

Cómo prevenir la corrosión del vidrio

En el siguiente artículo "Cómo prevenir la corrosión del vidrio" de Paul F. Duffer (Glass Digest, 15 de noviembre de 1986), el Dr. Duffer explica los mecanismos químicos que causan la corrosión del vidrio y las condiciones en las que puede existir. El artículo también cubre los sistemas de protección (separación de láminas de vidrio) y la restauración de vidrio ligeramente corroído. Este artículo debería ser de especial interés para los procesadores de espejos o vidrio recubierto con MSVD, ya que estos productos son muy sensibles incluso a las manchas muy ligeras.

Cómo prevenir la corrosión del vidrio **Vidrio + Humedad = Mancha** *por Paul F. Duffer*

Durante los últimos 100 años, los vidrios arquitectónicos comerciales han adquirido la reputación de estar entre los materiales más duraderos utilizados en las industrias de la construcción y el procesamiento. Esto no es sorprendente, ya que nuestras experiencias cotidianas nos dicen que el vidrio parece ser inmune a cualquier forma de degradación.

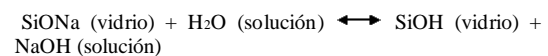
Excepto para aquellos de nosotros involucrados en la investigación del vidrio, la mera mención de la corrosión o manchado del vidrio para la mayoría de las personas recibe una respuesta escéptica. Desafortunadamente, el vidrio realmente se puede corroer. De hecho, el vidrio dañado por las manchas y la corrosión ha provocado pérdidas de millones de dólares para los procesadores de vidrio. Aunque el fenómeno en sí a menudo se malinterpreta, el resultado final del proceso de corrosión es un producto de vidrio que no es adecuado para su procesamiento o instalación.

Por lo tanto, es necesario abordar las circunstancias particulares en las que se producen manchas o corrosión, de modo que quien maneja vidrio y otras personas que puedan encontrar problemas relacionados con la corrosión al tratar con vidrio puedan conocer la mejor manera de prevenirlos.

Durante años, los científicos han sabido que el agua reacciona con las composiciones típicas de vidrio de sosa-cal-sílice. Si bien la interacción puede ser sutil y lenta, y no parece ser significativa ni espectacular para el observador casual, el resultado puede ser serio para los procesadores de vidrio.

Siempre que se permita que el agua permanezca en una superficie de vidrio por más de un momento, pueden ocurrir varias reacciones químicas únicas que causan daños por corrosión o manchas. El primero de ellos comienza casi inmediatamente después de que el agua entra en contacto con el vidrio, incluso a temperatura ambiente.

En términos técnicos, esta reacción inicial en la superficie del vidrio se caracteriza por un proceso de intercambio iónico controlado por difusión que involucra iones de sodio en el vidrio e iones de hidrógeno del agua. Dicho de manera más simple, el agua lixivia fácilmente, o toma, iones de sodio de los vidrios de sosa-cal-sílice. Este proceso de lixiviación, al que los científicos del vidrio comúnmente se refieren como corrosión de la etapa 1, se puede expresar mediante el siguiente esquema de reacción:



Si se permite que la corrosión de la Etapa 1 continúe ininterrumpidamente durante solo unos minutos, los niveles de pH aumentan gradualmente debido a la acumulación de iones de hidróxido (OH⁻) en la solución. Eventualmente, el aumento de alcalinidad de la solución de contacto iniciará otras reacciones más dañinas. Por lo tanto, el proceso de lixiviación debe examinarse más detenidamente.

La razón por la que aumenta el pH de la solución se puede explicar mediante principios químicos básicos. El agua pura es un electrolito débil que

Cómo prevenir la corrosión del vidrio

se descompone espontáneamente parcialmente en iones de hidrógeno (H⁺) e iones hidróxido (OH⁻) según la expresión simplificada:

$H_2O \rightleftharpoons H^+ + OH^-$. A 25 ° C (77 ° F), esta condición de equilibrio se describe mediante una constante de ionización, Kw, dada por la ecuación $K_w = 1 \times 10^{-14} = (H^+) (OH^-)$.

En otras palabras, a una temperatura dada, el producto de las concentraciones de iones de hidrógeno y de iones de hidróxido permanece constante. Sin embargo, para el agua en contacto con una superficie de vidrio, el proceso de intercambio tiende a agotar el suministro de iones de hidrógeno en solución, provocando un desequilibrio en el equilibrio representado por la ecuación que se acaba de dar.

Para restablecer el equilibrio, se disocian más moléculas de agua, produciendo H⁺ adicional y especies OH⁻. Como la cantidad original de OH⁻ no se vio afectada por el proceso de intercambio, una mayor disociación de H₂O da como resultado un aumento en la concentración de iones hidróxido y un aumento proporcional del pH.

Experimentos recientes con vidrios comerciales producidos por el proceso de flotado han demostrado que una reacción de intercambio iónico no atenuado puede producir valores de pH de la solución de contacto tan altos como 9,9, que es muy alcalino.

Mientras los niveles de pH de la solución permanezcan muy por debajo de 9,0, la corrosión de la Etapa 1 procede como reacción predominante en la superficie del vidrio. Durante este período, la calidad óptica y la integridad de la superficie permanece esencialmente inalterada. De hecho, extensos estudios de laboratorio han revelado que el proceso de lixiviación se puede llevar a cabo en vidrios flotados durante varios meses a 140° F sin que se produzcan efectos adversos en la calidad de la

superficie observada, siempre que se controlen los aumentos en los niveles de pH de la solución. Sin embargo, la corrosión desenfrenada del estado 1 puede conducir, como se mencionó anteriormente, a condiciones altamente alcalinas.

Una vez que los niveles de pH de la solución alcanzan 9.0 o más, comienza la segunda reacción importante en el proceso de corrosión del vidrio, la Etapa 2. En este punto, la concentración de iones hidróxido es suficiente para comenzar el ataque de la red de silicato. Como se muestra en la siguiente ecuación, la reacción principal es la ruptura de los enlaces silicio-oxígeno (el vidrio en sí se disuelve lentamente): $Si-O-Si$ (vidrio) + OH⁻ (solución) \rightleftharpoons Si-OH (vidrio) + O-Si (vidrio disuelto; silicatos de sodio y calcio).

Durante las etapas iniciales de esta reacción, se producen picaduras microscópicas en la superficie. Si se permite que continúe la reacción, el daño de la superficie se hará más evidente y el vidrio puede tener una iridiscencia generalizada o una neblina densa y translúcida como la que se muestra en la Fig. 1.



Figura 1

En cada caso, la calidad óptica del vidrio se destruye, aunque se mantenga la integridad mecánica general del vidrio. Lo que realmente ocurre es una combinación de fenómenos de la Etapa 2: La red de vidrio se disuelve y los subproductos como los silicatos de sodio y calcio

Cómo prevenir la corrosión del vidrio

trabajan juntos para afectar la apariencia del vidrio. El dióxido de carbono en la atmósfera también puede reaccionar con la humedad en la superficie del vidrio para formar residuos superficiales adicionales, típicamente de carbonatos de sodio y calcio.

Restaurar la impecable calidad de la superficie del vidrio severamente corroído es, en el mejor de los casos, una tarea formidable. El esmerilado y pulido podría, con mucho tiempo y esfuerzo, restaurar las características ópticas del vidrio corroído como se muestra en la Fig.2. Sin embargo, esta solución no es práctica ni económica; simplemente es más fácil desechar todo el vidrio muy corroído.

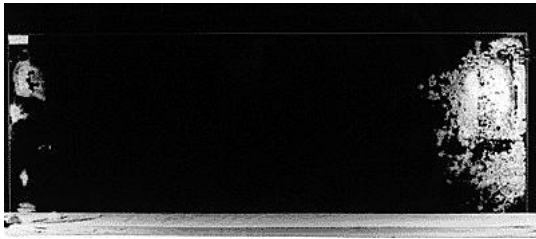


Figura 2

Restauración de vidrio corroído

Sin embargo, hay ocasiones en las que resulta ventajoso restaurar superficies ligeramente corroídas. Con un poco de práctica, cualquiera debería poder identificar vidrios levemente "manchados" que se pueden restaurar con éxito.

El grado de corrosión de la superficie que es aceptable en cualquier proceso de procesamiento de vidrio está directamente relacionado con la calidad de la superficie requerida por el uso final del vidrio. Los procesos de plateado espejo, recubrimiento al vacío y ataque ácido son todos muy sensibles a la presencia de daños superficiales incluso menores, que pueden ser invisibles a simple vista. Por otro lado, el vidrio ligeramente corroído puede, en muchos casos, limpiarse suficientemente con detergentes ácidos o agentes abrasivos,

como la piedra pómez o el óxido de cerio, de modo que se pueda utilizar en aplicaciones menos críticas donde no intervengan recubrimientos.

Cuando se restaura con éxito el vidrio ligeramente corroído, se eliminan los silicatos de sodio y calcio, así como cualquier residuo de carbonato que pueda haber precipitado en la superficie del vidrio como subproductos de la reacción de la Etapa 2. El daño real a la red que afecta a la calidad óptica es tan leve que no tiene consecuencias en aplicaciones menos críticas.

Condiciones de corrosión

Una vez que el vidrio se ha limpiado y secado adecuadamente, se suprime el proceso de corrosión. Es poco probable que comience en el producto de vidrio terminado.

Obviamente, el propietario promedio de una casa, el conductor de automóvil o el propietario de un edificio comercial generalmente no observan daños por corrosión en la superficie de los productos de vidrio terminados. ¿Cuándo, entonces, es más probable que el vidrio se corra, y cuándo es más probable que se note?

Para que el vidrio se corra, deben existir ciertas condiciones que generalmente no se encuentran fuera de la manufactura o procesamiento del vidrio. La diferencia más importante entre la experiencia de los fabricantes y procesadores de vidrio y la del usuario final es el almacenamiento y la manipulación de paquetes de vidrio que contienen varias láminas individuales. De hecho, es el paquete de vidrio donde es más probable que ocurra el proceso de corrosión.

En el vidrio empaquetado, son los espacios entre las láminas de vidrio adyacentes donde pueden existir las condiciones para la corrosión. Si no se establecen controles ambientales durante el almacenamiento, estos espacios pueden atrapar y retener la humedad fácilmente

Cómo prevenir la corrosión del vidrio

si las temperaturas caen por debajo del punto de rocío (cuando la temperatura durante el día es de 80 ° F y la humedad relativa es del 61%, el punto de rocío es de 65 ° F). Una vez que esto ocurre, comienza la corrosión de la Etapa 1, que pronto conducirá a la actividad de la Etapa 2 y al daño final de la superficie a menos que se detenga el proceso.

La razón por la que no se suele observar corrosión del vidrio en los productos de vidrio procesados se debe al hecho de que la humedad en contacto con las unidades instaladas no queda atrapada ni estancada, como ocurre en un paquete de vidrio. Con la mayoría de los productos de vidrio, el ambiente es tal que el agua en contacto con una superficie de vidrio se evapora rápidamente o se diluye en gran medida por las condiciones normales de intemperie. En cualquier caso, no se alcanzan los niveles críticos de pH necesarios para promover la corrosión de la Etapa 2 y el vidrio permanece intacto.

Para la mayoría de los observadores casuales, las dos situaciones más probables en las que se puede haber observado corrosión del vidrio son las unidades aislantes selladas de doble vidrio en las que el sello ha fallado (Figura 2) y las botellas de cuello estrecho que contienen líquido que se han dejado fraguar largos períodos de tiempo (Figs. 3a y 3b).



Figura 3a



Figura 3b

Una unidad de ventana de doble vidrio que tiene fallas en el sello mostrará una neblina blanca lechosa en las superficies interiores. La neblina blanca es en realidad un daño por corrosión de la superficie. Cuando las unidades de doble panel fallan, se permite que la humedad ingrese al espacio aéreo que separa las láminas de vidrio. La humedad relativa en el espacio aéreo puede alcanzar niveles en los que la evaporación no produce una pérdida neta de humedad y se producen reacciones de corrosión inducidas por el agua.

Una situación similar puede ocurrir en botellas de cuello estrecho donde la velocidad de evaporación se reduce en gran medida por la abertura constreñida. El pH de la solución puede, con el tiempo, alcanzar niveles críticos, entre 9,0 y 9,9, y puede provocar daños permanentes en la superficie. Tal vez haya encontrado una botella antigua en un campo con depósitos superficiales de color blanco lechoso que no se podían quitar sin importar los agentes de limpieza que se usaran.

Sistemas de protección (separación de láminas de vidrio)

Mientras que el cliente final tiene poca necesidad de preocuparse por la corrosión de la superficie del vidrio, los procesadores de vidrio deben hacerlo. Dado que el vidrio apilado proporciona el entorno más común para la corrosión y las condiciones de almacenamiento no pueden

Cómo prevenir la corrosión del vidrio

siempre estar controladas, los procesadores utilizan técnicas para retardar el daño de las manchas en el vidrio empaçado

Lo hacen utilizando cualquiera de una variedad de sistemas de protección (separación de láminas de vidrio) en polvo y papel. Los materiales de protección (separación de láminas de vidrio) que se utilizan en los paquetes de vidrio en la actualidad tienen dos propósitos. Primero, separan mecánicamente las láminas individuales para evitar la abrasión y otros daños mecánicos durante el envío y la manipulación. En segundo lugar, los sistemas de protección (separación de láminas de vidrio) funcional también contienen productos químicos ácidos relativamente inofensivos para neutralizar la acumulación de álcali de la Etapa 1 y proporcionar control del pH.

Los materiales de protección (separación de láminas de vidrio) de papel en general son excelentes separadores que evitan daños mecánicos durante la manipulación y el transporte. Algunos papeles, como el papel periódico, también reducen eficazmente la probabilidad de ataque químico al mantener los niveles de pH por debajo de los valores críticos durante el almacenamiento. Esto ocurre debido a la presencia de ácidos orgánicos naturales que típicamente dan al papel un valor de pH de 5.0.

Debido a sus características favorables, el papel protector (para separación de láminas de vidrio) fue una vez el material de empaque preferido en la industria del vidrio. Sin embargo, hoy en día, debido a los nuevos desarrollos tecnológicos en la producción y procesamiento de vidrio, y al aumento de los costos de materiales y mano de obra, el uso del papel protector (para separación de láminas de vidrio) se ha limitado, en su mayor parte, al embalaje de productos procesados.

Fue el advenimiento de la tecnología de vidrio flotado, así como la aparición de procedimientos automatizados para desempacar y manipular el vidrio antes del procesamiento, lo que hizo necesaria la necesidad de nuevos sistemas de protección (separación de láminas de vidrio). Hoy,

el polvo se ha convertido en el preferido el sistema de protección preferido

Los sistemas de protección (separación de láminas de vidrio) en polvo ofrecen muchas ventajas. El polvo intercalador se puede aplicar fácilmente a las superficies de vidrio con un equipo de dispensación automático sin interrumpir la producción de vidrio flotado, y es compatible con los sistemas de desembalaje automático. El sistema con papel es más de 30 veces más caro de usar que los materiales en polvo más populares de la actualidad. La manipulación y desecho del papel protector (para separación de láminas de vidrio) puede resultar costoso y problemático tanto para el procesador de vidrio como para el productor.

El desarrollo de sistemas de protección (separación de láminas de vidrio) en polvo comenzó en serio hace unos 22 años. Inicialmente, se probaron materiales como perlas de poliestireno mezcladas con ácido salicílico. También se investigaron sistemas más exóticos que utilizan cáscaras de coco molidas o harina de madera combinada con un ácido orgánico.

Hace unos 12 años aparecieron por primera vez los sistemas de protección (separación de láminas de vidrio) en polvo. Ellos usan perlas de **polimetilmetacrilato (PMMA)** como medio separador y proporcionan una excelente protección contra daños mecánicos. Las perlas de PMMA son muy resistentes; se ha demostrado que las perlas con un tamaño de malla de -60 a +120 pueden soportar una presión de 10,000 libras por pulgada cuadrada (psi) durante una hora sin deformarse permanentemente.

Las perlas de PMMA también son químicamente inertes en las condiciones que se encuentran en los entornos típicos de almacenamiento de vidrio. La protección (separación de láminas de vidrio) en polvo más popular de la actualidad también incluye ácido adípico como medida defensiva para retardar los aumentos en los niveles de pH en caso de que la corrosión de la etapa 1 comience alguna vez dentro del vidrio empaquetado. El ácido adípico, un ácido orgánico débil, es un

Cómo prevenir la corrosión del vidrio

aditivo alimentario en forma sólida. Se mezcla con las perlas de PMMA en porciones iguales en peso. Juntos, estos materiales ofrecen el complemento completo de las características de rendimiento requeridas de cualquier sistema de protección (separación de láminas de vidrio) de vidrio eficaz.

¿Cómo previene un sistema de protección (para separación de láminas de vidrio) en polvo las manchas del vidrio y los daños mecánicos, como los arañazos en la superficie? Para comprender, puede ser útil saber qué sucede si no se utiliza el protección (separación de láminas de vidrio), siendo esto una pregunta que hacen algunos compradores de vidrio primario. Si no se utiliza protección para separación de láminas de vidrio, el escenario está listo para el desarrollo del entorno de corrosión del vidrio más severo que se pueda imaginar.

Sin materiales de protección (separación de láminas de vidrio), la distancia entre los puntos de no contacto en las superficies de vidrio adyacentes puede ser tan pequeña como 0,0007 a 0,0009 pulgadas, que es aproximadamente un tercio del grosor de una hoja de periódico. La figura 4 muestra una vista en sección transversal única de vidrio no protegido (con separación entre las láminas de vidrio).

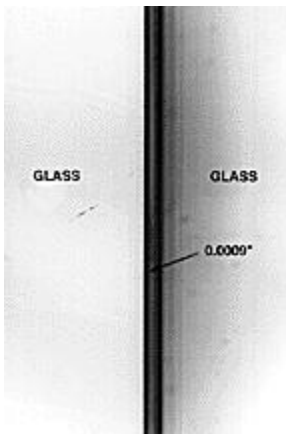


Figura 4

En estas condiciones, la cantidad de agua que se encuentra en una pequeña gota de -0,1 mililitros, o aproximadamente la cantidad de agua en dos

gotas de lluvia: podrían entrar en contacto íntimo con más de 16 pulgadas cuadradas de superficie de vidrio. En muy poco tiempo (varios días a temperatura ambiente), los niveles de pH alcanzarían la etapa crítica -pH de 9,0- y el vidrio pronto sufriría daños corrosivos irreparables. La ausencia de protección (separación de láminas de vidrio) también hace que el vidrio sea muy susceptible a rayarse.

¿Qué sucede cuando se aplica un medio de separación neutro y no reactivo, como perlas de PMMA, entre láminas de vidrio apiladas, como se muestra en la Fig.5? Observe cómo las perlas actúan como pequeños cojinetes de bolas que evitan la fricción deslizante entre el vidrio. La distancia entre superficies adyacentes se ha aumentado a 0,01 pulgadas; una gota de agua de 0,1 mililitros cubriría sólo 1,6 pulgadas cuadradas de superficie de vidrio, una décima parte de la del vidrio no protegido (con separación entre las láminas de vidrio). En otras palabras, se necesitaría todo un mililitro de agua para lograr un contacto íntimo con una superficie de vidrio de 16 pulgadas cuadradas.

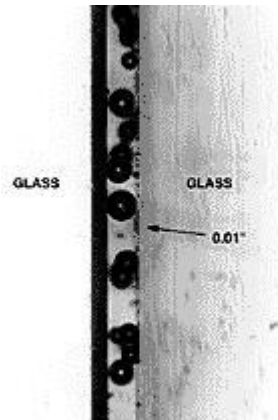


Figura 5

Sin embargo, este efecto de "espaciado" no actúa de forma significativa para prevenir las manchas de vidrio. El espacio adicional entre las láminas de vidrio permite que se forme más condensación en una

Cómo prevenir la corrosión del vidrio

superficie dada. Como resultado, los subproductos de la corrosión de la Etapa 1, cuando evolucionan, se acumulan en un mayor volumen de humedad que cuando no se usa ninguna protección (separación de láminas de vidrio). El resultado neto es que se tarda un poco más en alcanzar los niveles críticos de pH.

Esto puede significar una vida útil adicional de una a dos semanas, como máximo, en comparación con el vidrio que no tiene protección (separación de láminas de vidrio). Para que una mayor separación sea eficaz en la prevención de manchas, el espacio entre las láminas de vidrio empaquetadas debería aumentarse a al menos un cuarto de pulgada o más para permitir que exista un entorno de intemperie dinámico entre las láminas de vidrio apiladas.

Esto no sería práctico. Si, por ejemplo, se usara este espacio con una caja promedio de 135 láminas para puertas de patio que miden 34 por 76 pulgadas, con vidrio de 3 milímetros, el ancho de la caja aumentaría de 22 pulgadas a más de 4 pies. Obviamente, los materiales de protección (separación de láminas de vidrio) neutros y no reactivos por sí solos no pueden cumplir con los niveles de rendimiento requeridos para evitar la corrosión del vidrio durante el almacenamiento.

Es por esta razón que los sistemas de protección (separación de láminas de vidrio) incluyen materiales ácidos. Sin ellos, la corrosión de la etapa 2 comenzaría a causar estragos en la calidad de la superficie del vidrio almacenado.

El vidrio no se puede almacenar de manera segura durante un período de tiempo sin que haya un material protector (separación de láminas de vidrio) ácido en su lugar, a menos que se almacene en un almacén con control ambiental. Por otro lado, la protección (separación de láminas de vidrio) en polvo, cuando se distribuye correctamente en una superficie de vidrio (ver Fig. 6), puede proporcionar un almacenamiento libre de corrosión durante 12 meses o más.

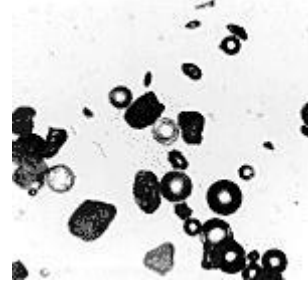


Figura 6

Incluso si el vidrio empacado entra en contacto con la humedad, no se producirán daños en la superficie siempre que existan cantidades suficientes de materiales ácidos protectivos para mantener el control del pH. Cuanto más tiempo se deba almacenar el vidrio, mayor será la cantidad de protección (separación de láminas de vidrio) que se debe aplicar. El uso prudente de los materiales protectivos es clave para el éxito en el almacenamiento de productos de vidrio plano.

Paul F. Duffer es investigador asociado en el departamento de investigación avanzada del centro de investigación y desarrollo de vidrio Vitro (anteriormente PPG Industries) en Harmar Township, Pensilvania, cerca de Pittsburgh. Se unió al procesador de vidrio en 1977 como químico investigador senior en el centro, y fue nombrado para su puesto actual en 1981.

Cómo prevenir la corrosión del vidrio

TABLA HISTÓRICA		
ARTICULO	FECHA	DESCRIPCIÓN
Publicación original	15/11/1986	
Revisión # 1	17/01/2002	Transferido a TD-105
Revisión # 2	2016-10-04	Actualizado al formato y logotipo de Vitro

Este documento pretende informar y ayudar al lector en la aplicación, uso y mantenimiento de los productos Vitro Vidrio Arquitectónico. El rendimiento y los resultados reales pueden variar según las circunstancias. Vitro no ofrece ninguna garantía en cuanto a los resultados que se obtendrán del uso de toda o parte de la información proporcionada en este documento, y por la presente renuncia a cualquier responsabilidad por lesiones personales, daños a la propiedad, insuficiencia del producto o cualquier otro daño de cualquier tipo o naturaleza que surja del uso por parte del lector de la información contenida en este documento.