

SALES 101 – Una descripción

Presentado por cortesía de **CHLOR*RID inc.** Internacional.

Introducción

El estudio de las sales solubles está a la vanguardia de la discusión en la industria de los revestimientos. Hay mucha información disponible sobre este tema, pero se proporciona a menudo en segmentos pequeños así que una comprensión completa no es fácil de obtener. El propósito de este documento es el de proporcionar una descripción cualitativa para poder aglutinar esos trazos de información aislada.

¿Cómo están cambiando las Especificaciones?

Hace tan solo 4 o 5 años las especificaciones y las instrucciones para la preparación de superficies muy rara vez indicaban la necesidad de realizar pruebas para detectar sales contaminantes o algún sistema para limitarlos. Hoy en día, sin embargo, no sólo se incluyen las normas para realizar las pruebas de detección de sales solubles contaminantes, sino que además se han creado normas que indican los niveles de contaminación por sales solubles permisibles. En un plazo muy corto, es posible que todas las especificaciones sobre revestimientos y pinturas mencionen en su contenido las sales solubles de alguna manera.

Los propietarios de las diversas instalaciones industriales están empezando a concientizarse del daño que están causando y han causado siempre estas sales en detrimento del tiempo de vida útil estimado para los revestimientos protectores y pinturas, y los fabricantes de pinturas han visto que las fallas que se presentan sobre las superficies tratadas o recubiertas con sus productos van en aumento debido a las sales contaminantes.

En consecuencia, los profesionales de la pintura en la industria de los revestimientos están haciendo cambios en sus especificaciones.

Durante décadas la industria de las pinturas y los revestimientos han utilizado estándares y comparadores visuales en la medida que se ha comenzado a trabajar hacia las sales solubles contaminantes, que son corrosivas aun a bajos niveles de concentración, entramos en el universo de las sales no visibles. Como se ha dicho muchas veces “los viejos hábitos son duros de matar”, especialmente en una industria empapada en la perpetración de prácticas establecidas.

Los ingenieros, especificadores, proyectistas y fabricantes de revestimientos ahora están requiriendo pruebas de determinación de niveles de sales, y se están fijando los parámetros relativos a los niveles aceptables o permisibles de estos; sin embargo, existe una resistencia al cambio y tales esfuerzos no siempre resultan completamente exitosos.

Para emitir una especificación sólida para la preparación de superficies, el especificador debe entender lo que significan estas sales y sus consecuencias, los problemas que causan y los métodos apropiados para su detección, evaluación y eliminación. Algunos especificadores están intentando incorporar regulaciones acerca de las sales contaminantes en sus especificaciones, sin tener un concepto claramente entendido de la interacción de las sales sobre una superficie metálica y, en consecuencia, muchas especificaciones aun no son capaces de capturar o de enfocar el verdadero significado de lo que una correcta o adecuada descontaminación de la superficie puede significar para el tiempo de vida útil y desempeño estimado de una pintura o recubrimiento.

La contaminación de una superficie por sales solubles por mucho tiempo ha sido un problema para la industria de la corrosión; sin embargo, la legislación que ha llevado a la eliminación de las pinturas con base plomo ha sido el detonante que hizo retomar de manera renovada una visión mas objetiva y profunda hacia las sales y su relación con respecto a la durabilidad de un revestimiento y las fallas prematuras que se presentan en los mismos.

Una propiedad única de los revestimientos con plomo es que son capaces de atar las sales solubles, evitando así que causen corrosión en la superficie cercana o que se incremente el

efecto corrosivo de las mismas debido a factores ambientales. La difusión del uso de las pinturas base plomo nos dio un sentimiento de seguridad pero al ser discontinuados se hizo necesario re-evaluar los requerimientos para la preparación de superficies.

¿Qué Son Las Sales Solubles?

Una explicación emitida por la NACE (Asociación Nacional de Ingenieros de Corrosión) en uno de sus comités hace algunos años, establecía que cualquier elemento conductivo debería considerarse una sal. Los profesionales de revestimientos hace mucho tiempo descubrieron que las sales son perjudiciales para el sustrato y para los recubrimientos. Aunque estos profesionales no poseían los métodos ni los medios para su detección como los tenemos hoy en día, se dieron cuenta de que si una superficie limpia era lavada adecuadamente con agua des-ionizada, el agua remanente era relativamente no conductiva; pero cuando había presencia de contaminantes se producía un aumento en la conductividad de la superficie. Ya que no poseían los medios para identificar iones específicos, especialmente en el campo, se estimaba de alguna manera el porcentaje de cloruros y de otros iones basado en presunciones. Desde entonces, se ha demostrado que estas presunciones no son confiables; en la actualidad tenemos métodos y medios para identificar y medir iones específicos que es nuestro problema primario.

Todo lo conductivo aun es considerado una sal, no obstante, esta conductividad puede constar de cientos de químicos diferentes y no todas las sales son perjudiciales a los revestimientos.

Las sales solubles son descritas por la Sociedad de Recubrimientos Protectores, SSPC, en su glosario como –“un compuesto químico iónico que se disuelve en agua para formar una solución de iones positivos y negativos “. Claramente se define que a mayor grado de limpieza de la superficie, mejor será el desempeño del recubrimiento pero, algunos materiales conductivos tienen poco o ningún efecto sobre la corrosión, mientras hay otros que lo pueden afectar en alto grado.

Las sales contaminantes perjudiciales más comúnmente encontradas son los cloruros, los sulfatos y los nitratos, aunque hay industrias específicas que pueden tener otras. Estas sales pueden ser tan perjudiciales que pueden causar fallas prematuras en los revestimientos en tan solo unas pocas semanas en el medio ambiente apropiado. Estas sales definitivamente pueden afectar la totalidad del tiempo de vida útil de un recubrimiento, aun si el revestimiento llegase a superar el periodo de garantía estimado.

La pregunta que se hace la industria hoy es la siguiente: ¿qué cantidad de cuál de las sales puede ser dejada sobre una superficie para que no afecte significativamente el tiempo de vida útil de un revestimiento? Hay tantos sistemas de recubrimientos disponibles en la actualidad en el mercado, y tal variedad de ambientes a los que están expuestos, que un número consensual quizás jamás se llegue a definir totalmente ni se estandarice. Mientras el tiempo pasa, continuamente se está obteniendo más y más información acerca de qué ha funcionado y qué no lo ha hecho.

Los ingenieros de la NASA identificaron los cloruros como la fuente de su corrosión extrema a finales de los 70, estableciendo el nivel límite de 5 microgramos por centímetro cuadrado ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$), como un límite aceptable de contaminación superficial previo a ser recubierto. La NASA se mantuvo firme con su especificación (KSC-STD-001-D) hasta que hace poco debieron permitir que los contratistas hicieran variaciones en esas especificaciones debido a la dificultad de estos para alcanzar los niveles establecidos en la misma.

La Marina Norteamericana comenzó a limitar la contaminación de cloruros a principio de los 90, fijando los límites en $10\mu\text{g}/\text{cm}^2$ para servicio ambiental (no inmersión) y de $5\mu\text{g}/\text{cm}^2$ para servicio de inmersión.

Por diversas razones que incluyen la falla prematura del revestimiento, estos límites fueron reducidos a $5\mu\text{g}/\text{cm}^2$ para servicio de no inmersión y $3\mu\text{g}/\text{cm}^2$ para servicio de inmersión. Estos límites reducidos, al parecer ofrecían o daban resultados satisfactorios. Por razones de la

existencia de nueva tecnología y sofisticación de análisis, la Marina se ha movilizado para reducir los límites detectables a 0, para asegurar la capacitación del recubrimiento.

Muchas entidades de tránsito estatales (USA) han utilizado un límite de $10 \mu\text{g}/\text{cm}^2$, pero muchos de ellos están encontrando fallas prematuras inaceptables en la actualidad. Hoy, al menos un estado ha adoptado el estándar de la marina norteamericana al comprobar que son niveles de descontaminación posibles de alcanzar, y que los revestimientos tienen por ende el comportamiento esperado.

Mientras más sepa la industria de los recubrimientos acerca de las sales solubles contaminantes y su relación directa con la corrosión, mayor es su preocupación acerca del daño que causan.

¿De dónde provienen las sales?

Nuestro medio ambiente está lleno de fuentes de sales contaminantes, tanto naturales como hechas por el hombre. Los cloruros de los ambientes marinos, tratamiento de aguas, blanqueado de papel y productos para el deshielo son solo unas pocas de las fuentes de contaminación por cloruros a los que están expuestas las superficies de acero y el acero de refuerzo de los concretos. Los sulfatos son producidos por fuentes naturales y son generados del gas y las emisiones del diesel (oxidación del dióxido de azufre) (Fig. 1); los nitratos se producen de las emisiones del diesel y la combustión automotriz (oxidación del óxido nítrico).

Transformado en ácido sulfúrico y ácido nítrico leve en la atmósfera, cuando entran en contacto con la humedad, se depositan sobre las superficies en forma de lluvia ácida. Los cloruros y el ácido sulfúrico son los dos químicos más ampliamente producidos y utilizados en el mundo. Los fertilizantes con nitrógeno, durante su proceso de fabricación, transportan, usan y **se** desbordan, dando como resultado nitratos oxidados, otra sal que es corrosiva sobre superficies de acero. Aun sin la intervención del hombre, el nitrógeno está en un ciclo constante, alternando entre el suelo y la atmósfera. El nitrógeno está disponible en forma constante en la atmósfera para su deposición y el relámpago por ejemplo convierte al nitrógeno atmosférico en óxido de nitrógeno, que puede formar a su vez el ácido nítrico.

Una práctica común consiste en la ejecución del perfilado (decapado) o limpieza del concreto mediante el uso de ácido antes de aplicarle un recubrimiento. Si para esta operación se utiliza ácido clorhídrico, los cloruros son depositados en la superficie; si se emplea ácido sulfúrico, se deja atrás un residuo de sulfatos. Es importante recordar que la contaminación de la superficie por sales no es limitativa de las zonas costeras o locales donde se utilizan sales para deshelar.

Las emisiones industriales y automotrices se transforman en ácidos que se pueden convertir a su vez en sales superficiales. Las sales están a nuestro alrededor y en tantos productos que no nos hemos dado cuenta de su presencia. Las sales se esparcen desde tantas fuentes diversas que virtualmente cualquier superficie está sujeta a algún nivel de contaminación por sales.

¿Cómo las Sales impactan el desenvolvimiento de un revestimiento?

Las sales que son dejadas sobre una superficie antes de la aplicación de un recubrimiento pueden ser la causa de diversas fallas. Las sales como se encuentran en la industria de los revestimientos, son de naturaleza higroscópica lo que significa que absorben o atraen la humedad. En esta forma alcanzan su mayor nivel de estabilidad química. Como ejemplo: en la mayoría de las casas del mundo se coloca arroz o trocitos de cáscara de nueces en los saleros para que estos y no la sal absorban la humedad. Si esto no se hiciera, la sal absorbería la humedad del medio ambiente y se endurecería. Sales, como los cloruros, sulfatos y nitratos hacen lo mismo cuando son dejados sobre una superficie metálica. Una célula activa de corrosión necesita un ánodo, un cátodo, un camino o vía metálica y un electrolito (ver Fig. 2).

La superficie de un pedazo de acero está formada por miles de partículas diminutas que bien son catódicas o anódicas entre sí. El acero en sí mismo proporciona la vía metálica. Agregue un ion de cloruros a esta ecuación que absorberá la humedad del ambiente convirtiéndose en electrolito y he aquí todos los componentes de una célula de corrosión activa.

Todo revestimiento que se aplique en forma líquida es permeable, permitiendo que la sal sobre el sustrato absorba la humedad a través del mismo, provocando corrosión activa antes, mucho antes de producirse la falla del recubrimiento. El revestimiento es aplicado, el ion de sal atrae la humedad a través de este y forma un electrolito detrás de la película del revestimiento, formando así una célula activa de corrosión.

Lo que se produce de la actividad de la célula de óxido son productos ácidos que corroerán la superficie metálica alrededor de la celda o adjunto a la misma. Todos hemos visto pintura ampollada, y al retirar o romper la ampolla deja al descubierto un óxido negro en su parte posterior (ver figura 3). En casi todos los casos, la pintura fue aplicada sobre sales. En las aplicaciones donde el servicio del producto soporta inmersión, y en los casos de exposición a la atmósfera, salvo los ambientes atmosféricos muy secos, la misma acción higroscópica causará ampollamiento osmótico.

El escenario es el mismo cuando la aplicación se realiza sobre una superficie de concreto. Las sales que no han sido removidas de la superficie absorberán la humedad a través del recubrimiento produciendo ácidos diluidos. Estos ácidos tales como el ácido sulfúrico y el ácido clorhídrico reaccionarán con el concreto y harán que el mismo se deteriore debajo del revestimiento. Estas mismas sales en servicio de inmersión o en ambientes húmedos también pueden causar ampollamiento por ósmosis en los revestimientos aplicados sobre concreto. Estas sales contaminantes también pueden ser introducidas a la superficie del concreto cuando la misma es decapada o limpiada, mediante el uso de ácidos, como parte del proceso de preparación de superficies previo a la aplicación de algún revestimiento, o que haya sido expuesto a ácido sulfúrico o clorhídrico.

Las sales también pueden causar problemas en la adherencia entre capas del producto aplicado. Por ejemplo, en un Faro en el estado de Florida (Florida Keys), el especificador estaba consciente de la contaminación que produciría la brisa marina producto del propio medio ambiente; así que la especificación indicaba parámetros para el lavado de la superficie con agua potable con un removedor de sales agregado en el agua de lavado. La superficie fue lavada, el primer recubrimiento fue aplicado dejándolo secar durante la noche.

Al día siguiente, se aplicó de inmediato una capa intermedia de recubrimiento. El tercer día se aplicó la capa final de recubrimiento. A las pocas semanas, el recubrimiento comenzó a ampollarse y a desprenderse. No eran ampollas desde la superficie sino desde la capa intermedia (entre capas).

Una investigación posterior determinó que durante el tiempo de espera entre la aplicación de una capa y otra, la superficie fue re-contaminada por sales.

Acerca de la Corrosión Espontánea (“Flash Rust”)

Virtualmente toda corrosión sobre una superficie metálica es inducida o producida por efecto de la contaminación por sales. Nos han enseñado a creer que donde hay acero desnudo y humedad, habrá óxido. Esto está tan imbuido en nuestro conocimiento que para muchos es difícil creer que el acero puede ser mojado sin que se oxide.

Tome usted una lámina de acero limpia y descontaminada, límpiela a metal blanco mediante limpieza abrasiva (arenado, granallado, etc.), colóquela en un ángulo de 45° y viértale DI (agua des-ionizada). Aunque esté totalmente mojada, ¡no se oxidará!

Tome ahora el mismo pedazo de acero y viértale agua del caño o grifo, y aparecerá sobre el mismo una leve corrosión de forma espontánea, causada por las sales del agua del caño o grifo. Vierta agua salada sobre el mismo metal y se formará una capa de óxido espontáneo aun más abundante (ver Fig. 4).

La acotación hecha por el Dr. Gerald Soltz en su trabajo de investigación realizado para la National Shipbuilding Research Program (Programa Nacional de Investigación de Fabricantes

de Buques- USA) en el resumen indica: *“Una superficie de acero limpia y descontaminada no se oxidará aun en presencia de 100% de humedad por miles de horas.”*

El viejo hábito de “arénalo y píntalo rápido antes de que se oxide”, ha demostrado ser muchas veces inapropiado. Si ocurre la corrosión espontánea en algún grado, se debe hacer el análisis para determinar el grado de contaminación superficial existente ya que esta corrosión u óxido espontáneo es el resultado de la contaminación por sales solubles “No Visibles”; si no existe algún tipo de contaminación sobre la superficie, no se presentará la corrosión u oxidación espontánea.

¿Cómo se Identifican y Analizan las Sales?

Hay varios métodos comunes utilizados en el campo para detectar y determinar el nivel de contaminación de una superficie. Ningún método de campo puede realizar la medición del nivel de contaminantes directamente sobre la superficie. Los contaminantes deberán ser extraídos primero en un líquido o una solución donde puedan ser medidos en partes por millón (ppm). La habilidad de uno u otro método para realizar esta extracción es llamada eficiencia de extracción, generalmente señalada según el porcentaje de contaminantes extraídos de la superficie versus el total del área de la superficie. Ningún método alcanza el 100% de extracción y la eficiencia difiere en gran parte de un método a otro.

Una vez que el contaminante está en la solución, se pueden emplear una variedad de métodos para medir los ppm de un ion en particular. Esto también varía de un método a otro, con diferentes grados de dificultad, exactitud y otras limitaciones tales como unidad mínima de detección.

El método de detección escogido es, por lo tanto, la combinación de dos fases separadas pero críticas al mismo tiempo, y fusionadas en una sola metodología.

Sea cual fuere la metodología escogida, para poder tener información útil los ppm deberán ser convertidos en microgramos por centímetro cuadrado ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$), que significa la cantidad específica de sal sobre un área específica, un dato vital hacia la preparación de la superficie.

Para realizar esta conversión, multiplique la concentración de sales (ppm) por el volumen del líquido de extracción (mililitros) y divídalo entre el área de superficie de la muestra de extracción (centímetros cuadrados). El resultado será microgramos por centímetro cuadrado expresado en $\mu\text{g}/\text{cm}^2$.

La SSPC indica la norma **Guide 15**, como método de campo para la recuperación y análisis de sales solubles sobre los sustratos. Los dos métodos comúnmente mencionados son el método de fregado con esponja y el método de celda adhesiva.

Otro método aplicable es el **CHLOR*TEST™**, que ha sido agregado a la norma desde que la misma fue publicada.

La diferencia principal que existe entre los diversos métodos de muestreo y análisis es el grado de exactitud, bajos niveles de detección, facilidad de uso, y el margen de error potencial aplicable al operador o usuario. Los errores ocurren generalmente por la complejidad en los procesos, la asertividad del operador en realizar la medición y la contaminación cruzada por el reciclaje de los componentes. Se deben considerar ciertos puntos al escoger un método de análisis. No importa cuán cauteloso sea el operador, o qué tan correcta sea la medición, no se puede sobrepasar la exactitud, eficiencia, límite de detección, o alguna otra limitación del sistema de análisis.

De acuerdo a la norma SSPC-Guide 15, la capacidad de extracción del sistema de esponja está entre el 25 y 35% según se ha determinado mediante pruebas de laboratorio controladas. El mismo documento reporta una capacidad de extracción de la celda adhesiva entre 45 – 60%. El fabricante de CHLOR*TEST ha reportado una eficiencia de extracción del 80%, reportado en pruebas controladas y realizadas por laboratorios independientes.

El método de esponja es extremadamente difícil de realizar sobre superficies verticales y casi imposible en superficies invertidas. Los otros dos métodos pueden realizarse en cualquier sentido. Es fácil ver que la necesidad de tener un examen acertado cuando las áreas críticas son verticales o están horizontales sobre la cabeza, hace imperativo el uso del método más apropiado.

Otra variable importante que se debe considerar es el límite del kit de prueba, o mejor dicho, el límite inferior del método utilizado para determinar la concentración de sales en la solución de extracción. Estas mediciones siempre se han llevado a cabo mediante el tubo o la cinta de titulación. Una cinta de titulación común tiene una lectura de nivel mínimo de ~30 ppm, mientras que el tubo de titulación tiene un nivel de lectura inferior a ~1 ppm.

Ya que la importancia de la medición de las sales solubles contaminantes siempre va dirigida hacia el nivel inferior, este límite menor se integra en la ecuación, por lo tanto, el uso de ciertos kits pueden llevarnos a falsas lecturas negativas.

De igual importancia es que el especificador tome en consideración la eficiencia de extracción y la posibilidad de error humano en la lectura y/u operación del equipo, generando situaciones como contaminación por reciclaje de líquidos, inadecuada medición del área y toda la complejidad relacionada con los procedimientos de prueba.

Las instrucciones para realizar estas pruebas están incluidas en el documento Guide 15 de la SSPC y también están disponibles en la página web www.chlor-rid.com. Esas dos referencias le darán la información necesaria para que, bien sea un propietario o un especificador, pueda determinar qué método de prueba necesita.

Esas mismas referencias pueden ser muy útiles e informativas para el inspector de obras o el contratista ejecutante, para tener una total comprensión de los requerimientos.

El Kit **CHLOR*TEST** es el único método de prueba en el cual todos los materiales están pre-medidos para mayor exactitud, con todos sus componentes diseñados para un único uso, evitando así la contaminación por re-uso de soluciones (Fig. 5). Esta prueba también es el único método que no necesita cálculos matemáticos para convertir las partes por millón a microgramos por centímetro cuadrado. En vista de las variables involucradas en la realización de las pruebas de detección de sales solubles, es razonable decir que una especificación escrita correctamente deberá requerir que una prueba específica sea realizada, y al mismo tiempo deberá indicar el nivel máximo de medición permitido por esa prueba. Una especificación también puede ser escrita para permitir el uso de otros métodos, respetando las eficiencias de la extracción. Una especificación que diga simplemente, por ejemplo: "los cloruros no deben exceder los 5 microgramos por centímetro cuadrado", deja mucho a la interpretación; ¿acaso el especificador pretende que el resultado de la prueba sea de un máximo de 5 microgramos? ¿Se puede utilizar cualquier método de análisis? ¿Exactamente cuál kit de análisis es el requerido?

Es fácil ver como tanto un contratista como un inspector pudieran entrar en controversia al respecto con una especificación escrita de esa manera. Una especificación debe estipular claramente un método de prueba en particular, un resultado aceptable del mismo y /o un factor (multiplicador) que deberá ser usado para los diversos métodos. La situación que se presenta en la vida real es que se ha determinado que cualquier cantidad de sal, en especial los cloruros, sulfatos y nitratos, son perjudiciales para el tiempo de vida útil estimada de un revestimiento.

Mientras más limpia esté la superficie, más exitoso será el revestimiento. Ya que el tema de las sales es relativamente nuevo para muchas personas, es fácil entender que el público común no esté al tanto de los costos ni los métodos de remoción de sales. Muchos especificadores caen en el error de no especificar bajos niveles de concentración de sales solubles como los niveles permisibles por temor a los costos que implica la remoción de las mismas; y otros simplemente no quieren gastar dinero extra en lo absoluto.

Cuando se suman los costos de un tiempo determinado de inoperatividad, tiempo de parada, preparación de superficie, y aplicación de recubrimiento, una falla prematura se convierte en un problema con un costo exorbitante, cuando es comparado con los costos de haber tomado los pasos razonables para identificar y eliminar las sales solubles antes de la realización del trabajo. Los costos de la preparación de la superficie y la aplicación del revestimiento generalmente se estiman en dólares (\$) por metro cuadrado, mientras que los costos razonables de detección y remoción de sales solubles contaminantes sólo se estiman en centavos por metro cuadrado.

¿Cómo se Remueven las Sales Solubles?

La remoción de las sales solubles puede ser muy fácil o extremadamente difícil, dependiendo de las condiciones actuales que pueden ser muy variables. Considere solamente una sal común, el cloruro de sodio. El ión del cloruro nunca se encuentra solo. Como es muy común en la industria de los recubrimientos, el ion de cloruro siempre está unido a algo más. El cloruro, para su estabilidad química (esto también aplica a los iones de sulfatos y nitratos), siempre quiere aferrarse a algo, formando compuestos como cloruro de sodio, cloruro de zinc, cloruro de plomo, cloruro férrico o cualquier combinación múltiple de sales. Cuando una superficie recubierta resulta contaminada con cloruro de sodio, la sal queda sobre la superficie. Debido a la fuerte afinidad del ion cloruro a los metales, y su tamaño extremadamente pequeño ($1\mu\text{g}$ de $\text{FeCl}_3 = \sim 3.686.600.000.000.000$ moléculas), aun las más pequeñas imperfecciones en el revestimiento permiten migrar al ion hasta la superficie del metal. Una vez que el ion alcanza la superficie, deja el sodio y se adhiere y fusiona con la superficie del metal para lograr una mayor estabilidad. El ion cloruro forma una adhesión electroquímica con el metal extremadamente fuerte. Por eso no puede ser removida mediante el lavado con una simple manguera de jardín. Donde el cloruro de sodio hubiera sido relativamente fácil de remover de la superficie del revestimiento, el ion cloruro ahora se encuentra electroquímicamente atado a la superficie del metal y es difícil de remover. Por ejemplo, la mayoría de las sales solubles imbuídas sobre la superficie de un revestimiento se pueden remover con hidrolavado de baja presión, pero las sales que se han adherido y comprometido en una superficie metálica frecuentemente no pueden ser removidas aun con 40.000 psi (hidrolavado de ultra alta presión – UHP).

Una vez que estos iones cloruro han formado su adhesión a la superficie del metal, se necesita un alto nivel de energía para poder romper la adhesión electroquímica y retirarlos de la superficie. Esta energía puede ser del tipo mecánica o del tipo química, o incluso una combinación de ambas. Las propiedades de la energía mecánica son ampliamente conocidas, pero muchos profesionales de revestimientos desconocen las propiedades de un removedor químico de sales contaminantes.

Para máxima efectividad, un removedor de sales deberá tener ciertas propiedades que lo distinguen, tales como:

- pH por debajo de 7 para facilitar el desprendimiento de la sal pero sin dejar una capa de hidróxido que pueda encapsular las sales que aun estén sobre la superficie, como suele ocurrir con productos con un pH alto.
- Debe ser capaz de ser utilizado con agua que contenga un nivel algo alto de sales como por ejemplo 600 ppm de cloruros, que es lo más común en las fuentes de agua potable.
- No debe dejar residuos de ningún tipo que pueda comprometer la adherencia del recubrimiento a ser aplicado.
- No debe dejar una capa sobre la superficie que necesite ser lavada adicionalmente para ser removida antes de la aplicación del revestimiento.

Como se ha mencionado en este documento, la energía mecánica de 40.000 psi por si sola frecuentemente no puede remover las sales existentes, pero cuando se combina con CHLOR*RID®, una tecnología patentada única en su clase, el trabajo se realiza con mayor facilidad.

Una forma de energía ayuda a la otra generando así la energía necesaria para terminar la tarea. Sobre una superficie arenada (limpiada con chorro abrasivo) los cloruros por lo general pueden ser removidos adecuadamente con una energía de 3.000 psi., adicionándole el

removedor químico de sales solubles contaminantes y proveyendo así de la energía química requerida para completar la tarea. La acción mecánica de la presión del agua es necesaria para poder penetrar los valles y picos dejados por el proceso de chorro abrasivo en el perfil creado sobre la superficie. La acción de un removedor de sales químicamente balanceado llevará consigo el reto de desprender los iones cloruros de los iones metálicos.

Cuando se discute el tema del agua sobre el acero desnudo, la corrosión espontánea invariablemente aparece. Considerando lo señalado con anterioridad, los contaminantes causan corrosión espontánea, así que cuando estos son removidos se remueve la corrosión espontánea. **NOTA:** En vista de que no es común remover totalmente los contaminantes de todas las superficies, siempre queda un residuo o bajo porcentaje de contaminación por sales sobre la misma. Esto es debido a lo irregular de la estructura después del arenado o la limpieza con chorro abrasivo. Cuando una superficie tratada por chorro abrasivo se mira a través de lentes de aumento, se observa que los abrasivos han creado valles y picos sobre la superficie, generando un perfil. También es posible observar que el abrasivo en casos ha horadado zonas dañadas y ha creado “cavernas” sobre la superficie metálica, donde incluso un pico se inclina y entra en contacto con otro generando una cavidad (Véase Fig. 6). La remoción del 100% de esos iones increíblemente pequeños de esos puntos tan inaccesibles puede resultar casi imposible. Cualquier pequeña cantidad de contaminación puede generar corrosión espontánea, pero generalmente es mínima y en la mayoría de los casos no hay que repetir la limpieza de la superficie por chorro abrasivo o arenado. Algunos fabricantes de revestimientos diseñados para servicio de inmersión sí requieren de una superficie totalmente arenada a metal blanco sin corrosión espontánea. En este caso se hace necesario aplicar un arenado de barrido leve para remover cualquier mínima cantidad de óxido que pudiese haber sobre la misma.

Hay varios métodos disponibles para la remoción de sales, siendo uno solo de ellos un método seco, todos los demás incluyen el uso de agua. El método seco consiste en la limpieza por chorro abrasivo de manera repetida. Una arena o material para chorro abrasivo de una granulometría fina siempre será más efectivo para remover sales de la superficie que una de granulometría gruesa, por lo que a veces se diseña una mezcla de abrasivos de manera específica (mezcla de gruesos para crear el perfil de anclaje necesario y finos para remover sales) pero raramente se logra un trabajo o resultado efectivo en una sola arenada. Generalmente la superficie deberá ser arenada, se permitirá que se oxide y se volverá a arenar. En el proceso de re-oxidación una pequeña cantidad de iones de sales queda atrapada en el óxido que se forma sobre la superficie y, al re-arenarla, la misma es removida. No es poco común el tener que re-arenar una superficie contaminada de cuatro a ocho veces para poder alcanzar un nivel de limpieza aceptable, particularmente en superficies altamente contaminadas como las que se encuentran en embarcaciones o en ambientes marinos, cuerpos de bombas y entradas de agua. El proceso de re-oxidación puede ser provocado por la humedad atmosférica o acelerada mediante un lavado con agua, simplemente agregue humedad y la sal hará el resto.

De los métodos húmedos hay varios a escoger, como el UHP-WJ (hidrolavado a ultra alta presión), y el arenado seco combinado con un lavado con agua al que se le agrega un químico removedor de sales, que en ocasiones puede requerir de un re-arenado como se mencionó anteriormente. Existen métodos menos comunes como abrasivos especializados, pero un tipo de abrasivo particular probablemente no removerá las sales, aunque hay abrasivos que refriegan la superficie mejor que otros. Viendo las opciones disponibles se puede determinar el método a utilizar para el mejor desempeño del trabajo.

UHP-WJ, no siempre pero frecuentemente, alcanzará un nivel de limpieza deseado, pero si desea lograr el nivel de limpieza adecuado a la primera vez, incluya un removedor de sales químico al agua de lavado. La inclusión del removedor químico de sales contaminantes CHLOR*RID en el proceso de UHP-WJ combina las energías químicas con las mecánicas. Esto también permite al operador avanzar tan rápidamente como la inspección visual lo permite desde el punto de vista de control de contaminantes visibles sobre la superficie, al mismo tiempo con la seguridad de estar removiendo los contaminantes no visibles. Se logran altos rendimientos en tiempo de preparación de superficie de esta manera.

El sistema de limpieza mediante chorro abrasivo húmedo, o slurry blasting, puede remover los cloruros pero quizás no logre el resultado deseado en un solo proceso. Un removedor de sales químico como CHLOR*RID puede ser agregado al agua para así combinar las fuerzas mecánicas y químicas. En cada uno de los casos donde se ha aplicado esta combinación, los reportes han indicado que los cloruros han sido removidos a niveles no detectables en una sola operación/aplicación. Un barrido quizás sea aplicable para remover corrosión espontánea leve que pudiera hacerse presente removiéndola en forma rápida, fácil y efectiva. El sistema de abrasivos húmedo no es usado con frecuencia porque los “viejos hábitos se niegan a morir” y los contratistas en su mayoría están acostumbrados al sistema de abrasivo /arenado seco, y son renuentes a invertir en equipos aunque esto signifique realizar la obra con algo tan simple como un anillo húmedo, cuyo costo puede estar ligeramente por encima de los US\$ 100.

Considerando limitaciones ambientales y de seguridad industrial y personal, el método de arenado húmedo permite mayor visibilidad de las áreas ya que no genera polvo ambiental ni residual sobre la superficie, haciendo que este proceso tenga menores restricciones ambientales.

Al tener el operario mayor y mejor visibilidad se pueden usar varias boquillas a la vez para culminar el trabajo en menor tiempo. Al no generar polvo, el mismo no tendrá que ser removido lo que se convierte en un ahorro de tiempo y de dinero.

La técnica más comúnmente usada es el arenado seco de las partes con mayor corrosión, suficiente para remover el óxido y exponer el metal como lo indicado por el estándar de arenado industrial. Dependiendo de la extensión del área afectada se realiza un arenado puntual o de toda la superficie. Este arenado es para remover cualquier material barrera del sustrato como óxido, laminaciones de óxido, pintura envejecida u otro revestimiento sobre el mismo, y lograr el acceso a los cloruros que deben ser removidos. Un hidrolavado a presión de 3.000 psi como mínimo, agregándole el removedor químico de sales solubles contaminantes CHLOR*RID al agua del hidrolavado y así combinar para la remoción de los mismos la energía química con la mecánica para la remoción de las sales. Se realiza luego un arenado de barrido para llegar al perfil de anclaje especificado.

Esta misma técnica es utilizada cuando se realiza un arenado seco con escoria de cobre al estándar requerido y luego un hidrolavado a presión con CHLOR*RID, seguido por un barrido de arena para eliminar cualquier corrosión espontánea que haya hecho su aparición.*** (**Ver documento anexo**)

Ambos métodos funcionan bien y son útiles para lograr los resultados deseados, son efectivos en cuanto a costo-beneficio, no generan problemas de limpieza, ambientales ni medio-ambientales. Cada uno de los métodos antes señalados son diferentes entre sí y se debe escoger el que más se adecue al trabajo que se vaya a realizar.

Podemos concluir que nuestra industria está cambiando. Los profesionales en la aplicación de revestimientos como individuos se han colocado de frente al reto de ir de la mano con los avances en la tecnología de los revestimientos. Mientras dependamos de estándares visuales para la preparación de las superficies, debemos reconocer que también debemos evaluar los contaminantes no visibles. Esto requiere de pruebas específicas y para evitar la falla prematura de los revestimientos, el exceso de sales solubles contaminantes debe ser removido. Hay numerosos métodos de remoción de sales, la mayoría de los cuales requieren del uso del agua y, cuando se permite el uso de un sistema húmedo, la remoción de sales contaminantes es enaltecida con el uso de CHLOR*RID como removedor químico de sales solubles contaminantes.

Es posible lograr niveles de contaminación con sales “no detectables” con el uso de nuestro producto y en la mayoría de los casos es económicamente viable y además efectivo para alcanzar los niveles establecidos por la Marina de Guerra Norteamericana.

Un profesional en la aplicación de revestimientos debe saber y tener presente que cualquier cantidad de sales solubles contaminantes sobre una superficie generará un efecto adverso en el tiempo de vida útil de cualquier recubrimiento de aplicación líquida.

DE SALES SOLUBLES NO-VISIBLES DEFINICIÓN

La definición de contaminación por sales solubles no visibles se refiere a cualquier sal que permanece sobre la superficie después de realizado el proceso de arenado que no puede ser detectada a simple vista y que tiene efecto nocivo o perjudicial para el buen desempeño y durabilidad del recubrimiento. Los términos: sales, sales solubles, sales de reactividad superficial, sales ferrosas o férricas, sales contaminantes, sales no visibles, y sales adheridas a la superficie, son utilizados muchas veces de manera intercambiable. En este documento identificaremos diversos tipos de sales solubles, se harán recomendaciones acerca de los niveles aceptables o permisibles de dos sales específicas y los intervalos para realizar la medición de los mismos sobre las superficies en preparación. Los contaminantes visibles tales como óxidos de hierro, revestimientos previamente aplicados, restos de recubrimientos, aceites, grasas, y agua están considerados como contaminantes visibles en los estándares para preparación de superficies de SSPC / NACE.

Este documento aplica únicamente a sales contaminantes no visibles.

INTRODUCCIÓN

La falla prematura de los recubrimientos frecuentemente sucede después que se ha revestido el acero que ha estado expuesto a la corrosión, bien sea en servicio o simplemente almacenado. Tales fallas usualmente han sido atribuidas a la selección del material, preparación de superficie, formulación del recubrimiento o a la aplicación del mismo. Mientras todas estas situaciones pueden afectar el desempeño del recubrimiento, en los últimos años ha habido una concientización acerca de otro elemento no tan ajeno que puede ser, y de hecho es, el causante de un alto porcentaje de estos problemas: La contaminación por sales solubles no visibles.

Los estándares conjuntos NACE/SSPC sobre preparación de superficies mediante chorro abrasivo están basados en la revisión de la superficie a simple vista. Estos estándares no mencionan la contaminación por sales solubles y no puede asegurar por este método que la superficie esté libre de ellas. La contaminación de la superficie por sales solubles no visibles ha causado fallas de sistemas de recubrimientos en el primer año de aplicado o menos, en la superficie interna de tanques para agua salada, tanques de lastre de barcos, tanques de procesos de aguas servidas o residuales, pilares o pilotajes sumergidos, tuberías sumergidas, componentes de plataformas mar adentro, y sobre infinidad de otras estructuras y aplicaciones. Han ocurrido fallas similares sobre superficies expuestas a ambientes marinos, aun después de ser cuidadosamente arenados y pintados exactamente de acuerdo a las especificaciones del fabricante. La contaminación por sales solubles sobre las superficies expuestas a condiciones atmosféricas es particularmente repetitiva en áreas protegidas de la lluvia como las partes inferiores de los puentes o plataformas de trabajo, porque no son lavadas en forma repetida por las mimas.

Una pieza clave en la aparición de este tipo de fallas de las pinturas o recubrimientos es la presencia de sales solubles contaminantes no visibles que quedan sobre la superficie después del proceso de limpieza mediante chorro abrasivo a presión. Una remoción juiciosa de las sales contaminantes de la superficie ayudan a asegurar el máximo desempeño y longevidad del sistema de recubrimientos.

El porcentaje de ataques corrosivos o de fallas de recubrimientos debido a la contaminación de la superficie por sales solubles depende de muchas variables. Una de las variables es el nivel de sales solubles no visibles que hay sobre la superficie. Para cualquier combinación de sistemas de recubrimientos aplicados, espesor de película seca, eficiencia de aplicación y exposición a medios de trabajo ambientales o de inmersión; un alto nivel de contaminación superficial se convertirá en daños prematuros a la capa de revestimientos más extensos.

El sistema de limpieza mediante chorro abrasivo a presión ha sido el sistema utilizado por excelencia en la industria de los revestimientos para preparar superficies durante más de

medio siglo. Los profesionales competentes dedicados a los revestimientos reconocen las bondades y beneficios así como las ventajas económicas del sistema de limpieza por chorro abrasivo, y hoy en día el costo de este sistema se considera elemento esencial para muchos requerimientos de pintado industrial. Sin embargo, la remoción de las sales no visibles de la superficie tiene un costo adicional y superior al proceso de limpieza por chorro abrasivo.

VISIÓN GENERAL

Contaminación por Abrasivos

La contaminación puede ser depositada sobre la superficie por medio de los abrasivos utilizados en el proceso de arenado. Los abrasivos pueden venir contaminados desde el punto de origen, por contaminación del envase de trasbordo, contenedores, sitios de almacenaje, por reciclaje o por efectos de cualquier situación combinada de las antes mencionadas. La contaminación por sales solubles puede ser transferida entonces a la superficie del metal por impacto. Algunas especificaciones hacen referencia a las pruebas a las que deberá someterse el abrasivo antes de ser utilizado para detección de cloruros.

Referencia: SSPC AB1 Abrasive Specification No. 1, Mineral and Slag Abrasives, SSPC-AB 2 Specification for Cleanliness of Recycled Ferrous Metallic Abrasives, American Society for Testing Materials, ASTM D1125, Test Method for Electrical Conductivity and Resistivity of Water; ASTM D 4940, Test Method for Condumetric Analysis of Water Soluble Ionic Contaminants of blasting Abrasives; MIL-A-22262, Abrasive Blasting media Ship Hull Blast Cleaning.

Contaminación por Exposición

Las superficies de acero pueden estar contaminadas por sales siendo acero en servicio o nuevo, de superficie rugosa o lisa. Las superficies de acero nuevo se pueden contaminar durante su fabricación, transporte, almacenaje o preparación superficial. Las superficies de acero usadas y/o pintadas pueden estar contaminadas por sales marinas, sales de las vías, contaminación ambiental (lluvia ácida), fertilizantes, agua de procesos y por otras causas. Por estas razones toda superficie de acero pintada, preparada para ser re-pintada, pintada o recubierta, debe ser analizada para descartar la presencia de sales solubles contaminantes no visibles.

Como ejemplos de superficies (no limitado) de acero que suelen tener sales no visibles se incluyen, pero no se limita a:

1. Superficies internas de tanques de almacenaje y barcos de procesos de todo tipo, particularmente si el material contenido es un líquido acuoso.
2. Superficies expuestas a o en ambientes marinos.
3. Superficies expuestas a medios industriales.
4. Superficies expuestas a sales viales.
5. Superficies expuestas a lluvia ácida.
6. Zonas de costura de soldadura.
7. Fosas de corrosión; y
8. Áreas donde ha fallado el recubrimiento

Efectos Problemáticos de las Sales Solubles Contaminantes

Las sales solubles contaminantes aceleran el proceso de la corrosión. Ritmos de corrosión de 15 a 25 mils por año han sido documentados en el registro de los efectos de la corrosión de una superficie atribuidos a la contaminación superficial por iones de sal (cloruros). La mayoría de las sales contaminantes son higroscópicas, absorben humedad del medio ambiente o humedad atmosférica lo que promueve la corrosión, así el metal no esté mojado ni expuesto al agua. Cuando se les recubre, generan la presión osmótica para jalar o absorber la humedad a través de un revestimiento que promueve la corrosión debajo de otro recubrimiento. Cuando se aplica una capa final a un recubrimiento pre existente, si hay sales presentes, las mismas fuerzas osmóticas se mostrarán en forma de ampollas, falta de adherencia, delaminación, y

conchas. Estas sales solubles no son consumidas durante el proceso de corrosión ya que se regeneran en presencia del oxígeno. La regeneración de los iones activos de sal empeora el problema. Una pequeña cantidad de una sal soluble sobre una superficie metálica debajo de un recubrimiento puede hacer que ocurra la corrosión y finalmente hacer que falle el recubrimiento por desprendimiento, ampollamiento, etc. El ritmo del ataque corrosivo depende de diversos factores:

1. La cantidad y el tipo de contaminante que está presente sobre la superficie. Altos niveles de contaminación acelerarán el ritmo del ataque.
2. La cantidad de oxígeno y de agua disponibles. El aumento de las cantidades de agua y de oxígeno acelerarán el ritmo del ataque.
3. La permeabilidad del revestimiento. Todos los revestimientos permiten algún nivel de penetración de vapor de agua o de humedad (moisture vapor transmission -MVT- nivel de transmisión de vapor de agua). Cuando esta humedad reacciona con las sales solubles higroscópicas, se produce la corrosión debajo del recubrimiento. Los recubrimientos con menor nivel de MVT generalmente tendrán un rango menor de posibilidades de generación de corrosión
4. Espesor del revestimiento. Para un nivel dado de permeabilidad, aumentar el espesor del recubrimiento puede desacelerar o retardar la migración de vapor de agua a través del mismo. Un mismo material de revestimiento aplicado en una capa más gruesa o de mayor espesor (de un mismo material) puede permitir menos penetración de vapor (de un mismo material) que una capa más delgada, reduciendo así el riesgo de corrosión sobre una superficie ligeramente contaminada.
5. Tiempo. Los problemas generados por la contaminación superficial con sales solubles no desaparecen ni se minimizan con el paso del tiempo. Superficies muy contaminadas pueden causar la falla de un recubrimiento en un año o en menos tiempo. Los revestimientos aplicados sobre superficies con niveles bajos de contaminación por sales podrán fallar de la misma manera pero después de algunos años de servicio.
6. Temperatura y presión: el aumento de presión y/o temperatura incrementará la tasa de permeabilidad dando como resultado altos niveles de fallas por corrosión.

Reconocer e Identificar Contaminantes

Los revestimientos que se encuentran bien adheridos y que presentan antigüedad no están propensos a tener contaminación por sales debajo de ellos. En las zonas donde el revestimiento está suelto o faltante, la contaminación salina es posible especialmente si la superficie ha estado en contacto con cloruros, nitratos o sulfatos. Cuando se hace mantenimiento de superficies pintadas, las fallas sucesivas en una misma área o superficie puede ser un indicativo de la existencia de contaminación por sales solubles. Cuando las fallas de un recubrimiento continúan aunque la preparación de la superficie, la selección de la pintura y la aplicación han sido las correctas, se debe sospechar de la presencia de contaminación por sales solubles.

Si ocurre oxidación o corrosión espontánea (flash rusting) sobre un acero recién arenado aunque no haya presencia de lluvias, condensación ni rocío; es notorio que la superficie está contaminada con sales solubles higroscópicas. Estas sales ferrosas pueden generar corrosión aun sobre una superficie seca mediante la absorción y la retención de suficiente humedad del aire o medio ambiente. Una superficie de acero arenada que esté libre de humedad y de contaminación salina debe permanecer por un buen periodo de tiempo sin corroerse.

SALES CONTAMINANTES NO VISIBLES

Las sales solubles tales como los cloruros, los sulfatos y los nitratos representan el mayor y más potencialmente dañino grupo de sales solubles contaminantes no visibles. Los fluoruros y otros halógenos también son extremadamente corrosivos pero no son tan comunes como los mencionados, sin embargo se ha estado incrementando el uso de Bromo como elemento para desinfectar el agua. Este documento se limitará a los cloruros y a los sulfatos debido a la insuficiencia de investigación y datos con respecto al comportamiento de los nitratos y otras sales solubles.

Los cloruros y los sulfatos son incoloros en el agua, por lo tanto no son visibles a simple vista cuando están presentes sobre la superficie en pequeñas cantidades. Sin embargo, aun las cantidades más pequeñas son suficientes para iniciar la reacción cíclica que causará daño extenso, ampollamiento y corrosión persistente debajo de cualquier revestimiento o sistema de recubrimientos generando la falla de los mismos.

Aunque a estos contaminantes se les conoce como sales solubles en agua, no se eliminan con un simple hidrolavado. Son difíciles de remover por su anclaje electroquímico al sustrato sobre el cual se encuentran alojados. Cuando se habla de las sales solubles sobre superficies de acero, la mejor terminología a usar debería ser “sales solubles superficiales reactivas adheridas sobre superficies de acero” (SRSAS) (Surface Reacted Surface Attached Salts).

Esta nueva terminología sería la más acertada y sería la negación de las reglas de solubilidad, porque las SRSAS no son “sales comunes”. Por definición, son sales superficiales que reaccionan y se adhieren electro-químicamente a la superficie. De ser solubles en agua un simple lavado con agua los removería y no habría una preocupación mundial por este tema.

Cuando se intenta remover sales de la superficie, hay ciertas variables que se deben considerar: ¿Están las sales “libres” (sin reaccionar) o han reaccionado y están adheridas a la superficie (ej.: acero oxidado)?

Las sales libres generalmente se encuentran sobre superficies pintadas que no contienen partículas metálicas en su composición. Si las sales están libres, el agua corriente las puede disolver y remover de la superficie. Si son sales que han reaccionado por permeabilidad o por humedad formando una unión electroquímica sobre la superficie, el agua común necesitará aplicarse con energía adicional para romper la adhesión electroquímica y extraer la sal.

Nota: si hay sales presentes sobre la superficie, es beneficioso removerlas previamente a la preparación y/o arenado de la superficie para que las mismas no sean embebidas en el sustrato.

Se debe considerar el uso de un sistema de alto beneficio y costo efectivo para la remoción eficiente de las sales contaminantes, mediante el uso de pruebas y análisis adecuados que definan en principio el porcentaje de contaminación existente.

Cloruros

La contaminación por Cloruros ocurre en una gran cantidad de industrias donde se incluye la producción de álcalis de cloruros, refinación de sal, plantas de generación de energía, minería, pulpa y papel, así como en la industria petrolera a través de las operaciones inherentes a la refinación de hidrocarburos. Plantas industriales y equipos expuestos a los ambientes marinos también están expuestos a contaminación por cloruros a través del agua de mar, rocío salino, y el aire marino cargado de sal o salitre. Hipocloritos en forma de blanqueadores o lejía, son un tipo muy específico de cloruro contaminante y puede contribuir a la contaminación de la superficie especialmente cuando es utilizado durante o antes de la preparación de la superficie.

Pruebas realizadas en Estados Unidos por el National Shipbuilding Research Program han arrojado los siguientes resultados:

1. La contaminación superficial por iones de cloruros con niveles por debajo de $0,25 \mu\text{g Cl}^-/\text{cm}^2$ ($0,014 \text{ oz. NaCl}/1.000 \text{ ft}^2$) causó poca o ninguna corrosión visualmente detectable debajo de una capa de epóxico traslúcido aplicada aun después de 4.500 horas de inmersión en agua de mar presurizada.
2. El incremento de la contaminación superficial por iones de cloruros de $0,25$ hasta $0,8 \mu\text{g Cl}^-/\text{cm}^2$ ($0,014$ a $0,44 \text{ oz. NaCl}/1.000 \text{ ft}^2$) causó daños visibles de corrosión al sustrato debajo del epóxico traslúcido en agua de mar presurizada. La cantidad de corrosión debajo de la película de recubrimiento era proporcional a la cantidad de contaminación colocada sobre el sustrato.
3. La contaminación por iones sobre la superficie con niveles de $8,0 - 16 \mu\text{g Cl}^-/\text{cm}^2$ ($0,44$ a $0,88 \text{ oz. NaCl}/1,000 \text{ ft}^2$) provocó corrosión del acero y micro ampollas visibles debajo

del epóxico traslúcido. Las micro ampollas aumentaron para formar ampollas osmóticas aun más grandes, y debajo de la capa sucedió el efecto debajo del epóxico claro y del epóxico Coal Tar (Alquitrán de Hulla).

Sulfatos

En las áreas industriales se encuentran en el ambiente cantidades importantes de dióxido de azufre (SO_2), principalmente por las emisiones de los vehículos a combustión, gas combustible y combustión de carbón. Los abrasivos de escoria de cobre provenientes de cobre con alto contenido de azufre que se utilizan durante los procesos de preparación de superficie también son una fuente de contaminación por sulfatos. Combinado con la humedad atmosférica los sulfatos dan inicio a la formación de ácido, produciéndose así una reacción corrosiva que culmina en la formación de sulfatos solubles de índole diversa que corroen la superficie. Estas sales no son visibles sobre la superficie a simple vista, ni son removidas con facilidad mediante un proceso de arenado simple. La mayoría de las especificaciones de arenado no contemplan la presencia ni eliminación de los sulfatos.

Los niveles de contaminación por sulfatos que llevan un recubrimiento a ampollarse son mayores a los de los cloruros, debido a que los sulfatos suelen ser menos reactivos. Este factor ha contribuido a que los sulfatos no hayan sido tomados en cuenta con el mismo nivel de preocupación y/o atención que los cloruros, hasta que se han hecho accesibles comercialmente kits de prueba para la detección y medición de sulfatos.

Nitratos

Los nitratos son menos frecuentes que los cloruros y los sulfatos. Sin embargo su efecto o acción corrosiva puede ser significativo y perjudicial. El nitrógeno de las plantas productoras de fertilizantes, en el agua que se desborda de las tierras de cultivo fertilizadas, de las emisiones de autos y camiones así como las emisiones de los procesos industriales diversos, pueden oxidar y crear o generar sales solubles inestables (ej. NO_3). Las sales o nitratos cuando entran en contacto con una superficie metálica promoverán la corrosión de la misma. La tasa de corrosión o la velocidad a la cual se corroe una superficie de acero a un nivel de contaminación determinado debe ser casi el mismo que el de los cloruros, porque el nitrógeno tiene el mismo nivel de electronegatividad que el cloro.

Ácidos

Ácidos tales como el ácido sulfúrico y el clorhídrico, presentes en bajas concentraciones en el medio ambiente, puede penetrar la mayoría de revestimientos industriales con resistencia a los ácidos o sin ella.

Estos ácidos pueden disolver el recubrimiento permitiendo así una reacción directa sobre la superficie metálica creando lones de sales.

Los revestimientos perderían su adherencia en forma progresiva alrededor del área directamente afectada por el ataque debido a los efectos de la ampolla o el ampollamiento por las sales férricas formadas debajo de los bordes del recubrimiento. Las ampollas alrededor de los bordes de un revestimiento disuelto por la acción de un ácido será mucho más acelerada si la superficie ha estado expuesta y tiene contaminación de algún grado por sales residuales, ya que su exposición al aire y a la humedad generaría desprendimiento del recubrimiento.

Adaptación / Traducción
Stevenson Phillips
Polinsumos s.a.
División Construcción