



# ГОРЯЧЕЕ ИЛИ ХОЛОДНОЕ ЦИНКОВАНИЕ?

**Споры на тему горячего и холодного цинкования не утихают уже много лет. Основанием для них служат чаще всего отсутствие системного подхода, неудачное копирование чужого опыта без учета условий нанесения покрытий и их эксплуатации, просто анекдотические слухи, и гораздо реже - факты. Не говоря уже о том, что сам термин «холодное цинкование» имеет довольно неопределенное значение.**



Статистика – вещь упрямая, и факты, накопленные более чем за полстолетия независимыми специалистами, свидетельствуют о том, что оба метода имеют как преимущества, так и недостатки, но, в целом, не только конкурентоспособны, но и взаимно дополняют друг друга.

## ГОРЯЧЕЕ ЦИНКОВАНИЕ И ЦИНКОНАПОЛНЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

160-летняя успешная практика горячего цинкования металлоконструкций утвердила данный метод антикоррозионной защиты в качестве общепринятого стандарта, при этом фундаментальных изменений в самой технологии практически не произошло с момента ее появления. Такого внушительного послужного списка, как у горячецинкового покрытия, нет больше ни у какого другого. Задокументированы сроки его службы в течение 60 и даже 110 лет в различных климатических условиях – от сельской местности до морских тропиков. Вместе с тем, самое большое в мире здание и самое большое морское судно защищены от коррозии именно цинконаполненными покрытиями (ЦНП). При строительстве новых мостов применяются оба метода одновременно – в зависимости от конфигурации конкретных элементов конструкции. При восстановлении защитного покрытия на существующих конструкциях горячий метод неприменим в принципе, и здесь ЦНП несомненно лидируют - 90% стальных мостов в США окрашены цинксиликатными материалами.

Более того, не менее впечатляющим примером долговечности ЦНП является австралийский 460-километровый водопровод, покрытый цинксиликатным составом в период с 1942 по 1944 гг., и не подвергавшийся перекраске по сей день, чем

сегодня и знаменит. При этом изначальная толщина покрытия (всего 75 мкм) и сегодня остается неизменной, а нанесение его производилось в полевых условиях, когда еще не было ни абразивоструйной, ни краскораспылительной техники. Кроме того, что, по мнению специалистов, невозможно найти другой пример покрытия, нанесенного лакокрасочным методом и выдержавшего столь длительную эксплуатацию, оно еще прослужит неопределенно длительный срок. И пока неизвестно, является ли 110-летний рекорд горячецинкового покрытия абсолютным. Во всяком случае, среди приведенных в австралийском стандарте AS/NZS2132 (2002 г.) сравнительных данных, преимуществ ГЦ-покрытия перед цинксиликатным не наблюдается (см. таблицу 1).

Следует сразу четко определить, о сравнении с какими покрытиями идет речь применительно к горячему цинкованию. В вышеупомянутом стандарте не указываются ЦНП на основе органических

связующих (эпоксиды, полистирол, полиуретан и т.д.), и неудивительно - ЦНП отнюдь не являются единым классом материалов, и различные марки существенно отличаются по технологичности, а по долговечности могут различаться и вовсе на порядок. Это обусловлено, прежде всего, свойствами связующего и количеством металлического цинка, которое оно способно нести. Например, в сплошном ГЦ-покрытии цинка в два-три раза больше, чем в цинконаполненном, а в водоразбавляемом цинксиликатном – на 30-50 % больше, чем во всех остальных типах ЦНП. В конечном же итоге именно свойства связующего играют решающую роль, поэтому при сравнении в расчет принимаются только материалы на основе силикатного связующего, и прежде всего водоразбавляемого, исключительно в качестве самостоятельного покрытия. Именно они способны конкурировать с ГЦ-покрытием при столь значительном различии в содержании металлического цинка.

Таблица 1. Прогноз срока службы цинковых покрытий, лет:

ТИП ПОКРЫТИЯ	ТСП, мкм	СРОК СЛУЖБЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ АГРЕССИВНОСТИ СРЕДЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ						Очень высокая (морская)	Территориальные тропики
		Очень низкая	Низкая	Средняя	Высокая	Очень высокая (промышленная)			
Этилсиликатный органоразбавляемый	75	25+	15-40		10-15	5-10	2-5	2-10	10-15
Цинксиликатный водоразбавляемый	75	25+	40+		25-40	10-25	2-5	5-10	25-40
Горячее цинкование	85	25+	25+		25+	15-25	2-5	5-15	25+
Термическое напыление	100	25+	25+		25+	15-25	Не рекомендуется	5-15	25+



## ГОРЯЧЕЦИНКОВОЕ И ЦИНКСИЛИКАТНОЕ ПОКРЫТИЯ

В различных условиях эксплуатации каждый тип имеет явные преимущества перед другим, что обусловлено способом «закрепления» цинка на стальной поверхности. Если температура эксплуатации ГЦ-покрытия ограничена точкой плавления цинка (419°C), то цинксиликатное выдерживает временные воздействия температур до 540°C, когда сталь начинает светиться. В морской атмосфере и в пресной воде их поведение различается и вовсе диаметрально: в то время как горячецинкованные поручни на морских нефтедобывающих платформах корродируют через 5-8 лет, ЦС-покрытие даже на палубе танкеров служит более 20 лет. Однако при постоянном погружении в пресную воду ЦСП служит 4-6 лет, а горячецинковое – более 20. Для эксплуатации под землей ЦСП не рекомендуется вовсе, а эффективность горячецинкового зависит от типа среды и наиболее долговечно в щелочных и окислительных грунтах – до 15 лет.

Согласно некоторым данным, ГЦ-покрытие более стойко к истиранию, однако при этом не указываются марка и возраст цинксиликатного – в течение первых нескольких месяцев эксплуатации твердость ЦС-покрытия вырастает в 3-5 раз (в зависимости от начальной).

При испытаниях «Taber abrasion test» (воздействие вращающегося абразивного диска на аппарате «Taber Abrader») после 1000 циклов при нагрузке 1 кг специалистами компании «Amecon» B.V. (Нидерланды) получены следующие результаты: см. таблицу 2.

Очевидно, что по абразивной стойкости цинксиликатное покрытие на водной основе даже превосходит горячецинковое.

## МЕХАНИЗМ ДЕЙСТВИЯ РАЗЛИЧНЫХ ПОКРЫТИЙ

Действие всех покрытий, содержащих металлический цинк, основано на едином принципе – принесение в жертву менее благородного металла во имя сохранения более благородного, т.е. менее электроотрицательного. Однако их физико-химические механизмы работы различаются.

Вопреки распространенному мнению, ГЦ-покрытие состоит не из чистого цинка, а из четырех четко выраженных слоев, три из которых – железцинковый сплав. Оно защищает поверхность и как расходный анод, равномерно распределенный

по защищаемой поверхности, и как изолирующее покрытие. В умеренно коррозионных условиях на поверхности ГЦ-покрытия через 1-2 года образуется т.н. патина – слой оксида, гидроксида и карбоната цинка, защищающий его от чрезмерной атмосферной коррозии и который не следует удалять. Однако в морской атмосфере реакции проходят слишком быстро, что препятствует образованию достаточно плотного защитного слоя, и он легко выветривается. По мере истощения слоя чистого цинка и обнажения железцинкового сплава коррозия несколько замедляется. Долговечность ГЦ-покрытия зависит линейно от количества расходного анода на площадь поверхности, и одно из преимуществ такой системы состоит в ее предсказуемости - зная параметры среды эксплуатации и толщину покрытия, можно с достаточно большой точностью прогнозировать срок его службы, и наоборот (это можно сделать с помощью программы, размещенной на интернет-сайте <http://www.galvinfo.com:8080/zclp/servlet/zclp2.zclp2>).

Цинксиликатные покрытия работают в более экономичном режиме. Практически все они пористы, и поры могут составлять от 10 до 30% объема. На начальном этапе эксплуатации такое покрытие не обеспечивает изоляции подложки от проникновения электролита и защищает сталь по катодному механизму, т.е. цинк активно вступает в химические реакции, и поры заполняются продуктами его коррозии. Это многоступенчатый процесс: сначала образуются водорастворимые гидроксиды, которые далее реагируют с атмосферной углекислотой, образуя нерастворимые карбонаты. В конечном итоге оно уплотняется настолько, что из катодной фазы переходит в изолирующую (в морской атмосфере в присутствии солей этот процесс только ускоряется). С этого момента расход цинка практически прекращается, и катодный режим включается лишь в случае механического повреждения покрытия. Однако, поскольку для образования нерастворимых соединений требуется доступ углекислоты, погружные условия должны чередоваться с атмосферными. По этой причине все типы ЦНП не рекомендуются для постоянных погружных условий без дополнительной окраски, либо требуют предварительного старения в течение нескольких недель.

## ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ

В окрасочном производстве подготовка поверхности производится абразивоструйным

методом, преимущественно в минимально механизированных обитаемых камерах, нанесение материалов производится методом распыления, при этом потери составляют от 40% и более. Наличие органических растворителей в составе материалов требует дополнительных расходов на обеспечение экологической и пожарной безопасности, охраны труда. Окраска в несколько слоев с длительной промежуточной сушкой приводит к простому производственным площадям, что ограничивает производительность. Все это в итоге влияет на стоимость конечного покрытия.

Низкая стоимость и качество ГЦ-покрытия достигаются за счет высокой степени механизации, автоматизации производства и объемной обработки конструкций методом погружения. Вся поверхность конструкции покрывается равномерно, включая внутренние части, мелкие детали, особенно углы, чего трудно достичь при окраске. Поскольку расплав цинка ложится только на чистую стальную поверхность, также исключается вероятность сокрытия дефектов подготовки поверхности. В то время как ЦСП обычно требует дополнительной сушки, проверки толщины и исправления дефектов после транспортировки, при горячем цинковании конструкции готовы к эксплуатации фактически сразу после извлечения из ванны. Это в целом. Однако в частности все может выглядеть совсем иначе.

При соблюдении всех норм горячее цинкование позволяет получить покрытие заданной толщины, но дешевая сталь часто содержит высокий процент примесей кремния и фосфора. Скорость осаждения цинка на таких марках стали не поддается контролю, что приводит к неравномерному увеличению толщины покрытия. Это ведет не только к перерасходу цинка - чем покрытие толще, тем менее стойко к ударным нагрузкам. Высокая температура расплава может приводить к искривлению конструкций. В процессе травления имеет место водородное охрупчивание некоторых марок стали, что в ряде случаев делает применение травления невозможным. Цинковальные ванны содержат свинец, и в горячецинковом покрытии его в 5-10 раз больше, чем в ЦСП. Для предотвращения образования белой ржавчины в процессе хранения оцинкованных изделий все еще применяется дигидрат дихромата натрия, известный своим канцерогенным действием.

А некоторые цинксиликатные материалы не так неудобны в применении: водоразбавляемые не содержат органических растворителей и привлекательны в плане экологической, пожарной безопасности и охраны труда, быстро сохнут.

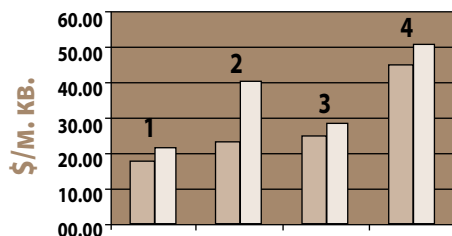
## ПРАКТИЧЕСКИЕ СООБРАЖЕНИЯ ПРИ ВЫБОРЕ МЕТОДА ЦИНКОВАНИЯ

Для сложных объектов целесообразно предусматривать оба метода защиты. Следует учитывать такие факторы, как конструкционные особенности,

Таблица 2. Результаты испытаний «Taber abrasion test».

Тип покрытия	Потери в массе	Потери в толщине покрытия
Чистая гладкая стальная поверхность	18,3 мг	2 мкм
Горячецинковое	45,0 мг	5 мкм
Хим. отверждаемое цинксиликатное (водоразбавляемое)	29,0 мг	5 мкм
Самоотверждаемое цинксиликатное (водоразбавляемое)	25,0 мг	3,5 мкм
Цинк-этилсиликатное	30,0 мг	5,5 мкм

График, отражающий начальную стоимость 1 кв.м различных покрытий (синий столбик) и затраты на их ремонт (красный столбик) в течение одинакового периода эксплуатации:



- 1 – На основе водоразбавляемого цинксиликатного  
 2 – Этилсиликатного+грунт+покрытие на основе железной слюдки  
 3 – Горячего цинкования  
 4 – Термического напыления

сложность формы и размер конструкции, расстояние до ближайшей цинковальной ванны и ее размеры, подлежит ли цинкованию вся конструкция, и насколько допустима ее термическая деформация (возможно, тонкие элементы следует закрепить на конструкции заранее), подходит ли выбранная марка стали для ГЦ. Формовку лучше произвести перед цинкованием, чтобы не нарушать покрытие; обеспечить свободный отток расплавленного цинка из полостей; увеличить размер отверстий с учетом толщины наносимого покрытия. Как правило, дешевле обходится оцинковать горячим методом небольшие изделия, особенно неправильной формы, например, поручень, уголок, открытую напольную решетку, лестницу, болт, гайку. Соответственно, дешевле очистить и окрасить ЦС-составом крупногабаритную конструкцию, трубопровод, емкость, судно и т.д. Холодное цинкование предоставляет большую свободу и гибкость, так как позволяет обрабатывать как новые, так и старые конструкции без демонтажа, в любое время, без нарушения графиков, какого бы то ни было ущерба качеству и расходов на транспортировку.

Цинкование внутренней поверхности трубы требуется не всегда или даже нежелательно, и в таком случае холодный метод может оказаться более экономичным.

### ЦЕНОВЫЕ СООБРАЖЕНИЯ

Традиционно горячецинковая промышленность рассчитывает стоимость услуг исходя из веса конструкции, а окрасочная – из площади окрашиваемой поверхности. Чем массивнее конструкция, тем меньше площадь ее поверхности, следовательно, дешевле нанести ЦСП, и наоборот. Чтобы определить удельную поверхность на 1 тонну металлоконструкций, при которой затраты на оба метода цинкования равны, нужно разделить стоимость ГЦ 1 тонны металлоконструкции на стоимость 1 м<sup>2</sup> ЦС-покрытия.

Например, при стоимости ГЦ = 730 USD/тн, ЦС-покрытие = 20 USD/м<sup>2</sup> площадь искомой удельной

Таблица 3. Сравнительные характеристики покрытий.

Цинксиликатное покрытие	Горячецинковое покрытие
<b>Достоинства</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Легко наносится на конструкции любых размеров</li> <li>• Для получения покрытия заданной толщины марка стали не имеет значения</li> <li>• Образуется сплошное покрытие на всей поверхности собранной конструкции, включая стыки</li> <li>• Не требует подготовки перед окраской ЛКМ</li> <li>• Температурная стойкость на уровне стали – выше горячецинкового покрытия</li> <li>• Стойкость в насыщенной солью среде в 2-3 раза выше ГЦ покрытия</li> <li>• Адгезия покрытия на химическом уровне (железо-силикатные связи)</li> <li>• Эффект дистанционной защиты – пропуски и участки повреждений не корродируют длительное время</li> <li>• По коэффициенту скольжения отвечает требованиям фрикционных зажимов, не требует дополнительной обработки</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Легко наносится на небольшие изделия</li> <li>• Дешевле ХЦ применительно к небольшим конструкциям сложной формы</li> <li>• Образуется сплошное покрытие на всех поверхностях, включая внутренние</li> <li>• Качество покрытия не зависит от уровня квалификации персонала</li> <li>• Адгезия покрытия на молекулярном уровне (сплав)</li> <li>• Более эстетичный внешний вид</li> </ul>
<b>Недостатки</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Зависимость качества от уровня квалификации персонала, необходимость контроля свойств конечного покрытия</li> <li>• Чувствительность к атмосферным условиям в момент нанесения и в начальный период формирования пленки, сезонность работ</li> <li>• Требовательность к подготовке поверхности</li> <li>• Ограничение по габаритам конструкций</li> <li>• Трудность окраски скрытых полостей и смежных плоскостей</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ограничение по габаритам конструкций</li> <li>• Толщина покрытия на стали с высоким процентом примесей кремния и фосфора не поддается контролю</li> <li>• Перед окраской ЛКМ требует дополнительной подготовки</li> <li>• Высокая температура расплава может приводить к искривлению конструкций</li> <li>• В процессе травления имеет место водородное охрупчивание некоторых марок стали, что делает невозможным его применение в ряде случаев.</li> <li>• Цинковальные ванны содержат свинец, в горячецинковом покрытии его в 5-10 раз больше, чем в ЦСС.</li> <li>• Для закалки и предохранения от образования белой ржавчины в процессе хранения применяется дигидрат дихромата натрия, известный своим канцерогенным действием.</li> <li>• Покрытие неремонтопригодно. Повреждения (напр. сварные швы) традиционно подкрашиваются цинконаполненными материалами</li> <li>• Требуется дополнительной обработки на участках фрикционных зажимов</li> </ul>

поверхности составляет 36,5 м<sup>2</sup>. При данном соотношении цен конструкцию с удельной площадью поверхности 37 м<sup>2</sup>/т дешевле оцинковать горячим способом, а 36 м<sup>2</sup>/т – покрыть цинксиликатным составом.

Кроме возможности нанесения на крупногабаритные конструкции, неоспоримым преимуществом ЦСП является общедоступность. Строительство цеха горячего цинкования обходится в миллионы евро, при этом стабильность заказов имеет огромное значение. Для нанесения же ЦНС подойдет любой абразивоструйно-окрасочный участок. При наличии дробемета и автоматизации окраски однотипных изделий (уголок, труба, брус дорожного ограждения) стоимость холодного цинкования может оказаться даже ниже горячего при обеспечении тех же антикоррозионных свойств.

### РЕЗЮМЕ

Определиться однозначно с выбором метода цинкования достаточно сложно, но зная их сильные и слабые стороны, их можно с успехом комбинировать. Для тех, кто рассматривает возможность организации цинкования собственными силами, тема далеко не исчерпана. В данной статье лишь обозначены возможности холодного метода, однако для его успешного практического применения следует более детально рассмотреть особенности морфологии различных цинконаполненных покрытий, различия в их назначении и технологии нанесения.

*Волосюк Вячеслав Федорович,  
 главный технолог УП «Мерлан К»,  
 г. Минск, Беларусь  
[www.zinc.open.by](http://www.zinc.open.by)*

# КРИТЕРИИ ВЫБОРА МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ХОЛОДНОГО ЦИНКОВАНИЯ

**В прошлом номере журнала мы попытались сравнить горячий и холодный методы цинкования. Как было отмечено в предыдущей статье, оба метода цинкования взаимно дополняют друг друга.**

Наиболее яркий пример заключается в следующем: горячецинковое покрытие имеет такой недостаток, как неремонтопригодность, и окрашивать поврежденные участки составами, содержащими металлический цинк, является вполне логичным решением проблемы.

Однако первый цинконаполненный состав, появившийся в начале 40-х годов, требовал термической обработки после нанесения, и применять для этих целей ЦНС стало возможным только после того, как лакокрасочная промышленность смогла предложить достаточно технологичные марки. Отсюда, собственно, и произошло их название как составов для холодного цинкования. Некоторые производители ЛКМ интерпретировали этот термин в выгодном для себя свете, и в результате сегодня так может называться любой ЦНС, независимо от его типа, а данный термин уже ошибочно понимается как общедоступный метод нанесения цинкового покрытия, т.е. как удобная альтернатива горячему цинкованию. Но полноценна ли такая замена?

## ПОНЯТИЕ «ЦИНКОВАНИЕ»

Прежде всего следует разобраться с терминологией. Раз уж один и тот же материал (цинк) может быть нанесен различными способами, то следует убедиться в равноценности получаемых покрытий. Под лужением или окраской подразумевается нанесение олова или краски. Следовательно, цинкование подразумевает нанесение цинка, и ни что иное. Если необходимо получить покрытие, сравнимое по долговечности с горячецинковым, и при этом требуется дополнительная окраска, то речь идет уже о комплексной системе покрытий (КСП), где функция цинкового грунта – защитить от подпленочной коррозии и последующего отслоения наружное изолирующее покрытие, а функция наружного покрытия – минимизировать доступ электролита к цинковому грунту, и тем самым сократить расход металлического цинка. Горячеоцинкованная сталь также может быть окра-

шена, что особенно рекомендуется в агрессивных условиях эксплуатации, но окраска не включается в понятие «цинкование» – такая система покрытий в мировой практике называется **дулексной**, и срок ее службы оценивается в сумму сроков службы каждого покрытия, умноженную на 1,5-2.

Следовательно, вести речь о холодном цинковании в чистом виде можно только применительно к монослойным покрытиям, сочетающим в себе обе эти функции. Из чего также следует, что если в качестве альтернативы горячему цинкованию предлагается КСП на основе цинкового грунта, то сам по себе такой грунт не сопоставим с ним.

## СВОЙСТВА ЦСС

Сегодня применение ЦНП для катодной защиты стали является твердо устоявшейся практикой, и даже многократный рост цен на цинк не оказал влияния на объемы их потребления. Но при всем своем многообразии они подразделяются на два основных типа: органические (эпоксидные, полиуретановые, полистирольные и т.д.) и неорганические (силикатные), что определяется природой их связующего.

В США при окраске новых сооружений, таких как мосты и оффшорные платформы, применяются в основном неорганические на основе этилсиликатного связующего. Эпоксидные (органические) используются только для ремонта покрытий, сильно поврежденных при монтаже. В Европе, наоборот, в основном, применяются эпоксидные ЦНС, особенно при окраске оффшорного оборудования в Великобритании и Норвегии. В Австралии широко распространены неорганические покрытия на основе жидких стекол.

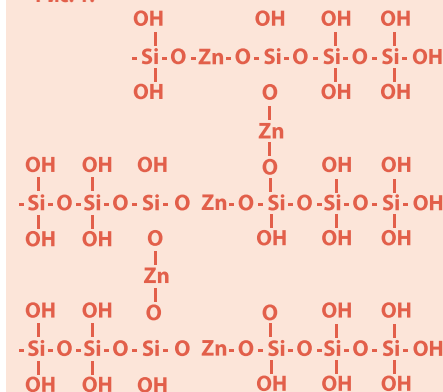
Возникает вопрос, чем обусловлена такая разница в предпочтениях – привычками или разницей в свойствах упомянутых материалов? В поисках ответа американскими и европейскими специалистами проведено много исследований в этой области. Сделан анализ свойств обоих типов покрытий как самостоятельных, так и в сочетании с финишными.



## СВЯЗУЮЩЕЕ

Содержание пигмента в ЦСС выше критической объемной концентрации пигмента (КОКП), что предъявляет повышенные требования к связующему. Несмотря на то, что покрытия на неорганической основе наносятся в жидком виде, по характеристикам они сходны с керамическими, получаемыми методом наплавления. Полимеризация силикатного связующего идет одновременно с химическими реакциями между ним, цинковым пигментом и стальной подложкой. В результате образуется сплошная, твердая, стойкая к истиранию электропроводящая полисиликатная матрица (рис. 1). Она очень инертна и не подвержена разрушению в условиях морского климата и большинства промышленных регионов, за исключением тех, где имеет место воздействие сильных кислот и щелочей (это относится ко всем ЦНП в большей или меньшей степени). ЦСС с хорошо сбалансированной рецептурой имеет отличную адгезию к стальной подложке, высокую термостойкость, твердость, стойкость к истиранию, сырой нефти и светлым нефтепродуктам, смазочным материалам и растворителям. Исключительная стойкость к радиации, включая проникающую, обеспечивают отличную атмосферостойкость и отсутствие таких дефектов, как меление, растрескивание и др. И что

Рис. 1.



особенно важно, ЦСП препятствуют распространению подпленочной коррозии.

Основой полимерной цепочки силикатного связующего является последовательность атомов кремния и кислорода: O - Si - O - Si - O - Si. Связующим же компонентом органических ЦНС являются органические смолы, основой полимерной цепочки которых является последовательность атомов углерода: - C - C - C - C. Прочность кремний-кислородной связи составляет 445 КДж/моль, а углерод-углеродной - 358 КДж/моль. Это означает, что для разрыва первой требуется большая энергия активации. Этим и объясняется более высокая стойкость полимеров на кремниевой основе. В то время как кремний-кислородный полимер не подвержен воздействию УФ-излучения, не вступает в реакцию с атмосферным кислородом и большинством окислителей (поскольку уже является оксидом), то органические связующие быстро выгорают и начинают мелить. **Скорость истощения эпоксидного покрытия под воздействием УФ-излучения может достигать 15 мкм в год, а толщина цинксиликатного покрытия знаменитого австралийского водопровода остается неизменной уже 66 лет.**

Как следствие, органические ЦНП требуют дополнительного защитного покрытия и предназначены для использования в качестве протекторного грунта. Широкому распространению они обязаны хорошей адгезией как к чистому металлу, так и к неметаллическим субстратам (ржавчине, окалине, прилегающим участкам старого покрытия). Однако это свойство не компенсирует дефекты подготовки поверхности (электрический контакт цинка со сталью является основным условием образования гальванопары). Поскольку эпоксидная смола является диэлектриком, содержание цинкового пигмента должно составлять не менее 90-95% по весу. Связующее покрытие не имеет химических связей с подложкой и цинковым пигментом, относительно пластично, и в условиях повышенной влажности по мере накопления продуктов коррозии цинка в его плоскости нарастает напряжение сжатия, проявляющееся вздутием и отслоением или расслоением. Это в итоге ведет к подпленочной коррозии. Органические грунты теряют свою катодную активность через несколько месяцев, недель или даже часов, т.е. преобразуются в покрытия изолирующего типа, уже не обеспечивающие должной катодной защиты даже на идеально подготовленной подложке. ЦСС же весьма толерантны в отношении концентрации цинкового пигмента в покрытии, поскольку это не отражается на их катодной активности, которую они могут сохранять до трех лет.

### ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ К ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ПОВЕРХНОСТИ РАСТВОРИМЫМИ СОЛЯМИ

Цинксиликаты менее чувствительны к наличию водорастворимых солей соляной кислоты на поверхности. Установлено, что при содержании соли

Таблица 1.

СИСТЕМА ПОКРЫТИЙ	ТСП	КОРРОЗИЯ ПОВЕРХНОСТИ	КОРРОЗИЯ ВДОЛЬ ЦАРАПИН, ШИРИНА
ЦСС/ промежуточное ЭП покрытие/ финишное ЭП покрытие	300 мкм	отсутствует	отсутствует
ЭП-ЦНС / промежуточное ЭП покрытие/ финишное ЭП покрытие	300 мкм	отсутствует	4 см
ЭП-ЦНС / 2 промежуточных ЭП покрытия/ финишное ЭП покрытие	375 мкм	отсутствует	2,5 см

в количестве 15 мг/м<sup>2</sup> на поверхности подложки, на эпоксидном покрытии в погружных условиях, образуются вздутия. Системы на основе ЦСС успешно выдерживали концентрацию соли 50 мг/м<sup>2</sup>. Проект стандарта ISO 15235 от 10.09.1998 определяет концентрацию водорастворимых солей в количестве выше 3-7 мг/м<sup>2</sup> как представляющую риск образования вздутий для систем на основе ЭП/ЦНС, и 50 мг/м<sup>2</sup> – для систем на основе ЦСС, рассчитанных на эксплуатацию в погружных условиях в пресной воде. Также было обнаружено, что этилсиликатные ЦНС менее чувствительны к вторичной коррозии на поверхности подложки, чем эпоксидные.

### ЭФФЕКТИВНОСТЬ САМОСТОЯТЕЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ ЭП-ЦНС

Испытания в камере солевого тумана выявляют существенное различие между двумя типами ЦНС. При ТСП 75 мкм на абразивно обработанной стали в соответствии со стандартом SA 2,5 ЦСС показывают исключительный результат на сопротивление коррозии в области царапин – до 10000 часов. Эпоксидные ЦНС при тех же условиях начинают разрушаться после 1000 часов испытаний. По данным министерства транспорта Флориды, анализ эффективности самостоятельных покрытий на мостовых конструкциях в условиях морского климата показал, что срок безупречной службы ЦСС достигает 18 лет, а органические ЦНС не выдерживают более 18 месяцев. Сделано заключение, что по механизму защиты многие из апробированных органических ЦНС являются не катодными, а скорее изолирующими (как обычные краски).

### ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЦИНКОВЫХ ГРУНТОВ В КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЕ ПОКРЫТИЙ

Эпоксидные материалы имеют определенные преимущества перед ЦСС. Например, условия норвежского климата - низкие температуры, а особенно низкая влажность воздуха - не позволяют сформироваться полноценной пленке этилсиликатного покрытия. Для эпоксидов эти условия не столь критичны. Их отверждение зависит от температуры, а не от наличия или отсутствия финишного покрытия, и продолжается под ним беспрепятственно. Для отверждения этилсиликатных ЦНС

требуется доступ атмосферной влаги и относительной влажности воздуха не менее 50%. После нанесения финишного покрытия отверждение резко замедляется. Поэтому перед окраской важно дать этилсиликатному ЦНС время отвердиться, для чего в целом требуется 24-72 часа. Эпоксиды имеют лучшую адгезию к существующим покрытиям, поэтому более пригодны для ремонта. По этим причинам наибольшее распространение в Европе получила комплексная система покрытий: эпоксидный цинконаполненный грунт/промежуточный эпоксидный грунт/полиуретановое финишное покрытие.

Испытания, проведенные специалистами компании Ameron B.V. совместно с лабораторией в Гаарлеме, Нидерланды, показали уже не 10-кратное, но двойное превосходство систем покрытий на основе ЦСС перед системами с эпоксидным цинковым грунтом в плане сопротивления коррозии в области царапин. В ходе испытаний в течение 6000 часов в камере соляного тумана в местах надрезов на покрытии с эпоксидным грунтом были обнаружены очаги подпленочной коррозии, которые совершенно отсутствовали на системе с ЦСС.

Образцы площадью 1 м<sup>2</sup> были окрашены трех- и четырехслойной системой покрытий на основе ЦСС, т.е. цинковый грунт плюс два и три слоя эпоксидной краски соответственно. Через 10 лет выдержки в условиях промышленно-морской атмосферы в регионе Болтек/Розенбург (Нидерланды) были получены следующие результаты (см. табл. 1).

### РЕЗЮМЕ

Существование всех типов ЦНС в настоящее время объясняется наличием двух противоположных тенденций, сопровождавших процесс их эволюции, а именно: по мере снижения требовательности к подготовке поверхности и условиям нанесения снижается эффективность конечного покрытия, и наоборот. Иными словами, применение органических ЦНС продиктовано рядом жестких требований, ограничивающих применение неорганических, и является компромиссом между качеством и возможностью применения как таковой – пусть даже в качестве грунта с последующей окраской.

Волосюк Вячеслав Федорович,  
главный технолог УП «Мерлан К»  
г. Минск, Беларусь  
[www.zinc.open.by](http://www.zinc.open.by)



# ОСОБЕННОСТИ НАНЕСЕНИЯ ЦСС

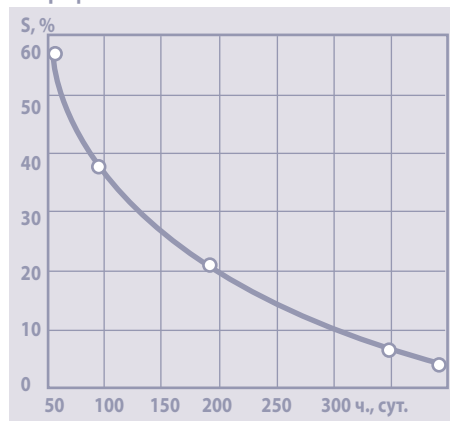
**«Не следует их бояться, они не новы. Ими уже покрыты миллионы квадратных футов стали. Я видел подрядчиков, которые наотрез отказывались наносить эти материалы, но, поработав с ними месяц, уже не хотели переходить ни на что другое», - так сказал о цинксиликатных покрытиях технический директор калифорнийской лакокрасочной фирмы «Ameron» Чарльз Мангер – один из наиболее авторитетных специалистов в этой области. И добавил: «Если вы красите мост и вас беспокоит всего лишь УФ- и атмосферостойкость покрытия, с одним слоем цинксиликатного покрытия вы получите защиту в полном объеме».**



Действительно, как ни парадоксально, ЦСП одинаково успешно применяются как с дополнительными покрытиями, так и без. Являясь анодом, равномерно распределенным по поверхности конструкции, электропроводное ЦС-покрытие в состоянии обеспечивать защиту неокрашенных и поврежденных участков довольно длительное время. Скорость появления продуктов коррозии, как это видно из графика 1, находится в зависимости от величины оголенного участка или удаления от защитного покрытия.

Более того, специалистами коррозионного центра НАСА установлено, что дополнительная окраска ЦС-покрытий резко снижает данный эффект дистанционной защиты. Поэтому она неоправдана и рекомендуется только в том случае, если необходимо придерживаться цветового решения согласно проектным или иным требованиям, а также в целях продления службы покрытия в условиях промышленной атмосферы, погружных условиях и при pH окружающей среды, выходящем за пределы значений 5-10.5. При этом не требуется специальной подготовки поверхности, а получаемое покрытие более долговечно, чем нанесенное по горячеоцинкованной стали. На австралийских морских нефтедобывающих платформах такая окраска производится водоразбавляемыми акриловыми красками.

График 1.



Цинксиликатное покрытие толщиной 75-125 мкм вполне заменяет горячеоцинковое. Однако задокументированного опыта применения этилсиликатных цинконаполненных составов в качестве самостоятельного покрытия крайне мало, и ввиду устоявшейся идеологии, ориентированной на толстослойные изолирующие покрытия, они применялись и применяются в основном как грунт в комплексной системе покрытий. Однако водоразбавляемые ЦСС сумели продемонстрировать весь свой потенциал за семь десятилетий их применения. Эти материалы по праву выделяются среди промышленных покрытий, как «Кадиллак» среди автомобилей, но и требуют к себе должного отношения в плане технологии нанесения. О них говорят и так: «С ними именно столько проблем, сколько на слуху. Но однажды научившись с ними работать, вы больше никогда не вернетесь к старым краскам».

### Типичные проблемы при нанесении ЦНС:

К типичным проблемам при нанесении ЦСС относятся:

1. оседание цинкового порошка;
2. требовательность покрытия к подготовке поверхности;
3. требовательность к оборудованию;
4. чувствительность к толщине наносимого покрытия и к условиям нанесения.

### ОСЕДАНИЕ ЦИНКОВОГО ПОРОШКА

Данная проблема присуща почти всем ЦСС, органическим и силикатным, поэтому в процессе нанесения материал требует постоянного перемешивания для поддержания однородности. В противном случае участки покрытия, обедненные цинком, не обеспечат катодной защиты, а перенасыщенные будут иметь слишком слабую адгезию и пористость ввиду недостатка связующего. Цинк оседает также в шлангах окрасочного оборудования, что ограничивает их длину и диаметр, и требует их освобождения от материала при перерывах в работе более 10-15 минут. Это проще сде-

лать на оборудовании воздушного типа. По этой же причине не рекомендуется использовать кисть и валик только для локального ремонта.

### ТРЕБОВАТЕЛЬНОСТЬ ПОКРЫТИЯ К ПОДГОТОВКЕ ПОВЕРХНОСТИ

ЦСС имеют должную адгезию только к чистой стальной поверхности, поэтому абразивную очистку следует проводить в соответствии со шведским стандартом Sa 2,5, причем остроугольным абразивом. Круглая дробь неприменима, поскольку не создает острого профиля, и покрытие не за что зацепиться (однако следует отметить, что адгезия ЦСП нарастает со временем, и даже на гладкой поверхности постепенно может сформироваться прочно держащееся покрытие, если оно не отслоилось и не растрескалось в момент нанесения).

Абразивный материал должен быть чистым и не содержать органических загрязнений. При некачественном обезжиривании поверхности перед дробеструйной обработкой масла оседают на поверхности абразива, вследствие чего он сам становится «разносчиком» загрязнений. Такой абразив следует заменить или прокалить при температуре 350°C. Хорошие результаты дает обезжиривание щелочными мощными средствами, даже после абразивной очистки. Однако данный метод неприменим, если после высыхания поверхность покрывается налетом вторичной коррозии.

Если растворители, входящие в состав этилсиликатных покрытий, несколько смягчают проблему незначительного жирового загрязнения поверхности, частично растворяя масла, то водоразбавляемые ЦСС требуют более тщательного подхода к данному процессу. Однако это свойство несет и положительную функцию самоконтроля – на плохо подготовленных или загрязненных участках покрытие отслаивается немедленно после высыхания, что гарантирует 100% контроль качества нанесения и своевременное устранение дефектов. Достаточной является шероховатость 20 мкм (при более низкой возможно снижение



адгезии), но не более 50 мкм (при более высокой возможны мелкоточечная коррозия в процессе эксплуатации и перерасход материала). Практика также показывает, что ингибиторы коррозии и фосфатирование резко ухудшают антикоррозионные свойства покрытия.

### ТРЕБОВАТЕЛЬНОСТЬ К ОБОРУДОВАНИЮ

Цинковая пыль является абразивным материалом, а вода – плохим смачивателем. Одной из проблем при нанесении ЦСС является налипание цинка на иглы и сопла. Поэтому для нанесения ЦСС рекомендуется специализированное оборудование, в особенности для водоразбавляемых. Предпочтительно оборудование типа HVLP, красконагнетательный бак со встроенной мешалкой и отдельными датчиками для системы подачи материала и воздуха; поскольку водоразбавляемые ЦСС имеют ограниченный срок переработки и химическую адгезию к металлу, рекомендуется применять пластиковый краскопульт, укомплектованный соплом и иглой с наконечником из износостойкого материала. Пластиковое исполнение этих узлов позволит избежать проблем с очисткой непромытого вовремя краскопульта. Этилсиликатные покрытия отверждаются влагой воздуха, поэтому следует следить за исправностью влагоотделителя. Для безвоздушного распыления рекомендуется специализированное оборудование для цинксиликатных составов (например, WIWA, Binks, DeVilbiss, Speeflo и Graco).

### ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ К ТОЛЩИНЕ

Чувствительность к толщине наносимого покрытия и к условиям нанесения – данная проблема в той или иной мере относится к большинству марок ЦСС. Сегодня выпускаются материалы, легко переносящие толщины до 200 мкм и выше, отверждающиеся едва ли не при любых условиях, но зачастую толщина сухой пленки 75-80 мкм является пределом, за которым возрастает риск волосяного растрескивания. Поэтому в каждом конкретном случае следует руководствоваться инструкциями производителей.

Этилсиликатные материалы высыхают на отлив, в среднем, в течение 15 минут, однако могут набирать твердость в течение нескольких часов. Далее следует фаза химического отверждения в присутствии атмосферной влаги. Благодаря влажному отверждению эти покрытия очень быстро набирают водостойкость – в пределах 15-30 минут.

#### Диапазон приемлемых значений для нанесения:

Температура: 5-45°C  
Относительная влажность: 40-99 %

#### Наилучшие результаты могут быть получены при следующих значениях:

Температура: 20-25°C  
Относительная влажность: 85-90%

При относительной влажности воздуха ниже 50% покрытие может не сформироваться, и если в течение первых часов отверждения не было доступа влаги, то последующее смачивание уже не даст никакого результата. Поэтому в таких условиях рекомендуется несколько раз в день распылять на покрытие воду.

При высокой температуре и низкой влажности возрастает также риск сухого распыла, когда капли материала успевают высохнуть на лету и оседают на поверхность в виде порошка. В таком случае следует добавлять низколетучий растворитель.

Для водоразбавляемых ЦСС низкая относительная влажность, наоборот, является благоприятным фактором.

#### Диапазон приемлемых значений для их нанесения:

Температура: 5-45°C  
Относительная влажность: 25-90%

#### Наилучшие результаты могут быть получены при следующих значениях:

Температура: 20-25°C  
Относительная влажность: 40-50%

Такое покрытие в течение 1-2 часов набирает максимальную твердость, исключительную стойкость к истирающим нагрузкам и достаточную стойкость к кратковременному контакту с водой. Однако повышенная влажность в сочетании с низкой температурой значительно продлевают срок



его перехода в водостойкую фазу – с двух часов до одной недели. В таких условиях при высокой толщине покрытия на его поверхности формируется корка, препятствующая сквозному высыханию, вследствие чего покрытие либо не сформируется должным образом, либо этот процесс потребует очень длительного времени.

Контакт не до конца сформированной пленки с влагой может привести к следующим проблемам:

- снижение начальной твердости;
- сильное растрескивание, сопровождаемое многочисленными вздутиями и отслоением;
- недостаточная водостойкость.

В этом случае следует использовать определенные методики нанесения и сушки.

Рекомендуется нанести сначала тонкий слой (40-60 мкм), затем остаточной: при нанесении покрытия в два слоя с интервалом в несколько минут значительная часть воды успевает испариться из первого, что ускоряет отверждение пленки в целом. Кроме того, такая техника позволяет получить более равномерную толщину покрытия и минимизирует количество дефектов. Эти материалы также обычно имеют низкую вязкость, и получить ТСП 75 мкм в один проход проблематично. Данная методика позволяет компенсировать и этот недостаток.

При высокой влажности и стоячем воздухе (независимо от температуры) следует создать искусственный обдув, но не выше 1,5 м/сек., так как при слишком сильном обдуве также может



Таблица 1.

Тип	Время	Температура (°C)	Относительная влажность (%)
ЦСС №1	390	15	90
	240	20	80
	150	25	70
	120	30	60
	150	35	50
	390	40	40
ЦСС №2	100	25	70
	17	50	30
	5	60	20

образоваться корка. В закрытых помещениях отличные результаты дает применение осушителей воздуха.

Но и после окончательного отверждения такое покрытие рекомендуется не подвергать длительному контакту с водой, особенно с пресной, в течение 1-3 суток. Однако соленая вода, наоборот, ускоряет химическое отверждение.

Следует отметить, что параметры формирования покрытий на основе различных марок водоэмульсионных ЦСС могут отличаться разительно:

Очевидно, что в случае с составом №1 сократить срок перехода ниже 120 минут невозможно в принципе, а №2 предоставляет возможность ускоренной сушки при необходимости.

Некоторые покрытия могут вовсе не сформироваться, если отверждение в течение первых часов проходило в неблагоприятных условиях. Такое покрытие можно стереть ребром монеты при легком нажиме, или даже пальцем – данная манипуляция является обязательной при контроле качества. Осыпавшееся покрытие уже не восстановится ни при каких условиях и подлежит полному удалению. Но некоторые марки отверждаются физически в любом случае, хотя для химического

отверждения (переход в водонерастворимое состояние) потребует длительного времени. В этот период оно будет иметь низкую стойкость к истиранию в мокром состоянии.

#### РЕЗЮМЕ

Причина неприятия многими окрасочными фирмами цинксиликатных составов в прошлом веке кроется в малой распространенности метода абразивоструйной очистки и привычке к неприхотливым краскам на органических связующих, на фоне которых ЦСС, особенно на водной основе, чрезвычайно требовательны. Непонимание механизмов формирования такого покрытия зачастую приводило к существенным убыткам окрасочных фирм, что и снижало ему дурную славу нетехнологичного материала. Однако современный опыт свидетельствует, что уровень технической оснащенности и культуры производства позволяет персоналу окрасочных участков достаточно быстро и безболезненно переходить от органических ЦНС к самому требовательному из неорганических, обеспечивая высокое качество покрытия. Усилия, потраченные на элементарный контроль условий нанесения, или создание требуемого

микроклимата в цеховых условиях с лихвой окупаются значительным сокращением производственного цикла и экономией производственных площадей.

Волосюк Вячеслав Федорович,  
главный технолог УП «Мерлан К»  
г. Минск, Беларусь,  
[www.zinc.open.by](http://www.zinc.open.by)



**TEKNOS**

**КРАСКА, КОТОРОЙ ГОРДЯТСЯ!**  
**60 лет на рынке!**

*ТЕКНОС - финский производитель современной лакокрасочной продукции промышленного назначения*

**Поставки из Финляндии наряду с отгрузкой со склада дилера в Москве - «Компания «Техкраска»:**

- жидкие антикоррозионные краски для металлических и бетонных поверхностей
- краски и массы для бетонных полов
- краски для разметки дорог

*Выбор продукции ТЕКНОС - правильное решение по коррозионной защите самых ответственных объектов*

**ООО «Компания Техкраска»**  
**127247, Москва, Дмитровское шоссе, 107, офис 401**  
**Тел./факс: (495) 485-74-27/45**  
**E-mail: [mail@tehkraska.ru](mailto:mail@tehkraska.ru)** **[www.tehkraska.ru](http://www.tehkraska.ru)**