



Por Jeremy Olberding, Vice Presidente de Ventas, Colmac Coil Manufacturing, Inc.

Resistencia a la corrosión de los materiales utilizados en las aletas de los intercambiadores de calor a productos químicos de limpieza basados en Hidróxido de Potasio, Hipoclorito de Sodio e Hidróxido de Amonio

INTRODUCCIÓN

El objetivo de estas pruebas es determinar los efectos corrosivos de los limpiadores industriales hechos de hidróxido de potasio e hidróxido de sodio en los materiales de aletas más usados de los intercambiadores de calor. Estos materiales incluyen aluminio, acero, acero inoxidable, cobre, cupronickel y aluminio/electrofin. Las muestras fueron sumergidas en limpiadores químicos, mantenidas por 250 hrs y luego comparadas con la muestra original.

METODO DE PRUEBAS

PRUEBAS ESTANDAR

El estándar ASTM, G31-72 Practica Estándar para Laboratorio de Pruebas de Corrosión por Inmersión de Metales, se siguió para mejorar la exactitud y reproducibilidad del experimento de pruebas de corrosión. Este estándar detalla los procedimientos específicos de las pruebas, incluyendo: preparación de la muestra, configuración del aparato de prueba, la limpieza de la muestra después de la prueba e interpretación de los resultados. El estándar dice que una desviación +/-10% en los resultados es posible si se usan condiciones de prueba similares en muestras similares. ASTM G31-72 describe 2 métodos para determinar los grados de corrosión. La primera es una prueba de pérdida de masa para determinar el rango de corrosión en forma de mils/año, mientras que el otro es la comparación visual entre la muestra de referencia y la de prueba. El método de pérdida de masa es muy difícil de usar ya que un material de aleta podría sufrir picaduras y grave corrosión en puntos aislados en una muestra sin perder una cantidad medible de material. Por esta razón, una inspección visual y comparación del material después de haber sido sumergido durante periodos de tiempo es más útil. El NACE Standard TM0169-2000 Método de Prueba Estándar para Laboratorio de Prueba de Corrosión de Metales también se usó como referencia para técnicas de prueba de corrosión adicionales. El estándar NACE cubre específicamente la

preparación de la solución a mayor detalle y provee una lista para asegurar que todos los datos se guardan.

PREPARACION DE LA MUESTRA

Las muestras de aletas se fabricaron usando técnicas de fabricación estándar adecuadas para cada material. Las muestras se tomaron de fabricación reciente en patrones de 5/8" y 7/8" tanto planas como corrugadas. Las muestras se cortaron en piezas de 3"X6" con un peso aproximado de 20gr. Las aletas se limpiaron con acetona y secadas con un trapo. Este proceso eliminó el aceite y otros residuos que se producen durante la fabricación.

QUÍMICOS DE LIMPIEZA

Para las pruebas preliminares se usaron dos diferentes químicos de limpieza, Sunny-Sol 150 y FRM 63-CB. Sunny-Sol 150 es una mezcla de hipoclorito de sodio con 12.5% ingredientes activos y partículas de hidróxido de sodio. Sunny-Sol 150 esencialmente es una forma más concentrada de blanqueador casero y se usa para ser diluido en 1oz de agua por cada 5 galones o .16% dando concentraciones de cloro de 200 ppm. Sunny-Sol se usa para desinfectar el equipo de procesamiento de alimentos después de que se ha realizado la limpieza inicial. Como desinfectante, la solución se esprea encima, dejando reposar por dos minutos y luego se enjuaga con agua limpia. El segundo limpiador FRM 63-CB es un limpiador alcalino de espuma que contiene 10% de hidróxido de potasio y 1% de hipoclorito de sodio. FRM 63-CB también ha sido autorizado para su uso en plantas procesadoras de alimentos por la U.S.D.A. a una concentración máxima recomendada de 3.9%. FRM 63-CB es aplicado por inyectoros de espuma o aerosol de alta presión y enjuagada con agua limpia.

Pruebas adicionales se realizaron en cuatro de las muestras usando un limpiador casero a base de amoniaco con 10% de concentración de hidróxido de amonio.

MATERIAL DE ALETAS

Once diferentes tipos de muestras de aletas, todas disponibles en los intercambiadores de calor de Colmac Coil, fueron seleccionadas para las pruebas. Estas muestras de aletas incluyen:

1. Cobre C11000
2. Aluminio 1100
3. Acero al Carbón
4. Acero Inoxidable 304
5. Acero Inoxidable 316
6. Cupronickel 95/5
7. Aluminio 1100 con recubrimiento epoxico
8. Aluminio 1100 con Tratamiento Electrofin
9. Aluminio 1100 con Tratamiento Fenólico
10. Aluminio 5052
11. Acero al Carbón con Tratamiento Galvanizado

PRUEBAS DE CORROSION

Todos los productos de limpieza fueron mezclados en recipientes de plástico separados usando 2,000 ml +/- 20ml graduados para agregar agua a 50ml +/- 1ml graduado para agregar el producto de limpieza. El estándar ASTM dice, "La prueba de las soluciones deberá ser lo suficientemente larga como para evitar cualquier cambio apreciable en la corrosividad de las pruebas a través de cualquier agotamiento de los componentes corrosivos o acumulación de productos de corrosión que puedan afectar aún más la corrosión" [2]. Se utilizó 15,000ml del total del producto de limpieza para cada prueba. Para lograr la proporción correcta de Sunny-Sol 150 se mezcló 14,976ml de agua contra 24ml de Sunny-Sol 150, mientras que la mezcla FRM 63CB se mezcló a 14,415ml de agua contra 585ml de FRM 63CB.



Figure 1: Recipientes de prueba que contienen los especímenes de prueba y químicos de limpieza.

Cada muestra fue probada en recipientes de plástico distintos con el cuello de aleta colocada bocabajo,

suspendiendo la aleta a la altura del cuello de la mezcla y por encima del fondo del recipiente. Después de que las muestras fueron colocadas en las mezclas, una tapa de cierre hermético se colocó sobre los recipientes para prevenir evaporación y contaminación como dice el NACE estándar TM0169-2000 [1]. La temperatura del cuarto se mantuvo a 70°F aproximadamente y las muestras no se movieron. La mezcla de forma ninguna fue aireada o circulada dentro del contenedor.

Las muestras se mantuvieron sumergidas en la mezcla por 250hrs o 15,000min. La idea era simular una limpieza de 10min una vez al día durante cuatro años.

PRUEBAS DE CORROSIÓN DE HIDROXIDO DE AMONIO

Las pruebas con amoniaco fueron efectuadas utilizando 1000ml de una mezcla de amoniaco usando cuatro muestras de aletas de 20gr: cupronickel 95/5, acero al carbón con tratamiento galvanizado, aluminio 1100 y cobre C11000. Las pruebas fueron realizadas sumergiendo las aletas en el amoniaco por 500hrs para simular el contacto continuo con las aletas.

RESULTADOS

Los resultados de las pruebas de corrosión se agruparon primero por tipo de material de aleta, luego por tipo de limpiador usado, mostrando una foto de antes y después para cada tipo de material de aleta.

COBRE C11000

La prueba usando Sunny-Sol 150 en las Figuras 3 y 4 muestra picaduras en la superficie, que aparece distribuido muy uniformemente. La cantidad total de corrosión parece ser menor y no afectaría negativamente al desempeño del serpentín. Las pruebas usando FRM 63-CB en las Figuras 5 y 6 muestran menor corrosión. Pequeñas formaciones de películas verdes fueron evidentes en la superficie de las aletas después de que las muestras se retiraron de la mezcla. Estas se hicieron más evidentes después de que la muestra se limpió y se expuso al aire por varios días. La muestra de FRM 63-CB muestra un acabado mucho más opaco indicando que toda la superficie ha sido ligeramente rayada, pero parece que no afectaría al desempeño del serpentín.



Figure 2: Cobre C11000 antes de la prueba de corrosión.



Figure 3: Cobre C11000 después de 250hrs sumergido en .16% Sunny-Sol 150 + Agua.

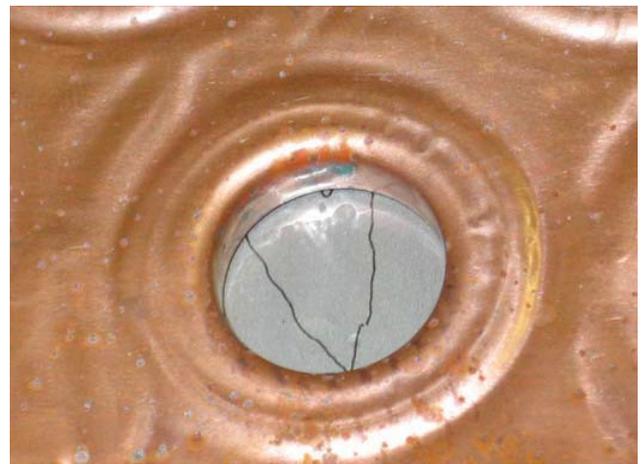


Figure 4: Cobre C11000 después de 250hrs sumergido en .16% Sunny-Sol 150 + Agua.

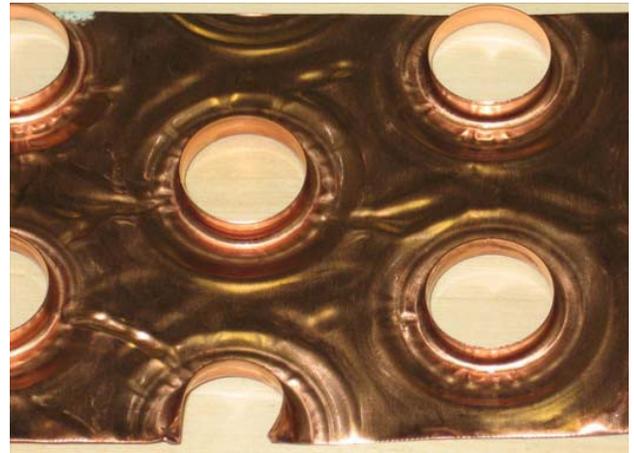


Figure 5: Cobre C11000 después de 250hrs sumergido en 3.9% FRM 63-CB + Agua.

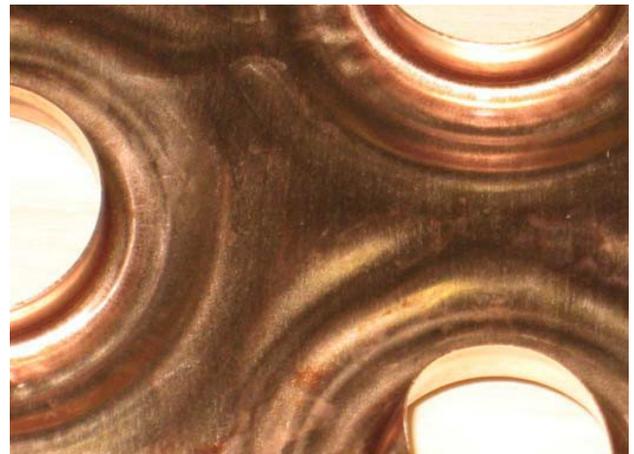


Figure 6: Cobre C11000 después de 250hrs sumergido en 3.9% FRM 63-CB + Agua.

ALUMINIO 1100

Las pruebas usando Sunny-Sol 150 en las Figuras 8 y 9 muestran algo de corrosión en las muestras, que parecen puntos distribuidos uniformemente en toda la superficie. Cuando la muestra se retira de la mezcla de limpieza, se han formado manchas blancas alrededor de los puntos de corrosión. La cantidad total de corrosión parece ser menor y es precisamente a la capa de óxido de aluminio que se forma en la superficie y protege este metal. La prueba utilizando FRM63-CB mostrada en la Figura 10 muestra la corrosión casi completa del material de aleta después de solo 250hrs.

La Figura 10 muestra el resultado de la mezcla que queda atrapada en una estopa para recuperar la muestra de aleta sin disolver. Como resultado, reiniciamos la prueba con la muestra removiéndola en 60hrs y es mostrada en la Figura 11. La muestra mostró gran corrosión y comienza a romper a partir de 100hrs.



Figura 7: Muestra de Aluminio 1100 antes de la prueba de corrosión.



Figura 8: Aluminio 1100 después de 250hrs sumergido en una mezcla de .16% Sunny-Sol 150.



Figura 9: Aluminio 1100 después de 250hrs sumergido en una mezcla de .16% Sunny-Sol 150.



Figura 10: Aluminio 1100 después de 250hrs sumergido en una mezcla de 3.9% FRM 63-CB.



Figura 11: Aluminio 1100 después de 60hrs sumergido en una mezcla de 3.9% FRM 63-CB.

ACERO AL CARBÓN

La prueba usando Sunny-Sol 150 mostrada en las Figuras 13 y 14 se observa significativa corrosión formándose oxido a lo largo de la aleta. La cantidad total de corrosión es importante y puede afectar negativamente el desempeño del serpentín. La prueba usando FRM 63-CB mostrada en las Figuras 15 y 16 no muestra ninguna corrosión. La muestra con FRM 63-CB se observa un acabado mucho más opaco que indica que toda la superficial ha sido ligeramente rayada y parece que no afectaría al desempeño del serpentín. Sin embargo, hay una porción de la aleta que mostró una corrosión significativa que muy probablemente fue causada por contaminación y el ataque de un material diferente.



Figura 12: Muestra de acero al carbón antes de la prueba de corrosión.



Figura 13: Acero al carbón después de 250hrs sumergido en una mezcla de .16% Sunny-Sol 150.



Figura 14: Acero al carbón después de 250hrs sumergido en una mezcla de .16% Sunny-Sol 150



Figura 15: Acero al carbón después de 250hrs sumergido en una mezcla de 3.9% FRM 63-CB.



Figura 16: Acero al carbón después de 250hrs sumergido en una mezcla de 3.9% FRM 63-CB

las Figuras 18 y 19 no se observa ninguna corrosión; el limpiador actúa solo para limpiar la superficie del metal mucho mejor que la Acetona. Las pruebas usando FRM 63-CB mostradas en las Figuras 20 y 21 también muestran ninguna corrosión, pero posiblemente una ligera pérdida de brillo.



Figura 17: Muestra de acero inoxidable 316 antes de la prueba de corrosión.



Figura 18: Acero inoxidable 316 después de 250hrs sumergido en una mezcla de .16% Sunny-Sol 150.

Figura 19: Acero inoxidable 316 después de 250hrs sumergido en una mezcla de .16% Sunny-Sol 150.



Figura 20: Acero inoxidable 316 después de 250hrs sumergido en una mezcla de 3.9% FRM 63-CB



Figura 21: Acero inoxidable después de 250hrs sumergido en una mezcla de 3.9% FRM 63-CB.

CUPRONICKEL 95/5

Las pruebas usando Sunny-Sol 150 mostradas en las Figuras 23 y 24 se ven picaduras de poca importancia similar a la muestra de Cobre C11000. La prueba usando FRM 63-CB mostrada en las Figuras 25 y 26 no muestra ninguna corrosión y limpian la superficie de forma eficaz.



Figura 22: Muestra de cupronickel 95/5 antes de la prueba de corrosión.



Figura 23: Cupronickel 95/5 después de 250hrs sumergido en una mezcla de .16% Sunny-Sol 150



Figura 24: Cupronickel 95/5 después de 250hrs sumergido en una mezcla de .16% Sunny-Sol 150.

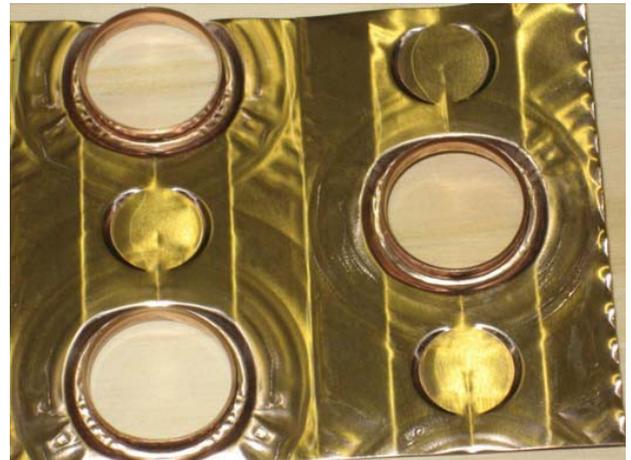


Figura 25: Cupronickel 95/5 después de 250hrs sumergido en una mezcla de 3.9% FRM 63-CB



Figura 26: Cupronickel 95/5 después de 250hrs sumergido en una mezcla de 3.9% FRM 63-CB

las Figuras 28 y 29 solo muestran picaduras menores en lugares donde el recubrimiento ha sido removido. Las pruebas usando FRM 63-CB mostradas en las Figuras 30 y 31 se ve que la corrosión inició en los bordes expuestos y en los cortes de la prensa que marca en la aleta. Básicamente el aluminio se elimina de entre las dos capas del recubrimiento de arriba a abajo y después de 250hrs quedó muy poco aluminio.

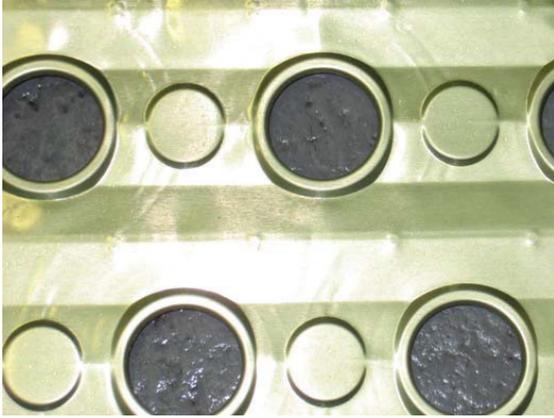


Figura 27: Muestra de aluminio epoxico antes de la prueba de corrosión.



Figura 28: Aluminio epoxico después de 250hrs sumergido en una mezcla de .16% Sunny-Sol 150.

Figura 29: Aluminio epoxico después de 250hrs sumergido en una mezcla de .16% Sunny-Sol 150.



Figura 30: Aluminio epoxico después de 250hrs sumergido en una mezcla de 3.9% FRM 63-CB.



Figura 31: Aluminio epoxico después de 250hrs sumergido en una mezcla de 3.9% FRM 63-CB.

ALUMINIO ELECTROFIN

Las pruebas usando Sunny-Sol 150 mostradas en las Figuras 33 y 34 solo se ve una corrosión de menor importancia en los lugares donde se removió el recubrimiento. Las pruebas usando FRM 63-CB mostradas en las Figuras 35 y 36 se ve que la corrosión inicia en los bordes expuestos. El FRM63-CB también provoca que el recubrimiento se vuelva frágil y se desprenda de la aleta.



Figura 32: Muestra de aluminio Electrofin antes de la prueba de corrosión.



Figura 33: Aluminio Electrofin después de 250hrs sumergido en una mezcla de .16% Sunny-Sol 150.



Figura 34: Aluminio Electrofin después de 250hrs sumergido en una mezcla de .16% Sunny-Sol 150.



Figura 35: Aluminio Electrofin después de 250hrs sumergido en una mezcla de 3.9% FRM 63-CB.



Figura 36: Aluminio Electrofin después de 250hrs sumergido en una mezcla de 3.9% FRM 63-CB.

las Figuras 38 y 39 no muestran corrosión; el limpiador actúa solo para limpiar la superficie del metal mucho mejor que la acetona. Las otras pruebas usando FRM 63-CB mostradas en las Figuras 40 y 41 se ve una corrosión mínima con pérdida de brillo en la superficie además de la formación de manchas blancas. Estas manchas no se eliminan fácilmente con un lavado suave, pero se pueden remover raspando la superficie sin dejar rastro de corrosión. Ambos limpiadores parecen ser aceptables para usarse en el acero inoxidable 304.



Figura 37: Muestra de acero inoxidable 304 antes de la prueba de corrosión.



Figura 38: Acero inoxidable 304 después de 250hrs sumergido en una mezcla de .16% Sunny-Sol 150.



Figura 39: Acero inoxidable 304 después de 250hrs sumergido en una mezcla de .16% Sunny-Sol 150.

Figura 40: Acero inoxidable 304 después de 250hrs sumergido en una mezcla de 3.9% FRM 63-CB.



Figura 41: Acero inoxidable 304 después de 250hrs sumergido en una mezcla de 3.9% FRM 63-CB .



FENOLICO NEGRO

Las pruebas usando Sunny-Sol 150 mostradas en las Figuras 43 y 44 muestran que no hay corrosión y parece ser compatible con limpiadores a base de hipoclorito de sodio. La muestra de la prueba usando el limpiador FRM 63-CB mostrada en las Figuras 45 y 46 se ve no afectada al principio, pero en una inspección más cercana, ciertos lugares sobre todo a los bordes de los collares de la aleta, se vio una deterioración significativa. Esto tendría un efecto negativo sustancial sobre el tacto del tubo y la aleta, reduciendo la transferencia de calor significativamente y haciendo no recomendable un limpiador del tipo caustico para serpentines con tratamiento Fenólico.



Figura 44: Fenólico negro después de 250hrs sumergido en una mezcla de .16% Sunny-Sol 150

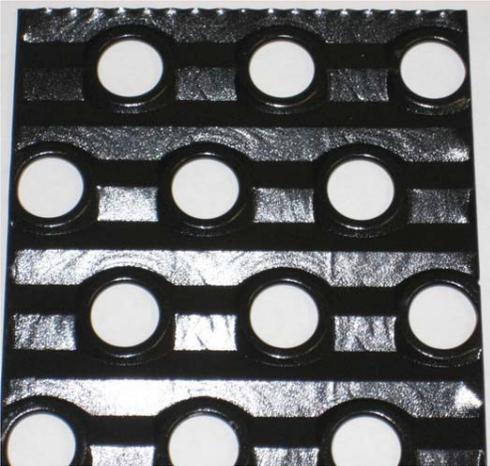


Figura 42: Muestra de fenólico negro antes de la prueba de corrosión.

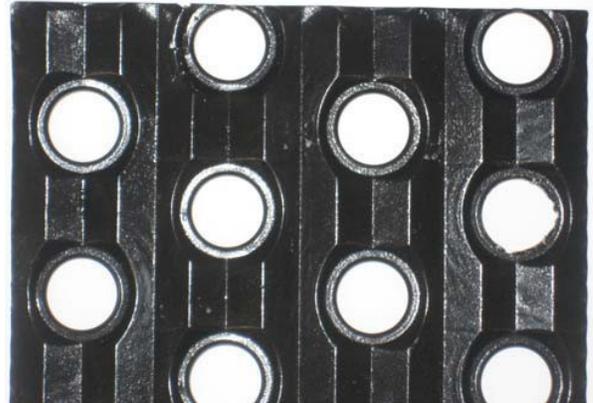


Figura 45: Fenólico negro después de 250hrs sumergido en una mezcla de 3.9% FRM 63-CB.



Figura 43: Fenólico negro después de 250hrs sumergido en una mezcla de .16% Sunny-Sol 150.

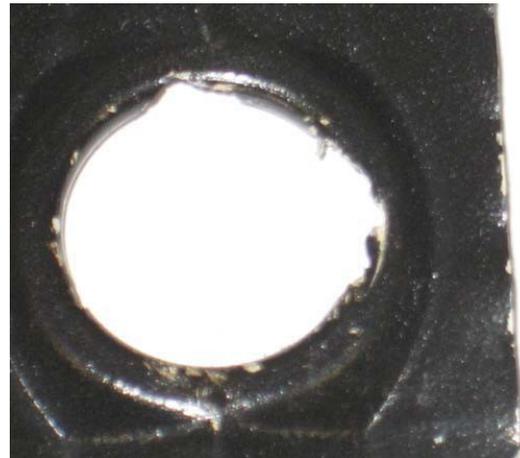


Figura 46: Fenólico negro después de 250hrs sumergido en una mezcla de 3.9% FRM 63-CB.

ALUMINIO 5052

Las pruebas usando Sunny-Sol 150 mostradas en las Figuras 48 y 49 muestran una severa corrosión en varios lugares mientras que la mayoría se ve relativamente poco afectada. Donde está presente la corrosión, el limpiador ha eliminado completamente pequeñas porciones de la aleta. Las pruebas usando FRM 63-CB mostradas en la Figura 50 se observa que la muestra se disolvió completamente; solo pequeños fragmentos de la aleta permanecen después de 250hrs.



Figura 47: Muestra de Aluminio 5052 antes de las pruebas de corrosión.



Figura 48: Aluminio 5052 después de 250hrs sumergido en una mezcla de .16% Sunny-Sol 150.

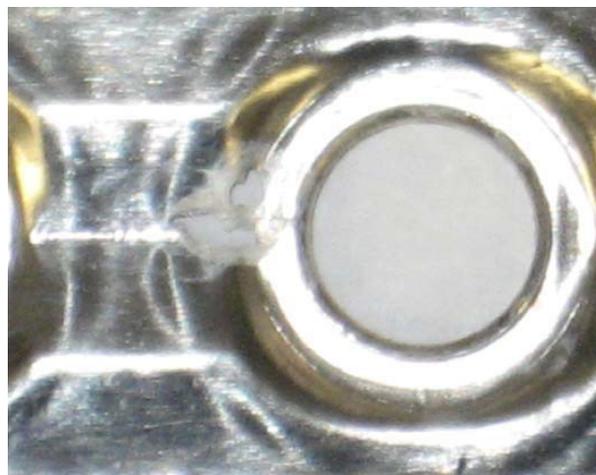


Figura 49: Aluminio 5052 después de 250hrs sumergido en una mezcla de .16% Sunny-Sol 150.



Figura 50: Aluminio 5052 después de 250hrs sumergido en una mezcla de 3.9% FRM 63-CB.

ACERO GALVANIZADO

Las pruebas usando Sunny-Sol 150 mostradas en las Figuras 52 y 53 se observa corrosión en la superficie del recubrimiento galvanizado, pero no parece haber alcanzado al acero galvanizado. Las pruebas usando FRM 63-CB que se ve en las Figuras 54 y 55 muestran mucho menos corrosión y unos agujeros aislados de manchas negras que se forman en la parte superior del recubrimiento galvanizado.



Figura 51: Muestra de acero galvanizado antes de la prueba de corrosión.



Figura 52: Acero galvanizado después de 250hrs sumergido en una mezcla de .16% Sunny-Sol 150.



Figura 53: Acero galvanizado después de 250hrs sumergido en una mezcla de .16% Sunny-Sol 150.



Figura 54: Acero galvanizado después de 250hrs sumergido en una mezcla de 3.9% FRM 63-CB.

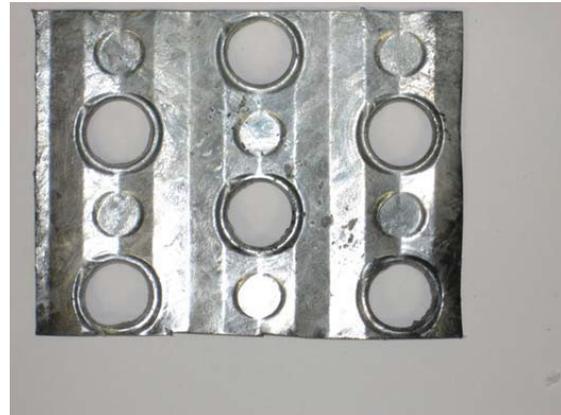


Figura 55: Acero galvanizado después de 250hrs sumergido en una mezcla de 3.9% FRM 63-CB.

HYDROXIDO DE AMONIO

Las pruebas utilizando Hidróxido de Amonio todas muestran algún tipo de oxidación en la superficie de la aleta, pero ningún tipo de corrosión o deterioro significativo en las aletas. También se puede necesitar hacer futuras pruebas involucrando altas concentraciones de hidróxido de amonio o amoniaco puro.



Figura 56: Cupronickel 95/5 después de 500hrs sumergido en una mezcla de 10% hidróxido de amonio.



Figura 57: Cobre C11000 después de 500hrs sumergido en una mezcla de 10% hidróxido de amonio.



Figura 58: Acero galvanizado después de 500hrs sumergido en una mezcla de 10% hidróxido de amonio.



Figura 59: Aluminio 1100 después de 500hrs sumergido en una mezcla de 10% hidróxido de amonio.

CONCLUSIONES

Basándonos en los resultados de los experimentos, las siguientes tablas contienen la lista completa de los materiales de aleta que describen su compatibilidad con cada tipo de limpiador durante una prueba sumergida de 250hrs simulando 4 años de limpieza diaria de 10 minutos.

RESULTADOS PARA 250HRS

Limpiador con Cloro: a base de hipoclorito de sodio		
Sunny-Sol 150		
Material Aleta	Compatibilidad	Descripción
Cobre C11000	Compatible	Ligeras picaduras
Aluminio 1100	Compatible	Superficie Oxidada
Acero al Carbón	Incompatible	Significativa Corrosión
Acero Inoxidable 316	Compatible	Sin corrosión visible
Cupronickel 95/5	Incompatible	Picaduras superficiales
Aluminio 1100 con Epoxico	Compatible	Sin corrosión visible
Aluminio 1100 con Electrofin	Compatible	Sin corrosión visible
Acero Inoxidable 304	Compatible	Ligera corrosión similar al acero inoxidable 316
Fenólico Negro	Compatible	Ligeras picaduras por corrosión—insuficiente para afectar el desempeño
Aluminio 5052	Incompatible	Corrosión en varias zonas
Acero Galvanizado	Compatible	Superficie Oxidada

Limpiador Alcalino de Espuma: a base de hidróxido de potasio		
FRM 63-CB		
Material Aleta	Compatibilidad	Descripción
Cobre C11000	Compatible	Sin corrosión visible
Aluminio 1100	Incompatible	Significativa Corrosión
Acero al carbón	Compatible	Ligera oxidación en la superficie
Acero inoxidable 316	Compatible	Sin corrosión visible
Cupronickel 95/5	Compatible	Sin corrosión visible
Aluminio 1100 con Epoxico	Incompatible	La mezcla disuelve la aleta a fisuras, rayones y filos
Aluminio 1100 con Electrofin	Incompatible	La mezcla provoca fisuras en la superficie del recubrimiento permitiendo que el material se desprenda
Acero Inoxidable 304	Compatible	Ligera corrosión
Fenólico Negro	Incompatible	Significativa Corrosión — alrededor del collar de la aleta
Aluminio 5052	Incompatible	La muestra fue disuelta antes de completar la prueba
Acero Galvanizado	Compatible	Ligera Superficie Oxidada

RESULTADOS PARA 500HRS

Mezcla de 10% de Hidróxido de Amonio

Todas las pruebas utilizando hidróxido de amonio muestran algún tipo de oxidación en la superficie del material pero ninguna corrosión significativa o deterioro de la aleta. También se puede necesitar hacer futuras pruebas involucrando altas concentraciones de hidróxido de amonio o amoniaco puro.

REFERENCIAS

1. NACE International, The Corrosion Society. Laboratory Corrosion Testing of Metals. NACE Standard TM0169-2000, Item No. 21200. March 28, 2000. Houston, TX. ISBN 1-57590-098-X
2. ASTM International. Standard Practice for Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metals. 2004. West Conshohocken, PA.

Para mayor información, contacte Colmac Coil Manufacturing,
mail@colmaccoil.com | P: 800.845.6778 or 509.684.2595
PO Box 571 | Colville WA. 99114-0571 | www.colmaccoil.com
Copyright© 2014 Colmac Coil Manufacturing, Inc.