

Цинк-ламель: новая эпоха защиты металла в России

Автор статьи: Крепак Максим Александрович, генеральный директор ООО «АнтикорТех»

Соавтор: Дмитриева Кристина Олеговна, ООО «Альянс Инвест»

Когда речь заходит о защите металла от коррозии, инженерное сообщество привыкло оперировать понятными величинами: толщина слоя в микронах, часы в камере солевого тумана, цена за килограмм крепежа. Существует негласная аксиома, ставшая почти индустриальным рефлексом: «чем толще слой цинка, тем дольше простоят изделие».

Однако последние десятилетия на передний край антикоррозионной обороны выходит технология, которая ломает этот стереотип. Цинк-ламель — покрытие-парадокс. Толщиной всего 8–12 микрон (тоньше человеческого волоса) оно способно защищать крепеж десятилетиями, безопасно применимо к высокопрочным сталям, пластично в работе и заставляет по-новому взглянуть на принципы антикоррозионной химии.

Что это за технология? Почему производители метизов, однажды попробовавшие цинк-ламель, редко возвращаются к традиционной гальванике, термодиффузии или горячему цинку? И как получилось, что в России, где еще 10–15 лет назад не было ни оборудования, ни технологов, сегодня существуют собственные патентованные решения и готовность строить «цеха под ключ»?

Разбираемся с точки зрения физики процесса, реального производства и технологической эволюции, которая происходила буквально на наших глазах.

Не слой, а архитектура, как устроена цинк-ламель

Чтобы понять уникальность цинк-ламели, нужно заглянуть в ее микроструктуру. В отличие от классического гальванического покрытия, которое представляет собой сплошной металлический слой, наращенный атом за атомом, цинк-ламель — это композит.

Представьте себе множество мельчайших чешуек цинка размером в несколько микрон, склеенных специальным полимерным связующим. Эти чешуйки укладываются внахлест, подобно черепице на крыше или пластинчатому доспеху средневекового рыцаря. Именно такая архитектура создает сразу два механизма защиты:

Системы нанесения ламельного покрытия цинка
Типичная схема распределения слоев покрытия



Ученые замеряли скорость убывания цинка в слое толщиной около 10 микрон в реальных условиях эксплуатации.

Путем экстраполяции полученных данных они вышли на срок службы покрытия около 30 лет.

Первый уровень защиты — это барьерный. Представьте себе лабиринт: молекулам воды, кислорода и агрессивных электролитов (хлоридов, сульфатов) крайне сложно найти путь к поверхности металла сквозь многослойную «чешую», которая к тому же скреплена полимером. Покрытие получается герметичным. Это и есть та самая «броня». Влага просто не может пробиться сквозь эту структуру. Даже если на поверхности появляются микротрещины, путь к металлу оказывается настолько извилистым, что коррозионный процесс либо не запускается вовсе, либо сильно тормозится.

Но идеальных покрытий и условий не бывает, поэтому есть еще и протекторная (катодная) защита, которая действует, как электрохимическая ловушка. В реальной жизни, в процессе монтажа, транспортировки или эксплуатации неизбежно возникают микротрещины, сколы или точечные повреждения. Цинк в составе покрытия более электроотрицателен, чем железо. Если влага все-таки добирается до стали, цинк становится анодом, а железо — катодом. И цинк начинает «жертвовать» собой, он отдает электроны и переходит в раствор, а железо остается защищенным. Все окислительные процессы оттягиваются на цинк. До тех пор, пока в покрытии есть цинк, корродирует он, а не основное

изделие. Это работает как жертвенный анод. Когда цинк в покрытии полностью окислится, только тогда начнет ржаветь железо.

Исследования, проведенные в том числе по заказу производителей цинк-ламельных покрытий в институте им. Мельникова, дают впечатляющие цифры. Ученые замеряли скорость убывания цинка в слое толщиной около 10 микрон в реальных условиях эксплуатации. Путем экстраполяции полученных данных они вышли на срок службы покрытия в районе 30 лет. Три десятилетия защиты при толщине, которую невооруженным глазом почти не видно! Только после этого срока, когда цинковый запас будет исчерпан, начнет корродировать основное железо. Но к тому моменту крепеж, скорее всего, переживет само изделие, которое он скреплял.

Парадокс толщины: почему 10 микрон лучше 100

Один из главных мифов, который разрушает технология цинк-ламель, касается толщины покрытия. Интуитивная и рыночная логика часто подсказывает: чем толще слой, тем надежнее защита. Но в мире метизов и крепежа это работает далеко не всегда.

Гальванический цинк в толщине 6–10 микрон часто оказывается уязвим. При накручивании гайки или завинчивании самореза твердый, но хрупкий гальванический слой может «свинчиваться», повреждаться, и в месте повреждения защита теряется локально. Горячий цинк дает слой от 40 до 100 микрон и больше — это надежно, но такая толщина часто забивает резьбу, особенно на мелких метизах. Монтажник с ключом может просто не повернуть крепеж, либо резьбу заклинит.

Цинк-ламель решает же эту проблему «элегантно и технологично». Оптимальная толщина, к которой пришли методом проб и ошибок — это около 10 микрон. Почему именно эта цифра стала «золотой серединой»?



M2 - M3 покрытые цинк-ламелью



Покрытие цинк-ламель: 4 слоя

Коррозионная стойкость. При такой толщине покрытие стабильно обеспечивает защиту в камере нейтрального солевого тумана на уровне 720 часов и выше. По факту, во многих испытаниях протоколы показывают, перевалив за 1000 часов. Этого с запасом хватает для 99,9% промышленных задач, включая самый требовательный автопром, где требования к коррозионной стойкости крепежа традиционно одни из самых жестких.

Пластичность и «саморегулирование». В отличие от твердого гальванического слоя, цинк-ламель мягкая и пластичная — это ключевое свойство. Если на резьбе оказывается лишнего 2–3 микрона, они не ломают инструмент и не заклинивают соединение. При первом же завинчивании, даже вручную, без ключа, лишнее покрытие легко срезается, как масло. А то покрытие, которое остается в зазорах и на рабочих поверхностях резьбы (те самые необходимые 5–10 микрон), продолжает работать десятилетиями.

Экономика стабильности, почему не стоит «делать хуже». Любопытный факт, что с точки зрения производственной экономики работать в одном стабильном «золотом» режиме выгоднее, чем подстраиваться под клиента, который просит «сделайте 480 часов, нам не нужны ваши 720».

При толщине в 10 мкм, покрытие стабильно обеспечивает защиту в камере нейтрального солевого тумана на уровне 720 часов и выше.

Этого с запасом хватает для 99,9% промышленных задач.

На первый взгляд, клиент хочет сэкономить, получив покрытие «попроще». Но технологическая реальность цинк-ламель диктует обратное. Перенастройка линии под другую толщину — это

смена вязкости суспензии, изменение частоты оборотов центрифуги, коррекция времени выдержки, а иногда и изменение рецептуры. Все это требует времени, остановки производства, дополнительного контроля качества. В итоге стоимость перенастройки и риск брака оказываются выше, чем просто сделать покрытие с запасом прочности. Таким образом, клиент получает лучшую защиту за те же деньги, а иногда даже дешевле, чем если бы он настаивал на индивидуальном режиме — это классический пример того, как унификация и оптимизация процесса идут на пользу и производителю, и заказчику.

История вопроса: рождение технологии для автопрома

Цинк-ламель не была изобретена вчера и не является результатом модных лабораторных экспериментов. У этой технологии глубокая история, и она родилась из жесткого промышленного запроса.

Случилось это примерно 50 лет назад. В США, а параллельно в Европе и Японии, когда автопром столкнулся с дилеммой. С одной стороны, инженерам нужен был крепеж из высокопрочной стали — болты, шпильки, гайки, которые выдерживают огромные нагрузки. С другой стороны, этот крепеж должен был не ржаветь в течение всего срока службы автомобиля. И третье, самое сложное условие, после нанесения антикоррозионного покрытия высокопрочная сталь должна сохранить свои механические свойства.

Водородное охрупчивание — «невидимый убийца» и тут традиционные решения дают сбой. Что это означает на практике? Деталь становится хрупкой, как стекло. Она может разрушиться под нагрузкой без видимых признаков коррозии, без пластической деформации, внезапно и катастрофически. Для ответственного крепежа в узлах подвески, двигателя и тормозной системы это абсолютно неприемлемо. Классы прочности 10.9, 12.9 и выше — это зона, где водородное охрупчивание является критическим риском.

Именно тогда и было разработано цинк-ламельное покрытие. Технология исключает водородное насыщение, нанесение — это физико-механические процессы (окунание в суспензию, удаление избытка на центрифуге), полимеризация — термический (нагрев в печи без электролиза). Плюс ко всему, коррозионная стойкость цинк-ламели оказалась в 10 раз выше, чем у того же гальванического цинка.

Так родился стандарт, который сегодня применяется практически во всех автомобилях мира, хотя большинство водителей даже не подозревают, что болты под капотом их машины покрыты именно цинк-ламелью.

*Водородное охрупчивание —
«невидимый убийца» и тут традиционные
решения антикоррозионной защиты
дают сбой.*

Узкое место технологии: температура решает все

У технологии цинк-ламель есть своя «ахиллесова пята» — это зависимость от температуры. Полимеризация связующего, которое скрепляет цинковые чешуйки, происходит при температуре около 220°C — это и накладывает факторы ограничения. Представьте себе масштаб - покрыть целиком автомобильный кузов или мостовую ферму цинк-ламелью! Но пока это невозможно, для этого нужна печь гигантских размеров, но и сам кузов таких температур, скорее всего, не выдержал бы. Отсюда весь мировой рынок бьется над созданием состава, который бы полимеризовался при комнатной температуре или хотя бы при более низкой, чем 220°C. Пока решения нет. Экспериментальные партии таких покрытий существуют, но они либо теряют в стабильности, либо не дают нужной коррозионной стойкости, либо физические свойства самого покрытия оказываются не на должном уровне. Поиски продолжаются, и если решение будет найдено, применение цинк-ламели станет поистине универсальным — от крошечного винтика М2 до крупногабаритных металлоконструкций.

Соблюдение технологии - обязательно! К чему может привести ее нарушение:



Цинк-ламель из Китая

***Цинк-ламель некоторых
отечественных производителей***

И даже сейчас, при существующей технологии и оборудовании есть свои тонкости и нюансы, особенно связанные с печным хозяйством, когда воздух «может обманывать». Стандартные промышленные печи, которые предлагаются на рынке, часто измеряют температуру воздуха, а не температуру металла или обрабатываемого продукта. Это критическое различие. Датчик показывает заветные 220°C, оператор выдерживает положенное время, но внутри загрузки (особенно если это массивные метизы или плотно уложенные шайбы) металл может прогреться всего до 150–180°C. В результате полимеризация не завершается, покрытие недопекается, его защитные свойства снижаются.

Решение этой проблемы пришло через простое, но гениальное действие, когда мы взяли ртутный термометр, приложил его к металлу внутри печи и обнаружил разницу в 40–70 градусов. После этого ценного наблюдения печь претерпела серьезные изменения, и система управления усложнилась: теперь контроль температуры в разных зонах печи (верх, низ, центр) и управлять временем выдержки по среднему значению прогрева металла. Повторюсь, такие доработки — это не покупное решение, а результат собственной инженерной мысли, которая рождалась на производстве из реальной потребности.

Таблица 1 – Результаты коррозионных испытаний деталей в нейтральном соляном тумане

№	Время до крайней коррозии, часы	Внешний вид болтов по окончании экспозиции в соляном тумане (5% NaCl)
1	753	
2	824	
3	824	
4	1058	
5	1058	

Результаты коррозионных испытаний в нейтральном соляном тумане, проведенные в 2025 году в ООО «Химсинтез»

С более подробным содержанием данного протокола, а также с испытаниями за другие годы можно ознакомиться на сайте компании ООО "АнтикорТех"

Лабораторные ловушки или как не попасть на удочку некорректных испытаний

В профессиональной среде регулярно возникают споры: корректно ли оценивать антикоррозионную защиту по испытаниям в камере солевого тумана? Скептики говорят, что это «не та» проверка, что реальные условия эксплуатации сильно отличаются. Но на самом деле проблема не в методе, а в чистоте эксперимента и в том, как интерпретируются результаты.

Для цинковых покрытий, и особенно для цинк-ламели, важен только нейтральный солевой туман (NSS).

И камера для него должна быть «нетронутой», то есть в ней никогда не производили кислые тесты.

Еще одна показательная история из нашего опыта. Клиент принес протокол испытаний, согласно которому покрытие цинк-ламели показало красную ржавчину через 4 часа. Четыре часа! Для цинк-ламели, которая стабильно держит 720 часов и более, это абсурд. Начали разбираться. Оказалось, что предприятие, проводившее испытания, специализируется на кислотном солевом тумане. В этой камере регулярно проводились агрессивные тесты, а потом туда загрузили образцы с цинк-ламелью для нейтрального теста. Остатки кислоты на стенках и внутренних элементах камеры сделали свое дело, нейтральный солевой туман перестал быть нейтральным. Эмоциональная, но точная реакция любого технолога: «Вы химики и технологи или кто? Школьная химия и то нам подскажет, что это что-то не то. Вы должны были не протокол подписывать, а задать себе вопрос: все ли тут нормально и корректно? Что это невозможно».

Нейтральная и кислотная камера солевого тумана, давайте разбираться в чем особенность и разница. Для цинковых покрытий, и особенно для цинк-ламели, важен только нейтральный солевой туман (NSS). И камера для него должна быть «нетронутой», то есть в ней никогда не производили кислые тесты. Если камера работала с кислыми растворами, ее нельзя применять для нейтральных испытаний, сколько ее ни промойвай. Это должны быть две отдельные и независимые камеры. Если это условие соблюдено, тест становится тем самым «общим знаменателем»,

который позволяет честно сравнивать разные типы покрытий: гальванический цинк, термодиффузионный, горячий цинк и цинк-ламель.

И еще важно понимать, что соляной туман не дает ответа на вопрос: «Сколько лет простоит болт под открытым небом?». Он не подтвердит, что 720 часов в камере — это 10 лет на улице или 30. Это просто единый измеритель коррозионной стойкости, позволяющий сравнивать покрытия между собой в стандартизированных условиях. Для прогноза реального срока службы нужны дополнительные исследования, например те самые, которые проводил институт Мельникова, экстраполируя скорость убывания цинка.

Самый сложный метиз – простая шайба. От ручной раскладки до патента

Одна из самых сложных задач, как в цинк-ламельном производстве, так и в любом другом — это покрытие шайб. Казалось бы, простая плоская деталь, но именно она стала настоящим вызовом для технологов.

Почему шайбы так сложно покрывать? Ответ снова в физике процесса. Шайба — это две большие плоские поверхности с минимальным зазором. Когда на них нанесен вязкий, еще не полимеризованный состав, между шайбами возникают мощные капиллярные силы. Они притягиваются друг к другу, и шайбы слипаются в монолит. Если такую «колбаску» отправить в печь, состав полимеризуется, и шайбы превращаются в каменный блок, который невозможно разделить без повреждения покрытия. Особенно коварны широкие грузовые шайбы DIN 9021. У них огромная площадь соприкосновения, и капиллярные силы там максимальны. С ними не справляются даже конвейеры с перепадом высоты, которые иногда используют для «разбивания» слипшихся деталей.

На многих предприятиях проблему решают... ручным трудом. На некоторых предприятиях стоят люди, которые ножами разделяют «колбаски» шайб



***Шайбы, покрытые цинк-ламелью
на производстве ООО "АнтикорTex"***

— и это считается нормой, хотя покрытие в местах разрезов нарушается – это нужно понимать. Другой вариант, виброконвейеры со ступенчатыми перепадами высот. Эти механические воздействия должны способствовать разделению шайб и других плоскостных метизов. Однако, и тут, как показывает практика, количество слипшихся достигает 30–40%.

Наш личный опыт – это эволюция от 200 кг ручного труда к запатентованному решению. Когда мы столкнулись с заказом на 200 кг шайб в 2016 году и были вынуждены раскладывать каждую шайбу вручную – это был адский труд, который занял огромное количество времени и сил. Но именно он подтолкнул к созданию собственной технологии. Сначала появился первый прототип и пилотная версия устройства, которое позволяло разделять шайбы до полимеризации. Потом доводка, эксперименты, поиск оптимальных режимов. Годы работы над технологией. Итогом стал промышленный образец, запатентованный в 2024 году. Запатентовано не только оборудование, но и сама технология, как именно наносить покрытие на шайбы, чтобы они не слипались. Результат действительно стоящий, если у конкурентов брак по слипанию может достигать десятки процентов, то на нашем производстве брак сведен к единичным экземплярам на партию (2–3 слипшиеся шайбы на тонну).





Сферы применения или вы это видели 1000 раз, но не знали

Список применений цинк-ламели сегодня охватывает практически все, где требуется долговечность и сохранение прочностных характеристик. Но есть несколько неочевидных ниш, где это покрытие показывает себя особенно эффективно.

Автопром — это классика жанра, здесь цинк-ламель стала стандартом де-факто. Высокопрочные болты классов прочности 10.9 и 12.9, которые идут в подвеску, двигатель, тормозную систему, покрываются только цинк-ламелью. Гальваника недопустима из-за риска водородного охрупчивания. Это самый массовый сегмент применения.

Деревянное домостроение и обработка. Казалось бы, дерево — это естественный, экологичный материал, но для металлического крепежа некоторые породы древесины являются крайне агрессивной средой. Особенно это касается дуба. Дубильные вещества (танины), содержащиеся в древесине, вступают в химическую реакцию с цинком и железом, «сжедая» гальваническое покрытие за год-два. Обычный оцинкованный саморез, вкрученный в дуб, может просто исчезнуть через сезон. Именно для дубовых окон и фасадов заказывают специальные саморезы с цинк-ламельным покрытием. Здесь работает не столько

цинк, сколько полимерное связующее, которое изолирует металл от агрессивных дубильных веществ. Без такого покрытия дорогой деревянный оконный блок может оказаться в зоне риска.

Фасадные системы. Для навесных вентилируемых фасадов, особенно в условиях промышленного города или морского климата, коррозионная стойкость крепежа — критический параметр. Цинк-ламель здесь применяется активно, потому что она сочетает долговечность с эстетикой — покрытие имеет равномерный матовый цвет, который не выделяется на фасаде.

Судостроение и портовое оборудование. Морская соль — один из самых агрессивных коррозионных факторов. Цинк-ламель с ее двухступенчатой защитой показывает здесь отличные результаты. Особенно для крепежа, который работает в зоне переменного смачивания.

Электроэнергетика и ветряки. Ветряные электростанции, опоры ЛЭП, оборудование подстанций — везде, где доступ к крепежу затруднен, а отказ может привести к аварии, выбирают покрытие с прогнозируемым сроком службы 30 лет.

Экология как конкурентное преимущество

В эпоху, когда экологические требования ужесточаются с каждым годом, цинк-ламель оказывается в выигрышной позиции. Если вынести за скобки подготовку поверхности (обезжиривание), то сам процесс нанесения покрытия и его полимеризации является практически безотходным.

Вся суспензия, которая содержит цинковые чешуйки и связующее, полностью переходит в покрытие на метизах. Летучие органические растворители, которые создают характерный запах на производстве, безвредны для человека, как говорится: «Запах есть, вреда нет». В составе цинк-ламельного покрытия нет шестивалентного хрома, который является токсичным и канцерогенным. Нет тяжелых металлов, которые требуют сложной утилизации.

Основной источник отходов — это щелочное обезжиривание и механическая подготовка, но и эти отходы являются малоопасными легко подвергаются обработке и процессу утилизации.

В Европе, откуда отчасти технология пришла в Россию, экологичность была одним из ключевых условий внедрения цинк-ламели. Европейские производители, начиная с 70-х годов, искали альтернативу гальванике с ее хромовыми стоками и кадмиевыми покрытиями. И технология цинк-ламели стала ответом на этот запрос.

В России это становится важным аргументом для предприятий, которые хотят работать «на опережение» экологических требований без дополнительных капитальных затрат на очистные сооружения.

Особенность российского рынка метизов и доступное оборудование

Одна из ключевых особенностей российского рынка метизов — это разноразмерность. В одной загрузке, может быть, до сотни разных видов крепежа: болты, гайки, шайбы, шпильки, саморезы разных типоразмеров. Партии могут составлять от нескольких килограммов до нескольких тонн. Именно с этой реальностью столкнулись производители, когда начали искать оборудование для цинк-ламель.

Китайские производители предлагают гигантские линии с проходными печами, рассчитанные на сотни тонн одного типоразмера крепежа. Это идеальное решение для завода, который штампует 500 тонн одного болта в месяц. Но для российского производства, где заказ может быть на 50 кг шайб, потом на 200 кг саморезов, потом на 10 кг уникальных шпилек — это неэффективно. Перенастроить такую линию под новую партию — это часы простоя, смена вязкости, настройка центрифуги, калибровка. Экономически это нецелесообразно.

Европейское оборудование существует, но оно дорогое, и после 2022 года доступность его ограничена, как и во многих сегментах промышленности. Кроме того, европейские линии тоже часто заточены под определенные типы загрузок и не обладают той гибкостью, которая нужна для работы с мелкими партиями разнообразной номенклатуры.

Одна из ключевых особенностей российского рынка метизов — это разноразмерность.

В одной загрузке, может быть, до сотни разных видов крепежа: болты, гайки, шайбы, шпильки, саморезы разных типоразмеров.

Партии могут составлять от нескольких килограммов до нескольких тонн.

В этой ситуации оставался один путь — создавать собственное оборудование, рассчитанное именно на гибкость и разноразмерность нашего рынка. И этот путь был пройден, он был долгим и состоял из нескольких этапов.

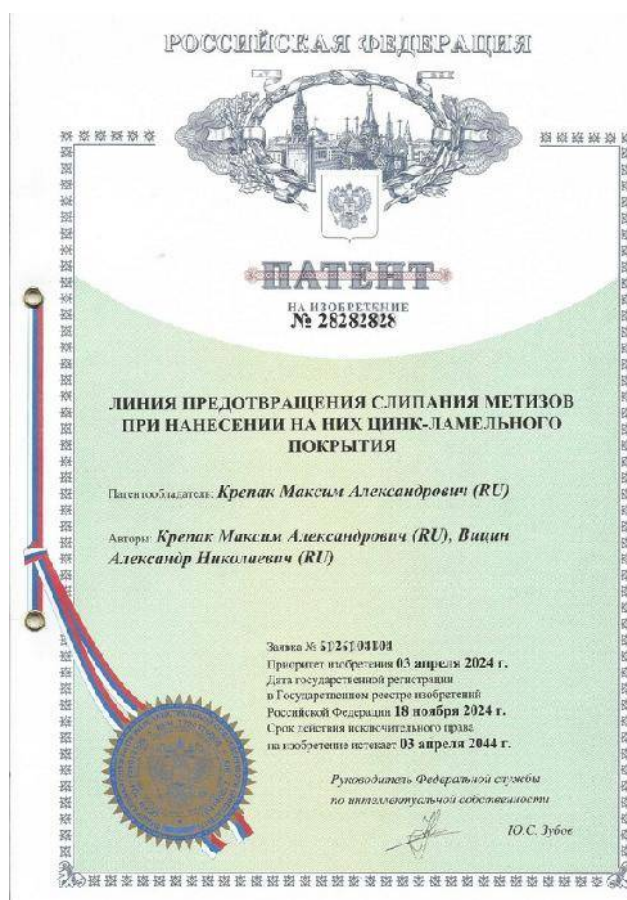
Этап 1: Переделка готового. Сначала были

попытки адаптировать существующее оборудование. Центрифуги, которые ломались, потому что не были рассчитаны на реальные нагрузки. Печи, которые недопекали покрытие, потому что мерили воздух, а не металл. Каждый узел требовал доработки.

Этап 2: Заказ по своим спецификациям. Когда стало понятно, что переделывать готовое — это тупиковый путь, нашли партнера, который изготовил центрифугу по заданным параметрам. Она работала, но все равно были нюансы: какие-то узлы оказывались недостаточно надежными, какие-то технические решения неоптимальными.

Этап 3: Своя разработка. И вот, примерно полтора года назад, родилась идея спроектировать центрифугу и другое оборудование с нуля. С учетом всех реальных нагрузок, которые возникают при работе с разными типами метизов. С узлами, чей ресурс точно известен и просчитан. С конструкцией, которая обеспечивает легкую перенастройку под разную номенклатуру.

Итогом многолетней работы по отладке технологии и созданию собственного оборудования стала не только стабильная услуга по нанесению защитного покрытия, но и готовность передавать накопленный опыт.





В 2024 году нами был запатентован не просто состав или метод нанесения, патент охватывает оборудование и технологию в комплексе. Это уникальная ситуация для российского рынка, где обычно либо покупают импортные линии, либо используют кустарные решения.

Это важный этап развития антикоррозионной технологии в России и то, что 10–15 лет назад отсутствовало как класс (ни специалистов, ни оборудования), сегодня может быть воспроизведено на других площадках - накопленный опыт становится достойным примером и доступным для бизнеса.

АнтикорТех
Цинк-ламельные
покрытия

Контакты для связи

Сайт компании: <https://zinklamel.ru/>

Электронная почта: info@antikortech.ru

Телефон для связи: +7(911)122-55-08

Фотоматериалы для публикации
предоставлены Крепаком М.А.

Контактные данные для связи
опубликованы с его разрешения



Искренняя благодарность Максиму Александровичу за содержательную статью, открытый профессиональный диалог и подробную экскурсию по производству и самой технологии. Такой обстоятельный и практический подход позволяет нам всем увидеть цинк-ламель не как абстрактное решение в антикоррозионной защите, а как живую, развивающуюся инженерную систему.

Мы рассчитываем на продолжение этого диалога. Технология остается относительно молодой, но уже сейчас к ней проявляется устойчивый интерес, как со стороны бизнеса, так и со стороны потребителей и производителей метизной продукции.

Также команда Цинк+ выражает благодарность Боброву Михаилу Николаевичу, кандидату технических наук, преподавателю кафедры "Технологии электрохимических производств" и Санкт-Петербургскому государственному технологическому институту (техническому университету) за содействие, организацию знакомства и возможность этой встречи.

Именно такие связки, между производством, инженерной экспертизой и научной средой, формируют основу для развития технологий в России.

Цинк-ламель - это технология не только для метизной продукции

