°C и времени оксидирования 5–10 мин получают покрытия толщиной 5–6 мкм. Они имеют высокие защитные свойства: при неполном погружении в водопроводную воду коррозия появляется на 9–12 сут. В интервале температур 73–78°C в течение 3–5 мин образуются мелкокристаллические покрытия, устойчивые при аналогичном режиме испытаний в течение 5–6 сут. Покрытия в основном содержат трудно растворимые двузамещённые фосфаты бария, поэтому имеют высокую термостойкость. Введение в фосфатирующий раствор нитратов кальция способствует еще большему повышению термостойкости осаждаемого конверсионного покрытия, а добавление окиси марганца позволяет повысить их защитную способность [20–22]. Сравнительные лабораторные коррозионные испытания фосфатных и оксидофосфатных покрытий в ИФХЭ РАН и натурные испытания в тропиках республики Куба показали высокую эффективность таких покрытий [23, 24].

Особенности процессов фосфатирования цинка и алюминия

Для фосфатирования **цинка, сплавов на его основе и цинковых покрытий** применяются, в основном, два раствора, один из которых цинк-содержащий, а второй бесцинковый [25]:

- Состав цинк-содержащего раствора: цинка монофосфат 40–60 г/л, цинка нитрат 80–110 г/л, натрия нитрит 0,4–0,6 г/л;
- Состав бесцинкового раствора: кальция нитрат 60–80 г/л, натрия

монофосфат 10–12 г/л, натрия нитрат 10–14 г/л, натрия нитрит 0,4–0,6 г/л.

В первом растворе процесс ведут при температуре 35–45°C в течение 4–5 мин. Для улучшения структуры осадка возможно наложение постоянного или переменного тока, плотностью 1,2–1,6 А/дм². Масса плёнки при этом увеличится в 1,5–2 раза. Осадки включают ортофосфат цинка и двойную соль натрий-цинк ортофосфата. Во втором растворе осаждение фосфатных покрытий проводят при аналогичном режиме, за исключением температуры, которую повышают до 55–65°C. Плёнки формируются только из двойной соли кальций-цинк ортофосфат. Структура их мелкокристаллическая однородная.

В [26, 27] были исследованы особенности нанесения фосфатных покрытий на не полностью оцинкованные поверхности стали. Проведены потенциометрические исследования процесса фосфатирования (рисунок 3). Было показано, что для получения высококачественных покрытий на поверхности цинка и стали при их контакте необходимо поддерживать соотношения концентраций ионов фосфата и цинка около 1,5:2,5 и рН 2,5–3, либо осуществлять процесс фосфатирования в потенциостатическом режиме при потенциале в интервале значений –0,7 – –0,6 В.

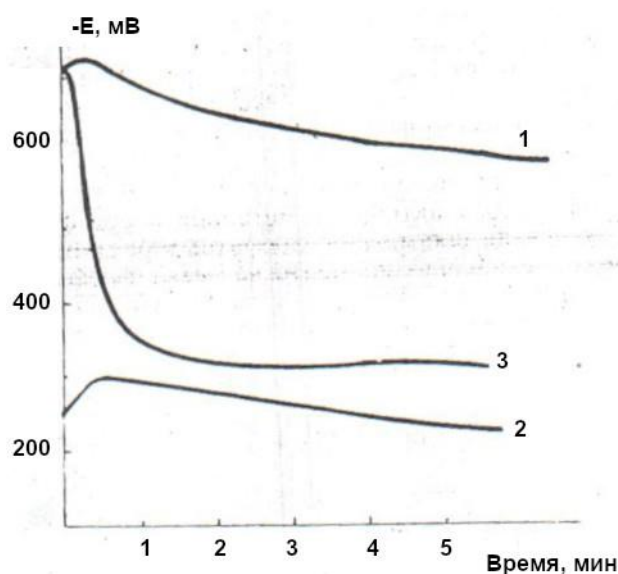


Рисунок 3. Изменение потенциалов электродов в процессе фосфатирования: 1 – цинкового, 2 – стального, 3 – биметаллического «цинк-сталь».

Фосфатирование **алюминиевых сплавов** проводят в растворах, содержащих фосфорную кислоту, ангидрид хромовой кислоты или бихромат калия и фторид натрия. Качество получаемых покрытий зависит от соотношения фтор- и хром-содержащих солей в растворе. Это соотношение необходимо поддерживать в интервале 0,15–0,40. Повышенная концентрация фторидов ведет к получению рыхлых пленок и растравливанию алюминия, а недостаточная – приводит к осыпанию покрытия. Толщина фосфатных покрытий на алюминиевых сплавах лежит в диапазоне 2–12 мкм. Сами покрытия состоят из фосфатов алюминия и хрома, и при этом содержат воду. Соотношение этих трёх компонентов колеблется

в пределах: 15–25, 50–55, 20–35% соответственно. Фториды алюминия, хрома и кальция составляют менее 0,5%.

Получаемые покрытия устойчивы в воде, растворах щелочей и кислот и органических растворителях, защищают металл от расслаивающей и контактной коррозии. При струйном фосфатировании можно получить более компактные и плотные пленки, а в саморегулируемом растворе фосфатирования – плотные защитно-декоративных покрытия с электроизоляционными свойствами [28, 29].

Представляет интерес оксидирование алюминиевых сплавов в препарате Мажеф следующего состава (г/л): Мажеф 60–80, нитрат цинка 50–120, оксид цинка 5–10, фторид натрия 2–10, добавки ПАВ (полиэтиленгликолевых эфиров алкилфенолов) 0,5–1,5. В этом растворе можно фосфатировать алюминий по неудаленным продуктам коррозии, с последующим нанесением ЛКП [30]. Ещё один метод для ремонтных работ – натирание поверхности специальной щеткой. Для этого целесообразно использовать растворы холодного фосфатирования. Наиболее простой из них – однокомпонентный препарат Мажеф, концентрацией 200–220 г/л.

Дополнительная обработка фосфатных покрытий

Фосфатные плёнки, как все конверсионные покрытия, являются пористыми, поэтому нуждаются в дополнительной обработке в пассивирующих растворах, гидрофобизации или нанесении на их поверхность ЛКП.

Наиболее широкое распространение для обработки фосфатных пленок получили хроматирующие растворы с содержанием бихромата калия (или натрия) 3–5 г/л (малоконцентрированный) и 80–100 г/л (концентрированный). Наполнение ведут химическим путем при pH 5–6 и температуре 70–80°C 1–3 мин в первом и 8–12 мин – во втором составах. Пассивирующие растворы используются для заключительной обработки конверсионных покрытий перед промывкой и сушкой. Они позволяют повысить защитные свойства покрытий от атмосферной, микробной и расслаивающей коррозии. Также для наполнения можно использовать ингибиторы коррозии, проявляющие кроме того биоцидные свойства, например, гуанидин хромовокислый, ництедин (1,6-дигуанидиногексан дигидрохлорид), метацид (полигексаметиленгуанидин гидрохлорид), ВНХЛ-20, ВНХЛ-49, ИФХАН-25 и другие. Для обработки приповерхностной пористости могут быть применены кремнеорганические соединения ГКЖ-10, ГКЖ-94, ГКЖ-134 и водно-восковые составы ПЭВ-74, ИФХАН-29, ЗВВД-13, ИВВС-Ф [31, 32].

Коррозионные испытания фосфатных покрытий

Известно большое количество разных методов оценки защитной способности фосфатных пленок, но общее признание получил экспресс-метод, разработанный Г.В. Акимовым совместно с А.А. Ульяновым [9, 15]. Его применяют на различных производствах и в лабораториях по настоящее время. Сам метод достаточно прост по исполнению: нанесение капли реагента, составленного смешиванием трех

растворов, на поверхность фосфатного покрытия, ограниченную восковым карандашом. По времени изменения цвета судят о коррозионной стойкости покрытия (таблица 1). Для испытания используют реагент следующего состава: 0,4М CuSO₄ – 40 мл, 10% раствор NaCl – 20 мл, 0,1М HCl – 0,8 мл. Нанесенная на фосфатное покрытие, капля раствора изменяет цвет от светло-синего до жёлто-зелёного. Фиксируется время этого изменения в мин.

Таблица 1. Критерии оценки защитных свойств фосфатных пленок, согласно методике Г.В. Акимова.

Время до изменения цвета капли, мин	Защитная способность фосфатного покрытия	Балл
Более 5	Высшая	5
От 4 до 5	Нормальная	4
От 2 до 4	Средняя	3
От 1 до 2	Пониженная	2
Менее 1	Низкая	1

В ИФХЭ РАН проводились различные лабораторные испытания фосфатных покрытий. Результаты некоторых из них представлены на рисунках 4–6. На рисунке 4 показано, что наивысшую защитную способность по методу Г.В. Акимова имеют оксидофосфатные покрытия, полученные по патенту Ф.Ф. Ажогина [20, 21] на Ст3 и обработанные составом ГКЖ-94.

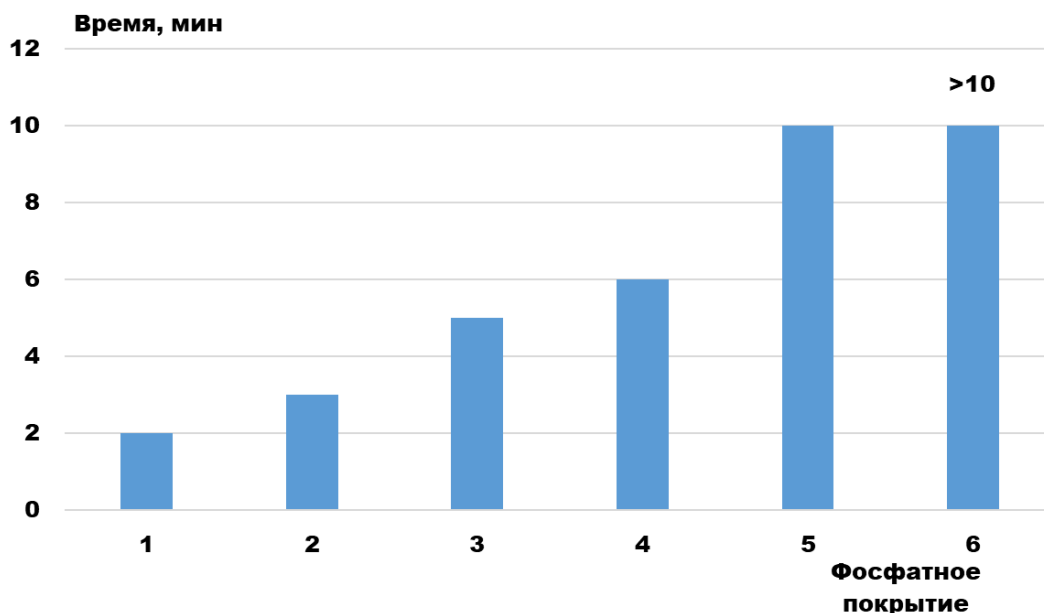


Рисунок 4. Результаты испытаний методом Г.В. Акимова защитной способности фосфатных покрытий, нанесённых на пластины Ст3: 1 – фосфатирование в препарате Мажеф; 2 – ускоренное фосфатирование (цинка монофосфат 10–20 г/л, натрия нитрат 25–35 г/л); 3 – тоже с хроматной пассивацией; 4 – оксидное фосфатирование по методу Ф.Ф. Ажогина [20]; 5 – тоже с хроматной пассивацией; 6 – тоже с дополнительной обработкой составом ГКЖ-94.

Результаты лабораторных коррозионных испытаний образцов с фосфатными покрытиями методом неполного погружения в техническую водопроводную воду, приведены на рисунке 5. Высокую защитную способность проявили оксидофосфатные покрытия, обработанные ингибированным гидрофобизирующим составом ИФХАН-29.

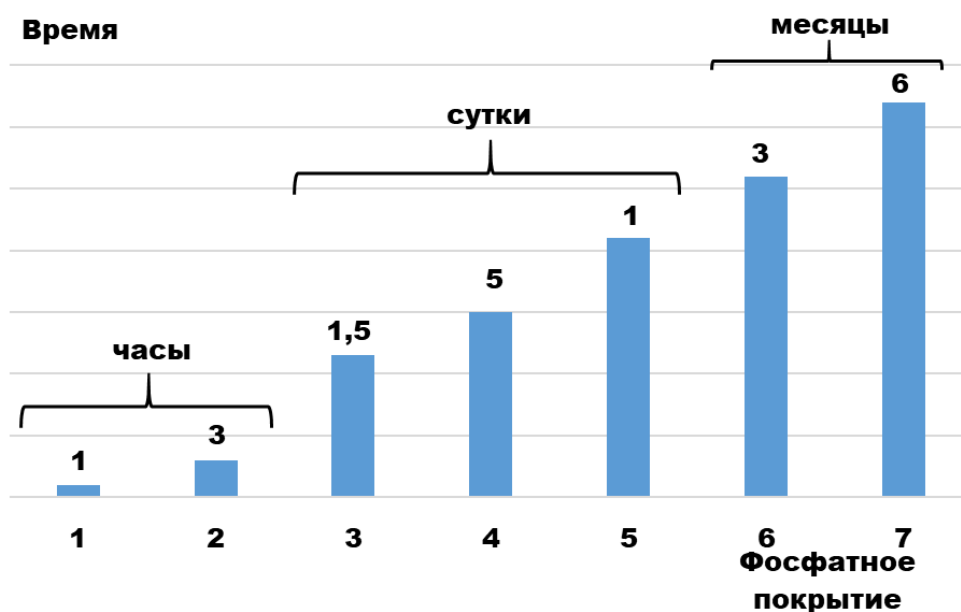


Рисунок 5. Результаты испытаний методом неполного погружения в водопроводную воду фосфатных покрытий, нанесённых на пластины стали марки 30ХГСА: 1 – образец без покрытия; 2 – оксидирование в горячей щёлочи [28]; 3 – ускоренное фосфатирование (цинка монофосфат 10–20 г/л, натрия нитрат 25–35 г/л); 4 – оксидное фосфатирование по методу Ф.Ф. Ажогина [20]; 5 – тоже с хроматной пассивацией; 6 – тоже с дополнительной обработкой составом ГКЖ-94; 7 – тоже с обработкой ингибированным водно-восковым составом ИФХАН-29.

На рисунке 6 представлены лабораторные коррозионные испытания образцов комбинированных покрытий, полученных нанесением фосфатного конверсионного покрытия на предварительно оцинкованную электрохимическим методом поверхность стальных пластин. Испытания проводили в 3%-ном растворе NaCl методом переменного погружения. Наивысшую устойчивость проявили конверсионные покрытия, обработанные защитным составом ИВВС-Ф. Стальные пластины с такими покрытиями сохраняли свои защитные свойства против атмосферной коррозии в тропических условиях более 3 лет [23, 24].

Таким образом комплексные исследования фосфатных покрытий в ИФХЭ РАН, проведённые Г.В. Акимовым с сотр., позволили определить базовые составы фосфатирования сталей, охарактеризовать кинетику получения конверсионных покрытий, определить их состав и строение, разработать методы коррозионного контроля. Всё это заложило основу для активного применения фосфатных покрытий в промышленности. Дальнейшее изучение фосфатных плёнок в ИФХЭ РАН и других научных учреждениях привело к разработке процессов фосфатирования различного назначения, в том числе, для получения покрытий на

других металлах помимо стали.

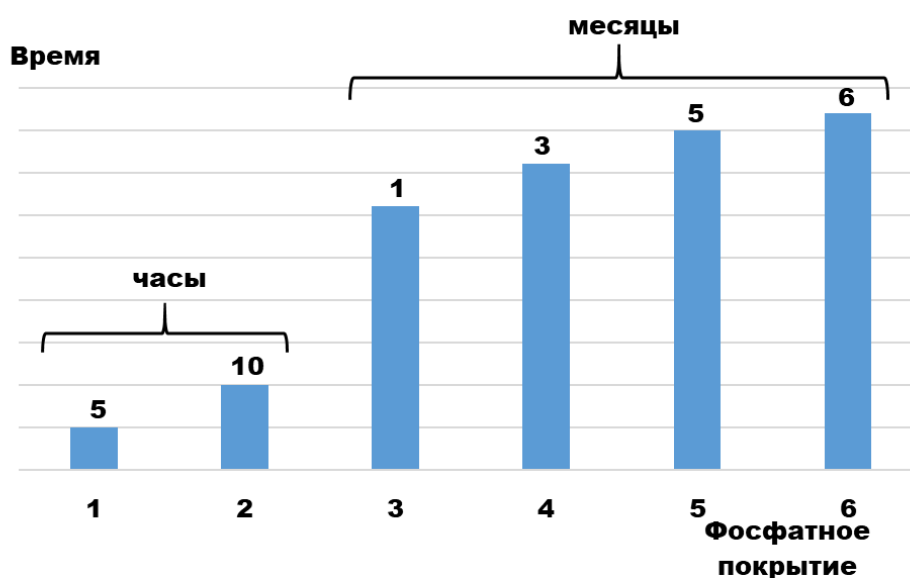


Рисунок 6. Результаты испытаний методом переменного погружения в 3% раствор NaCl фосфатных покрытий, нанесённых на пластины оцинкованной стали марки 30ХГСА: 1 – без фосфатного покрытия; 2 – тоже с хроматной обработкой; 3 – ускоренное фосфатирование (цинка монофосфат 10–20 г/л, натрия нитрат 25–35 г/л); 4 – оксидное фосфатирование по методу Ф.Ф. Ажогина [20] с хроматной пассивацией; 5 – тоже с обработкой ингибированным водно-восковым составом ИВВС-Ф; 6 – оксидное фосфатирование (цинка монофосфат 10–15 г/л, аммония монофосфат 10–15 г/л, магния нитрат 50–70 г/л) с хроматной пассивацией и обработкой ингибированным водно-восковым составом ИВВС-Ф.

Благодарности/Финансирование

Работа выполнена в рамках Госзадания при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Список литературы

1. Ускоренные методы защиты изделий от коррозии, сб. статей, под ред. чл.-кор. Акад. наук СССР Г.В. Акимова, Москва, Ленинград: издательство АН СССР, 1946, 163 с.
2. С.L. Eisler and P.G. Chamberlain, Radiometric study of phosphating problems, *Metal Finishing*, 1952, **50**, No. 6, 113–116
3. В.И. Вульфсон, Защитные фосфатные покрытия на железе, Труды 2-й конференции по коррозии металлов. Москва, Ленинград: издательство АН СССР, 1941, **2**, 159–160
4. А.А. Герасименко, *Электрохимические покрытия*, Вакаяма: Ниссо-цусинся, 1994, 467 с. (На японском яз.).
5. Ю.Р. Эванс, *Коррозия, пассивность и защита металлов*, Москва: Металлургиздат, 1941, 888 с.

6. Г.В. Акимов, *Теория и методы исследования коррозии металлов*, Москва; Ленинград: Изд-во Акад. наук СССР, 1945, 414 с.
7. Г.В. Акимов, *Основы учения о коррозии и защите металлов*, М.: Металлургизд, 1946, 464 с.
8. Г.В. Акимов и А.А. Ульянов, Инструкция по ускоренному фосфатированию стальных деталей, В сб. «Ускоренные методы защиты изделий от коррозии» Москва, Ленинград: издательство АН СССР, 1946, С. 120
9. Г.В. Акимов и А.А. Ульянов, Инструкция по ускоренному методу определения коррозионной стойкости фосфатированных деталей, В сб. «Ускоренные методы защиты изделий от коррозии» Москва, Ленинград: издательство АН СССР, 1946, С. 117
10. Г.В. Акимов и Е.Н. Палеолог, Электрохимия защитных плёнок на металлах. I. Исследование плёнок на алюминии и фосфатированном железе, *Докл. АН СССР*, 1946, **51**, №4, 291–294.
11. Л.И. Каданер, *Защитные плёнки на металлах*, Харьков: ХГУ, 1956, 284 с.
12. И.И. Хаин, Влияние различных добавок при фосфатировании металлов, *Журнал прикладной химии*, 1946, **19**, №5–6, 527
13. W. Mchu, Beschleunigte und verzögerte Phosphatierungsmethoden, *Korrosion und Metallschutz*, 1941, No. 5, 157
14. В.С. Лапатухин, *Фосфатирование металлов*, Москва: Машгиз 1958, 294 с.
15. И.И. Хаин, *Теория и практика фосфатирования металлов*, Л.: Химия 1973, 310 с.
16. М.И. Емелин и А.А. Герасименко, *Защита машин от коррозии в условиях эксплуатации*, М.: Машиностроение 1980, 220 с.
17. Гальванические покрытия в машиностроении, *Справочник. В 2-х т. Под ред. М.А. Шлугера*, М. Машиностроение 1985, **2**, С.52
18. А.П. Светлаков, *Повышение защитной способности фосфатных покрытий путем модификации элементо-органическими соединениями*, Автореф. канд. дис. М.: МВМИ, 1984, С.18.
19. *Способ оксалатного фосфатирования*: пат. SU 150725 A1 СССР. З.П. Бехтина, Ф.Ф. Ажогин и Л.И. Прибылова; опубл. 10.11.1962.
20. Ф.Ф. Ажогин, *Коррозионное растрескивание и защита высокопрочных сталей*, М.: Металлургия, 1974, 256 с.
21. А.А. Герасименко, Оксидное фосфатирование деталей, *Бюллетень технико-экономической информации*, М.: ГОСИНТИ, 1966, №10, 3–632.
22. И.Ф. Назаренко, *Результаты натуральных испытаний материалов техники при эксплуатации и хранении в тропических условиях Республики Куба. Гавана, МКУ*, 1985, 86 с.
23. Э.М.Р. Брикует, *Отечественные производственные материалы для длительной консервации. Куба. Гавана, ЦНТИ ВиТ*, 1990, 14 с.
24. Г.И. Ибрагим, *Формирование фосфатных покрытий на цинке с оптимизацией составов и режимов для повышения защитных свойств*, Автореф. канд. дис. М.: МИСиС, 1984, 22 с.

25. Н.В. Газеева, *Исследование процесса совместного фосфатирования цинка и стали*, Автореф. канд. дис. Свердловск: УНЦ ИЭ АН СССР, 1983, 20 с.
26. Н.В. Газеева, Р.Ю. Бек и Г.В. Косолапов, Потенциометрические исследования цинкфосфатного раствора, *Известия СО АН СССР*, 1983, серия хим. наук, **2**, С.136.
27. А.А. Герасименко, Конверсионные покрытия металлов, *Обзорная информация*, М.: ГОСИНТИ, 1979, **2**, 36 с.
28. М.И. Емелин и А.А. Герасименко, *Защита машин от коррозии в условиях эксплуатации*, М.: Машиностроение, 1980, 220 с.
29. *Раствор для фосфатирования алюминия и его сплавов*: пат. SU 840199 А1 СССР. Р.И. Гудкова, В.В. Романов, В.А. Стельмахук и Л.Т. Смола; опубл. 23.06.1981.
30. *Защита от коррозии, старения и биоповреждений машин, оборудования и сооружений. Справочник. В 2-х т. Под ред. А.А. Герасименко*, М.: Машиностроение, 1987, **1**, 684 с, **2**, 788 с.
31. *Способ получения коррозионностойкого покрытия на изделиях из черных металлов и сплавов*: пат. RU 2129621 Российская Федерация. Б.Л. Александров и В.А. Гостенин; опубл. 27.04.1999.

History of the development of corrosion studies of metals at the Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry of the Russian Academy of Sciences. Phosphate treatment of metals and alloys

S.V. Oleynik and **Yu.A. Kuzenkov**

*Frumkin Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry of the Russian Academy of Sciences (IPCE RAS), Leninsky Prospekt 31, building 4, Moscow, 119071 Russia
E-mail: osvpkz@outlook.com*

Abstract

The review is devoted to the history of phosphate treatment of metals and alloys, the basis for the industrial application of which was laid by the staff of the Institute of Physical Chemistry of the USSR Academy of Sciences in the first half of the twentieth century. The results of their work were the discovery of a method of accelerated phosphating, which makes it possible to obtain more corrosion-resistant coatings, the development of methods for additional coating treatment, and the creation of a method for express analysis of phosphate films protective properties. The review briefly describes the most popular industrial phosphate treatments, the features of zinc and aluminum phosphate treatment, and provides examples of corrosion studies of phosphate treatment coatings conducted at IPCE RAS.

Keywords: *aluminum alloys, conversion coatings, phosphate treatment, chemical oxidation*