

EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL ALUMINIO EN LA CAPA GALVANIZADA SOBRE LA RESISTENCIA A LA CORROSIÓN DE UN ACERO SAE 1020

González Gerardo, Rojas Miguel

Universidad Nacional Experimental Politécnica “Antonio José de Sucre”

Vicerrectorado de Barquisimeto

ggonzale@unexpo.edu.ve

RESUMEN. La adición de Aluminio al baño de Zinc podría mejorar la calidad del cincado, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la adición de Aluminio al baño de Zinc sobre la resistencia a la corrosión de un acero SAE 1020 cincado. Se prepararon probetas de acero SAE 1020 recubriéndolas con Zinc puro y con aleación Zn7Al por inmersión en caliente, se utilizó un soplador con aire comprimido para mejorar el acabado superficial, se someten ambos grupos a un ensayo de corrosión acelerada en inmersión salina por periodos de 200, 400 y 600 horas según las normas NACE , se evalúa la pérdida de peso como indicador de la corrosión, se analizó la microestructura de las capas y sus interfaces con el acero mediante microscopía óptica y electrónica de barrido haciendo análisis puntuales por EDX para caracterizar las diferentes zonas del recubrimiento depositado y finalmente se analizaron las velocidades de corrosión resultando una velocidad de corrosión promedio para el grupo de probetas cincadas con Zinc puro de 4,421 mpy y de 1,407 mpy para las recubiertas con la aleación Zn7Al. Se concluye que las probetas de acero cincadas con la aleación Zn7Al son más resistentes a la corrosión que las de Zinc puro, por lo que el efecto del Aluminio en la capa de cincado es favorable, aumentando la resistencia a la corrosión del acero SAE 1020.

Palabras Claves: Aluminio, Zinc, Cincado.

EVALUATION OF THE EFFECT OF ALUMINUM ON THE GALVANIZED COATING CORROSION RESISTANCE OF STEEL SAE 1020

ABSTRACT. The addition of aluminum to zinc bath may improve the quality of the galvanized, the objective of this study was to evaluate the effect of the addition of aluminum to zinc bath on the corrosion resistance of galvanized steel SAE 1020. Specimens were prepared SAE 1020 steel with zinc pure and alloyed Zn7Al hot-dip, we used a compressed air blower to improve the surface finish, both groups are subjected to an accelerated corrosion test in salt immersion for periods of 200, 400 and 600 hours according to NACE standards, evaluated weight loss as an indicator of corrosion, we analyzed the microstructure of the layers and their interfaces with the steel by light microscopy and scanning electron by EDX point analysis to characterize the different areas of the deposited coating and finally analyzed corrosion rates resulting in an average corrosion rate for the group of samples galvanized with pure Zinc 4.421 mpy and 1.407 mpy for the alloy coated with Zn7Al. It is concluded that the specimens of galvanized steel with alloy Zn7Al are more corrosion resistant than pure zinc, so that the effect of aluminum in the zinc layer is favorable, increasing resistance to corrosion of SAE 1020 steel.

Keywords: Aluminum, Zinc, Cincado.

1. INTRODUCCIÓN

La corrosión del acero es un fenómeno espontáneo que genera altos costos de mantenimiento y reemplazo, para mitigar este problema es necesario desarrollar sistemas de recubrimiento anticorrosivos que permitan alargar la vida útil de las piezas, siendo el cincado en caliente (galvanizado) uno de ellos [1]. La adición de Aluminio al baño de Zinc podría mejorar la calidad del cincado, aumentando la resistencia a la corrosión de las piezas recubiertas con este tipo aleaciones llamadas ZA, consiguiendo adicionalmente mejores propiedades mecánicas que en los recubrimientos tradicionales de Zinc puro [2].

El recubrimiento de acero por inmersión en caliente compuesto por una aleación de Zinc con un 5% de Aluminio produce una aleación eutéctica uniforme con una fina estructura laminar. Esto brinda una barrera contra la corrosión en comparación con la barrera contra la corrosión en forma ahondada que es proporcionada por el galvanizado en forma tradicional. Como resultado de esto, en el caso de aleaciones Zn-Al las primeras señales de formación de óxido rojo se vuelven visibles cuando el recubrimiento se ha consumido completamente. Mientras que en el caso de los galvanizados, estos muestran las primeras señales de formación de óxido cuando aún está presente una cantidad significativa de Zinc [3]. Una capa densa de óxido de Aluminio se desarrolla espontáneamente con el paso del tiempo y forma una barrera natural contra las sustancias corrosivas, dando como resultado, que la corrosión general se hace más lenta.

A su vez, la interfaz entre el sustrato de acero y el recubrimiento por inmersión en caliente es bimetalico (FeZn) para recubrimientos con Zinc, y trimetalico (FeZnAl) para recubrimientos con Zinc y Aluminio. Debido a su potencial electroquímico específico, la interfaz trimetalica mejora la resistencia general contra la corrosión. Este recubrimiento presenta una estructura eutéctica de grano fino cuya característica es la presencia de una menor porosidad, lo que aumenta la resistencia a la corrosión por la acción del aluminio que presenta un tiempo de corrosión más prolongado. Todo esto sin pérdida de propiedades mecánicas [4].

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la adición de Aluminio al baño de Zinc sobre la resistencia a la corrosión de un acero SAE 1020 cincado por inmersión en caliente. Como objetivos específicos se establecieron los siguientes:

- Evaluar la resistencia a la corrosión en los aceros SAE 1020 galvanizados con Zn puro y Zn-7Al mediante el ensayo de corrosión acelerada (en inmersión salina).
- Analizar microestructuralmente las capas de Zn puro y de Zn-7Al y sus interfaces con el acero, mediante microscopía óptica y electrónica.
- Analizar estadísticamente usando un diagrama de dispersión, los resultados de la resistencia a la corrosión obtenidos mediante el ensayo de corrosión acelerada (en inmersión salina) de las probetas expuestas al proceso de galvanizado en caliente con Zn puro y Zn-7Al.

2. METODOLOGÍA

Se prepararon dos grupos de probetas de acero SAE 1020 recubriéndolas con Zinc puro (grupo Zn) y con aleación Zn7Al (grupo ZA) ambos por inmersión en caliente en un horno eléctrico vertical, se utilizó un soplador con aire comprimido para mejorar el acabado superficial (ver figura 1). Las probetas galvanizadas con el proceso de inmersión en caliente tradicional (con Zinc puro) se identificaron con las letras Zn seguida de un número (1, 2, 3, 4), Por ejemplo si una probeta tiene la identificación Zn1 quiere decir que ésta fue la primera en ser galvanizada por el proceso tradicional. Las probetas galvanizadas por el proceso de inmersión en caliente con aleación Zn-7Al se identificaron con las letras ZA seguida por el número (1, 2, 3, 4), lo cual quiere decir que la probeta identificada con ZA2 fue la segunda en ser galvanizada con la aleación Zn-7Al.

Se preparó el medio salino bajo la Norma ASTM INTERNATIONAL D1141-98 (Reapproved 2003), y haciendo uso de la norma NACE TM0169-2000 artículo 2, sección 4.8.2, para 2000 mililitros

Se someten ambos grupos a un ensayo de corrosión acelerada en inmersión salina por periodos de 200, 400 y 600 horas según las normas NACE, se evalúa la pérdida de peso como indicador de la corrosión, se analizó la microestructura de las capas y sus interfaces con el acero mediante microscopía óptica y electrónica de barrido haciendo análisis puntuales por EDX para caracterizar las diferentes zonas del recubrimiento depositado y finalmente se analizaron las velocidades de corrosión.



FIGURA 1. Horno eléctrico vertical con soplador en la parte superior

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez galvanizadas se procedió con la inspección visual, y se obtuvo, que las primeras cuatro probetas presentaron un color plateado brillante para la aleación Zn-7Al y las últimas cuatro un color gris opaco para las de Zn puro, esto es debido a la presencia del Aluminio en la aleación, y a su vez, que la inspección se realizó luego del proceso de inmersión en caliente, por lo tanto las probetas no se encontraban sometidas a un proceso de corrosión acelerada, ambos tipos de probetas presentaron buen acabado superficial, originado por el uso del soplador el cual retiro de manera uniforme el exceso del baño metálico.

Luego de haber realizado la inspección y corregidas las imperfecciones se sometieron las probetas a la inmersión salina por períodos de 200, 400 y 600 horas, expresándose los resultados en las tablas 1 y 2, donde se pueden apreciar los datos obtenidos al inspeccionar tanto el color, el brillo y las imperfecciones de las probetas obtenidas una vez terminado el proceso de corrosión acelerada.

TABLA 1. Evaluación del recubrimiento de Zn puro luego del ensayo de corrosión acelerada.

Probeta	Tiempo de exposición	Presencia de zona blanca	Presencia de zona amarilla	Presencia de zona roja
Zn2	200 hrs.	X	X	
	400 hrs.	X	X	X
	600 hrs.	X	X	X
Zn3	200 hrs.	X	X	
	400 hrs.	X	X	
	600 hrs.	X	X	
Zn4	200 hrs.	X		
	400 hrs.	X	X	
	600 hrs.	X	X	

TABLA 2. Evaluación de la superficie del recubrimiento de Zn-7Al luego del ensayo de corrosión acelerada.

Probeta	Tiempo de exposición	Presencia de zona blanca	Presencia de zona amarilla	Presencia de zona roja
ZA2	200 hrs.	X		
	400 hrs.	X		
	600 hrs.	X	X	
ZA3	200 hrs.	X		
	400 hrs.	X	X	
	600 hrs.	X	X	
ZA4	200 hrs.	X		
	400 hrs.	X		
	600 hrs.	X		

Se tomaron los pesos respectivos antes de realizar el ensayo, esto con el fin de obtener el peso inicial de cada una de las probetas y durante el ensayo de corrosión practicado en inmersión salina, se realizaron tres mediciones del peso de las probetas: Al transcurrir 200 horas de exposición se tomaron las primeras mediciones de pérdida de pesos de cada probeta. Luego de 400 horas de exposición en inmersión salina, se realizó la medición del peso intermedio. Finalmente, luego de 600 horas de exposición se determinó el peso final de las muestras ensayadas. De esta manera se obtuvieron los valores de la Tabla 3 y 4

TABLA 3. Valores de peso de probetas Galvanizadas en Zn puro en distintas etapas del ensayo de corrosión acelerada

Probetas	Peso inicial (gr) T = 0 hrs	1ra Pesada (gr) T = 200 hrs	2da Pesada (gr) T = 400 hrs	3ra Pesada (gr) T = 600 hrs
Zn2	37,4967	37,4820	37,4430	37,3991
Zn3	36,6428	36,6378	36,5470	36,4958
Zn4	37,2824	37,2572	37,2060	37,1587

TABLA 4. Valores de peso de probetas Galvanizadas en Zn-Al en distintas etapas del ensayo de corrosión acelerada

Probetas	Peso inicial (gr) T = 0 hrs	1ra Pesada (gr) T = 200 hrs	2da Pesada (gr) T = 400 hrs	3ra Pesada (gr) T = 600 hrs
ZA2	37,8702	37,8687	37,8529	37,8348
ZA3	36,9591	36,9523	36,9420	36,9239
ZA4	36,7578	36,7488	36,7346	36,7163

Ya obtenido la totalidad de los pesos tanto de Zn puro como de Zn-7Al y realizada la diferencia del peso inicial respecto al peso final de cada una de las muestras, se determinó que las probetas galvanizadas con Zn puro presentaron una pérdida de peso mayor que las probetas galvanizadas con Zn-7Al, dando como resultado ΔW que representa la pérdida de peso de las probetas, el cual se puede apreciar en la Tabla 5, y conociendo a su vez tanto el área como la densidad de las probetas se realizaron los cálculos para determinar la velocidad de corrosión y se grafican los resultados (ver figura 2).

TABLA 5. Valores promediados de las velocidades de corrosión en mpy para Zn puro y Zn-7Al, de acuerdo a los tiempos de Exposición.

Tiempo de exposición	ΔV de corrosión (Zn puro)	ΔV de corrosión (Zn-7Al)
200 hrs.	1,617	0,651
400 hrs.	4,068	1,084
600 hrs.	4,421	1,407

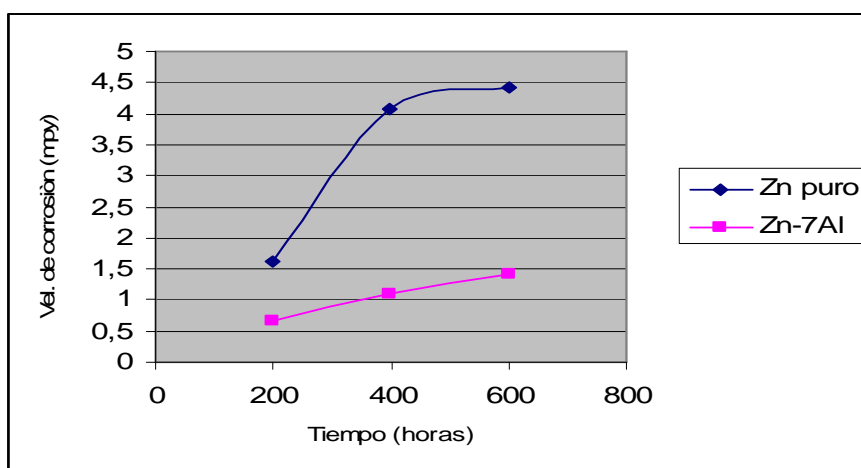


FIGURA 2. Gráfico que muestra la velocidad de corrosión para Zn puro y Zn-7Al.

Una vez pulida y atacadas las probetas, se procedió con la inspección metalográfica observada por microscopía óptica en las instalaciones de la UNEXPO; en la Figura 3, se puede apreciar cómo está constituida la microestructura de una probeta de acero SAE 1020 galvanizada con Zinc puro, vista a través de un corte transversal. Se observa claramente como está constituido dicho galvanizado de Zn puro para el cual se puede apreciar la presencia de 4 zonas en el recubrimiento: la zona gamma, la cual se visualiza como una línea negra entre el acero y el recubrimiento conocida como una zona de interfase entre el acero y el recubrimiento de Zn, que tiene un crecimiento equiaxial, aunque no se puede apreciar

por su diminuto tamaño, producto del proceso de solidificación. Luego se presenta una zona delta con granos columnares ordenados y bien definidos. Sucesivamente, la zona zeta, manifestada como granos columnares, los cuales no presentaron un orden bien definido y finalmente en la parte superior del recubrimiento se tiene la zona eta, la cual se aprecia como granos equiaxiales, siendo ésta la zona de mayor tamaño.

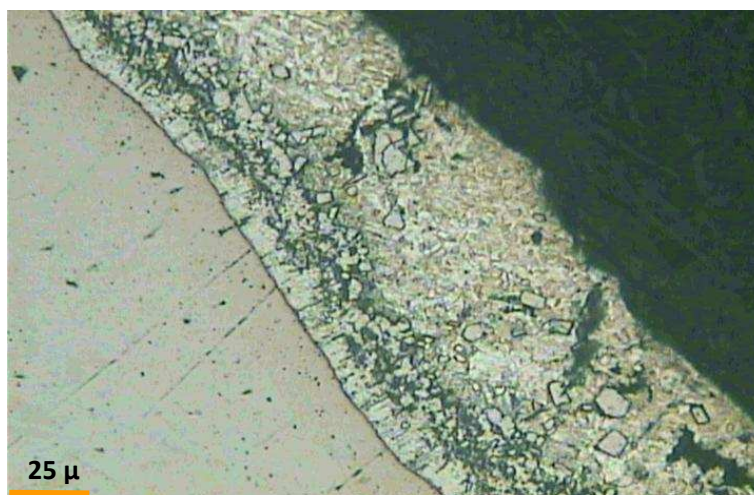


FIGURA 3. Micrografía del corte transversal de la probeta de acero SAE 1020 galvanizado con Zn puro, sin exposición a corrosión acelerada (probeta patrón Zn1). Se visualizan las capas gamma, delta, zeta y eta. Atacada con Nital al 2%. Aumento: 272x.

En la Figura 4, se presenta una micrografía de acero SAE 1020 galvanizado con Zn-7Al, expuesta 600 horas de corrosión acelerada en inmersión salina, donde claramente se observa una franja que pasa justo en medio del recubrimiento (ver indicación amarilla), esto se presentó en la totalidad de las probetas galvanizadas con esta aleación, siendo ésta de la misma naturaleza granular-globular, y se cree que su formación es debida al choque térmico por las que pasaron las probetas al momento de usar el soplador, ya que el mismo inyectaba aire comprimido a temperatura ambiente justo al momento de la extracción de las probetas del baño metálico.

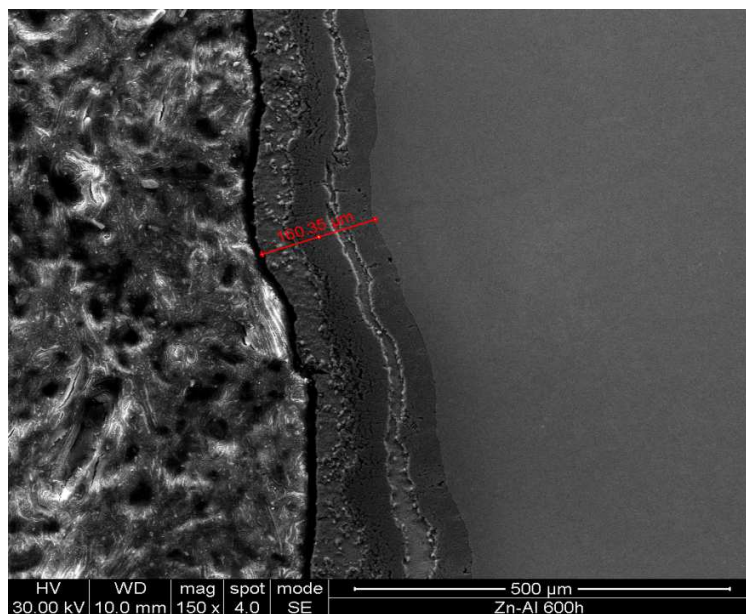


FIGURA 4. Micrografía por MEB del corte transversal de la probeta de acero SAE 1020 galvanizado con Zn-7Al, expuesta 600 horas de corrosión acelerada (probeta ZA3). Atacada con Nital al 2%. Aumento: 150x.

CONCLUSIONES

El incorporar Aluminio al baño de Zinc hasta cierta medida como en este caso Zn-7Al y al compararlo con el galvanizado tradicional de Zn puro, se hace evidente una diferencia en las velocidades de corrosión, dando como resultado que el acero galvanizado con Zn-7Al, resulta más resistente durante un período de 600 horas expuesto a corrosión acelerada, que el acero galvanizado con Zn puro.

La evaluación de la corrosión por medio de indicador por pérdida de peso, resultó ser un método efectivo, ya que los productos de corrosión no quedaron adheridos al sustrato metálico y por consiguiente se evidenció como el galvanizado tradicional de Zn puro, presentó mayor cantidad de óxidos de baja densidad y mayor pérdida de peso que el obtenido con el recubrimiento del Zn-7Al, lo que originó una gran diferencia en cuanto a la pérdida de peso entre estos dos tipos de galvanizado, presentando el galvanizado de Zn mayor pérdida de peso que el de Zn-7Al.

REFERENCIAS

- [1] Evaluación de la performance protectora de diferentes sistemas dúplex en atmósfera industrial (2000) [pagina web en línea] Disponible <http://www.materiales-sam.org.ar/sitio/biblioteca/neuquen/Trabajos/0809.PDF> [consulta 2010, julio 15].
- [2] A.R. Marder. (2000) ``The Metallurgy of Zinc-coated steel''. Editorial PERGAMON. USA.
- [3] El Rol del Aluminio en el galvanizado continuo por inmersión en caliente- (Julio 2010) (Disponible en línea) http://www.latiza.com/pdfs/galvinfo/GalvInfoNote2_4.pdf
- [4] A. Sandoval Jiménez y otros (2006) “Cinética de la transformación de fase $\alpha + \eta \rightarrow \beta$, por microscopía electrónica de transmisión, de una aleación eutectoide Zn-Al solidificada rápidamente”. Trabajo de investigación para el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares. México [pagina web en línea] <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/570/57065308.pdf> [consulta 2011, Febrero 24].

AGRADECIMIENTO

Los autores quieren expresar su agradecimiento al Instituto Zuliano de Investigaciones Tecnológicas INZIT, especialmente al Licenciado Erik Plaza.