

EFEECTO DE LA TEMPERATURA EN EL COMPORTAMIENTO DEL ACERO INOXIDABLE AUSTENÍTICO 316L FRENTE A LA CORROSIÓN ELECTROQUÍMICA

EFFECT OF TEMPERATURE ON THE BEHAVIOR OF AUSTENITIC STAINLESS STEEL 316 L EXPOSED TO ELECTROCHEMICAL CORROSION

CARLOS JOSÉ RODRÍGUEZ¹, YELITZA FIGUEROA², JOSÉ PRIN²

*Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre, ¹Escuela de Ciencias, Departamento de Química, ²Instituto de Investigaciones en Biomedicina y Ciencias Aplicadas "Dra. Susan Tai", Cumaná, Venezuela
E-mail: carlosalazar14@hotmail.com*

RESUMEN

En esta investigación se evaluó el comportamiento a la corrosión de la aleación 316L a las temperaturas de 30, 45 y 60 °C en medio salino. Para ello, se realizó la caracterización microestructural por microscopía electrónica de barrido (MEB) previo a los ensayos electroquímicos. Mediante las curvas de Tafel se observó un incremento en la rapidez de corrosión debido al aumento de la densidad de corriente al aumentar la temperatura. Las superficies de la aleación fueron caracterizadas después de los ensayos de corrosión a través de MEB e interferometría óptica (IO). Los resultados obtenidos evidenciaron un proceso de corrosión localizada por picaduras presentando formas, penetración y profundidad bien definidas.

PALABRAS CLAVE: Acero inoxidable austenítico, corrosión electroquímica, polarización potenciodinámica.

ABSTRACT

This research assessed the corrosion behavior of alloy 316L at temperatures of 30, 45 and 60 °C in a saline solution. To do so, microstructural characterization was performed using scanning electron microscopy (SEM), prior to the electrochemical tests. By means of Tafel curves, there was observed an increase in corrosion rate due to the increase in current density caused by the shift to higher temperatures. After the corrosion test, the 316L alloy surfaces were characterized through SEM and Optical Interferometry (OI) analysis. The results showed a localized corrosion process characterized by pits which showed a well-defined morphology, penetration and depth.

KEY WORDS: Austenitic stainless steel, electrochemical corrosion, potenciodinamic polarization.

INTRODUCCIÓN

El agua de mar y las atmósferas marinas son particularmente agresivas debido a la cantidad de iones cloruro presentes, los cuales favorecen la corrosión por picadura en algunos metales y aleaciones, tales como los aceros inoxidable. Aunque el mecanismo de corrosión por picadura aún no está bien establecido, existen varios procesos posibles a través de los cuales los iones cloruro pueden penetrar la película de óxido y producir cráteres o huecos en la superficie del sustrato adyacentes a la película pasiva. Estos procesos involucran el transporte de iones a través de la película de óxido, el cual se asocia con la adsorción de los iones cloruro sobre la superficie del óxido y la disolución localizada de la película (McCafferty 1995, Szklarska-Smialowska 1999).

No obstante, el incrementar la temperatura que acompaña un proceso, apresura las reacciones químicas de acuerdo a las consideraciones termodinámicas que las gobiernan. La solubilidad del oxígeno se incrementa con el aumento de la temperatura mientras que el equilibrio

químico involucrado en la precipitación de los óxidos e hidróxidos de hierro se altera de manera tal que los productos de corrosión son más susceptibles a depositarse (LaQue 1975, Hartt *et al.* 1984).

La picadura es, por lo tanto, una forma de corrosión localizada que se produce por la acción de celdas locales que forman cavidades en la superficie del metal. Estas cavidades pueden llenarse de productos de corrosión, que por su naturaleza catalítica causan la destrucción del metal (Davis 1999, Domínguez *et al.* 1987).

Con la denominación de aceros inoxidable se designa una serie de aceros que en determinadas condiciones y circunstancias resisten bien la acción de ciertos agentes corrosivos, tales como atmósferas industriales o marinas, ambientes húmedos, ácidos de diversas clases y concentraciones y también el efecto de temperaturas sin sufrir una oxidación o destrucción sensible.

Además, con el incremento del contenido de cromo (al menos 10,5% en masa) y la presencia de otros elementos

(tales como el níquel, manganeso, molibdeno), los aceros inoxidable pueden proveer un rango extraordinario de resistencia a la corrosión (Apraiz 1975, Herrera 1998). Sin embargo, esta resistencia a la corrosión puede ser afectada en algunos ambientes dando lugar a que el hierro sea atacado y oxidado por mecanismos intergranulares o picaduras generalizadas.

Los aceros inoxidables austenítico 304L y 316L contienen un porcentaje en masa de cromo entre 16 y 18%, 10 y 14% de níquel y entre un 2 a 3 % de molibdeno, entre los elementos más comunes. Estos aceros constituyen el grupo de materiales metálicos más versátiles, fáciles de soldar y más resistentes a la corrosión empleados por la ingeniería en la construcción de diferentes estructuras, tuberías, tanques, intercambiadores de calor, generadores de vapor, entre otros, utilizándose en un número elevado de industrias, tales como: generación de electricidad, química, petroquímica, naviera, automotriz, industria procesadora de alimentos, en particular la láctea y cervecera y también la industria nuclear. Sin embargo, ha sido reconocido que estos aceros son particularmente susceptibles a ser atacados de manera localizada en ciertas condiciones ambientales (Cabrera 1997). Es por esta razón, que numerosas empresas buscan mejorar las estructuras de sus instalaciones mediante el uso de metales con alta resistencia a la corrosión, y por ende se hace necesario realizar estudios que involucren parámetros básicos, como la temperatura y el pH, entre otros, que de una u otra forma conlleven a la atenuación o disminución de este daño, y así proponer mecanismos electroquímicos que permitan evaluar la resistencia de estas aleaciones en un determinado ambiente, con el

propósito de disminuir las pérdidas económicas a futuro (Peckner y Bernstein 1977).

En este trabajo se presentan los resultados de las investigaciones realizadas sobre el efecto que tiene la temperatura en la resistencia a la corrosión localizada del acero inoxidable austenítico del tipo 316L en presencia de una solución de NaCl al 3,5% (m/V). En específico se ha investigado la susceptibilidad a la corrosión por picadura, la cual constituye el tipo de falla que con mayor frecuencia se presenta en este tipo de aleaciones.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las muestras de acero inoxidable austenítico 316L fueron suministradas por la empresa metalmecánica COMETASA, en láminas de espesores de 3 mm. La composición química de la aleación en estudio se presenta en la Tabla 1, cuyo análisis se realizó mediante la técnica de espectrometría de masa.

La caracterización microestructural del acero inoxidable austenítico 316L se realizó mediante microscopía electrónica de barrido (MEB) utilizando un microscopio electrónico de barrido marca PHILIPS modelo XL-30 el cual se encuentra acoplado a un detector de espectroscopia por dispersión de energía de rayos X (EDX o EDXS), marca EDAX, modelo DX-4, que permitió determinar la composición química general y puntual de la muestra en estudio, trabajando con un voltaje de aceleración de 25 kV. Para ello se prepararon las superficies de las probetas siguiendo la norma ASTM E.3-80 (1992) para estudios metalográficos.

Tabla 1. Composición química de la aleación estudiada en % m/m, balance hierro.

AISI	C	S	P	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Al	Cu
316L	0,03	0,016	0,022	0,44	1,57	16,50	11,52	2,18	0,006	0,261

Para los ensayos electroquímicos se utilizaron muestras de 1 cm² de área, las cuales fueron preparadas siguiendo el procedimiento descrito para la preparación de muestras metalográficas. Una vez preparada la superficie a exponer se procedió a conectar un cable conductor, utilizando como material de aporte una aleación 60% Pb y 40% Sn, obteniéndose así el electrodo de trabajo. Como medio electrolítico se utilizó una solución al 3,5% de NaCl.

Para generar las pendientes de Tafel, se seleccionó como valor de referencia el potencial de circuito abierto

(E_{corr}), al cual se le sumó y restó 0,3 V ($E_{corr} \pm 0,3$ V). La velocidad de barrido utilizada fue de 2 mV/s. A través de este análisis, se obtuvieron las pendientes de Tafel anódica y catódica, el potencial de corrosión y la densidad de corriente de corrosión a las distintas temperaturas siguiendo la norma ASTM G 3-89 (1992) para pruebas de corrosión electroquímicas. Todos los ensayos electroquímicos se realizaron utilizando Voltalab PGP 201 potenciostato/galvanostato.

Una vez realizados los ensayos electroquímicos, se procedió a observar las muestras mediante microscopía

electrónica de barrido, a fin de evaluar el daño producido en las diferentes temperaturas estudiadas y establecer una relación entre éste y los resultados obtenidos mediante las curvas de polarización potenciodinámicas.

Igualmente se realizó análisis por interferometría óptica (IO) de luz blanca utilizando el interferómetro Zygo New View 200, el cual realizó un barrido optoelectrónico sobre el área seleccionada detectando las irregularidades superficiales presentes en el material, capaces de reflejar luz visible. Para este ensayo se tomaron las muestras que presentaron daños por corrosión y donde se realizó el estudio de las picaduras encontradas, calculando el factor de picadura de las probetas que resultaron susceptibles al proceso de corrosión siguiendo la norma ASTM G 46-76 (1992).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de superficie de la aleación estudiada permitió observar una microestructura de granos austeníticos equiaxiales, con presencia de precipitados en sus bordes, capaces de generar ligero ataque localizado dentro de los granos que asemejan picaduras, el cual puede deberse al desprendimiento de algunos precipitados que ocupan esos lugares y que pueden asumirse como partículas ricas en cromo o molibdeno en la zona del metal base, tal como se muestra en la Figura 1.

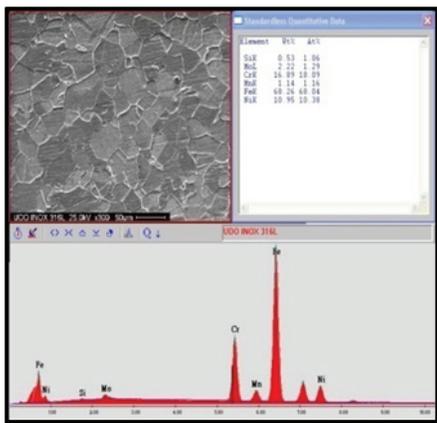


Figura 1. Microestructura del acero inoxidable austenítico 316L y su composición química.

Estas partículas ricas en cromo y molibdeno podrían ser los carburos del tipo $M_{23}C_6$, donde M suele ser (Cr+Mo+Fe). De acuerdo a su ubicación y composición química, estos precipitados producen empobrecimiento de cromo en las áreas adyacentes a los mismos, lo cual traería como consecuencia la susceptibilidad del acero a la corrosión intergranular y corrosión por picaduras (Figuroa *et al.* 2008). Además, se pudo conocer la

composición química elemental por espectroscopia por dispersión de energía de rayos X, en la cual se observó la presencia de Fe, Cr y Ni como elementos químicos mayoritarios, así como también se reflejaron los elementos minoritarios, como: Mo, Mn y Si, los cuales son típicos de estos aceros, corroborando la presencia de precipitados de Mo. En los aceros inoxidables de tipo AISI 316, el Mo puede estar presente en una concentración entre 2 y 3% en masa y su efecto sobre la resistencia a la corrosión por picaduras e intergranular todavía no ha sido exactamente establecido. Investigadores han encontrado empobrecimiento de cromo y de molibdeno en las zonas adyacentes al límite de grano favoreciendo la corrosión intergranular (Briant y Hall 1983). Sin embargo, otros investigadores indican que al aumentar el contenido de Mo de 0,07 a 2,27% en masa, disminuye la cantidad de carburos precipitados y concluyen que el Mo aumenta la resistencia a la corrosión intergranular por retardar la precipitación de carburos y participar en la pasivación del acero (Beneke y Sanderbergh 1989).

Otros estudios señalan que cuando estos aceros están sometidos por algún tiempo a temperaturas entre 450 y 850°C, los aceros inoxidables austeníticos muestran precipitación de carburos de cromo en los contornos de granos, a este proceso se le llama sensibilización, lo cual resulta en la disminución del contenido de cromo en las regiones vecinas a los bordes de grano, viéndose su resistencia a la corrosión drásticamente comprometida, tornando el material susceptible a la corrosión por picaduras e intergranular en ciertos medios (Figuroa 2004).

A continuación se presentan las curvas de polarización potenciodinámica del acero inoxidable austenítico 316L. La Figura 2 muestra un potencial de corrosión de -315 mV y una densidad de corriente de corrosión (I_{corr}) de aproximadamente $0,3029 \mu A \cdot cm^{-2}$ para las probetas a 30°C. Por otro lado, las probetas sometidas a 45°C presentaron un desplazamiento del potencial de corrosión hacia valores negativos de -347 mV, y un aumento de la densidad de corriente hacia valores más positivos alrededor de $1,6124 \mu A \cdot cm^{-2}$, mientras que la muestra sometida a 60°C presentó un comportamiento más activo con el incremento de la temperatura con respecto a las muestras anteriores (Fig. A), continuando su recorrido hacia la región catódica, cuyo potencial de corrosión es de -410 mV y una densidad de corriente de corrosión de $2,9591 \mu A \cdot cm^{-2}$. Este aumento de la densidad de corriente hacia valores más positivos acelera la cinética de reacción de corrosión, asociado al aumento de la temperatura y a los iones agresivos presentes en la solución, rompiendo

de esta manera la película de óxido de cromo protectora característica de estos aceros, lo cual pudiera estar asociado con el mecanismo de penetración de dichos iones en la superficie desprotegida de la aleación en estudio.

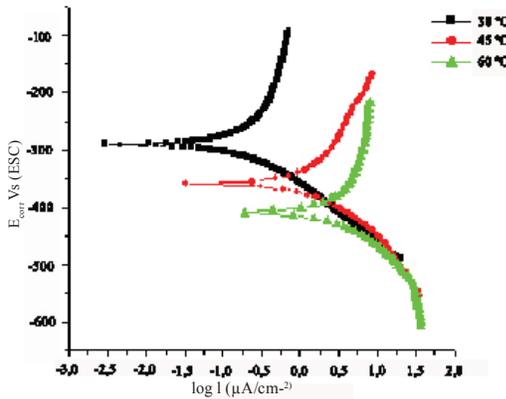


Figura 2. Curvas de polarización potenciodinámica del acero inoxidable austenítico 316L a diferentes temperaturas en solución electrolítica al 3,5%.

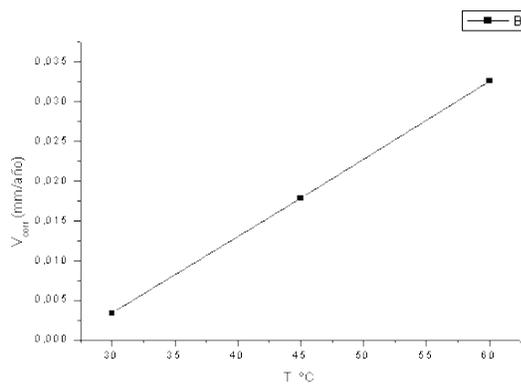


Figura A. Efecto de la temperatura sobre la rapidez de corrosión del acero inoxidable austenítico 316L en medio salino.

Cabe destacar, que al incrementar la temperatura, de acuerdo con los datos promediados presentados en la Tabla 2, los potenciales de corrosión (E_{corr}) se desplazaron hacia valores más negativos y las densidades de corriente de corrosión (I_{corr}) aumentaron, causando una disminución en la resistencia de polarización y, una mayor rapidez de corrosión (V_{corr}). Este aumento de V_{corr} es debido a la interacción de los iones presentes en la

solución, los cuales proporcionan una mayor colisión con la superficie de la muestra, quedando activa la película de óxido. Este fenómeno pudiera estar asociado con el mecanismo de penetración de los iones cloruros en la superficie desprotegida del material, acortando la región de pasividad del metal, y acelerando la difusión del oxígeno hacia la superficie, causando una mayor rapidez de corrosión (Pacheco 1987, Guilarte 1994).

Tabla 2. Parámetros electroquímicos promedios del acero inoxidable austenítico 316L en medio salino a 30, 45 y 60°C, obtenidos usando el método de extrapolación de Tafel a una velocidad de barrido de 2 mVs⁻¹.

Muestras	I_{corr} ($\mu A cm^{-2}$)	E_{corr} (mV)	V_{corr} (mm año ⁻¹)	β_a (mV)	β_c (mV)
30	0,3029	-315,3	$3,52 \times 10^{-3}$	287,6	-152,5
45	1,6124	-347,1	$18,73 \times 10^{-3}$	244,4	-123,1
60	2,9591	-409,6	$34,38 \times 10^{-3}$	221,6	-137,3

De acuerdo con los valores obtenidos mediante los ensayos electroquímicos, se pudo comprobar que a medida que aumenta la rapidez de corrosión se incrementa el ataque localizado de las picaduras debido al aumento de la temperatura, en el medio utilizado. Una vez que los iones cloruro (Cl⁻) penetran la película pasiva hasta el sustrato del metal, la iniciación de la picadura procede a través de las reacciones de disolución asistida por Cl⁻, las cuales ocurren debajo de la película de óxido en la interface óxido/metal. Para que esas reacciones de disolución ocurran, moléculas de agua también deben entrar al óxido y estar presentes en la base de película de manera de proporcionar el electrolito para la disolución localizada (Carranza 2003, Cabrera 1997).

En las micrografías mostradas a continuación se presenta la caracterización de la aleación 316L por MEB después de los ensayos electroquímicos. Las superficies de los electrodos ensayados a la temperatura de 30°C no mostraron presencia de picaduras, lo que corroboraría los resultados obtenidos en los ensayos electroquímicos, indicando una mayor resistencia a la corrosión bajo estas condiciones de estudio, como se puede apreciar en la Figura 3.

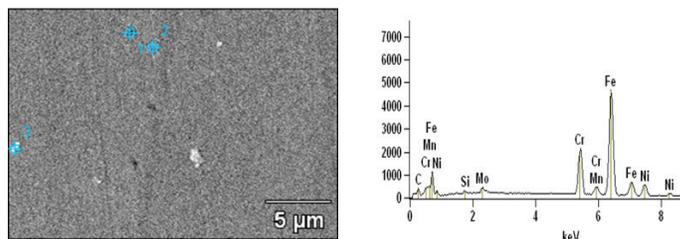


Figura 3. Fotomicrografía obtenida por MEB (izquierda) y análisis químico puntual para el acero inoxidable austenítico 316L (derecha), sometida a ensayos electroquímicos a 30°C. Magnificación: 5000 X.

Por otra parte, las muestras expuestas a 45°C presentaron un proceso de picaduras, observándose el inicio y formación de las mismas, donde estas parecieran tener un crecimiento elíptico que se abre desde el centro hacia la superficie tal como se presentan en la Figura 4 (superior), mientras que a una mayor magnificación, se observó una de las picaduras causadas por la presencia de los iones cloruros, capaces de provocar una mayor pérdida en masa en esas zonas de la Figura 4 (inferior).

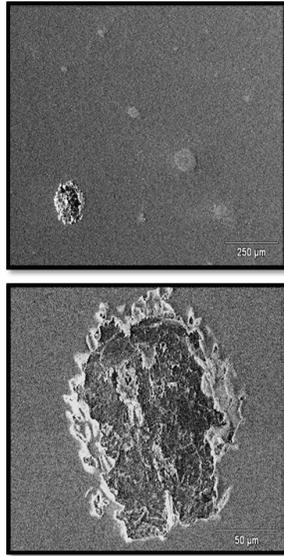


Figura 4. Micrografía del acero inoxidable austenítico 316L expuesta a ensayos electroquímicos a 45°C. Superior: magnificación 100 X. Inferior: magnificación 600 X.

Las micrografías de la Figura 5 reflejan las picaduras observadas en la superficie del acero inoxidable austenítico 316L expuesta a ensayos electroquímicos a 60°C. Esta muestra, a 60°C reflejó mayor número de ataques en la matriz, con picaduras muy localizadas en forma de agujeros que generalmente crecen en la dirección de la gravedad, con comportamiento elíptico, extendiéndose hacia abajo (Fig. 5, superior). La Figura 5 (inferior) muestra una de esas picaduras a mayor aumento, donde se observa pérdida de masa en esas zonas confirmando el efecto de la temperatura sobre los procesos de corrosión específicamente de un proceso localizado con formación de picaduras que poseen profundidad bien acentuada.

La Figura 6 muestra los perfiles utilizados para determinar la profundidad de las picaduras en el acero tratado a 30°C. La Figura 6a es un perfil bidimensional del máximo contraste que acentúa las características superficiales del área en observación que se evidencia en la Figura 6d. La escala de colores ubicada en la derecha del perfil (Fig. 6a) indica las distintas profundidades de

las picaduras, mientras que el triángulo sobre el perfil resulta de la ubicación de la picadura más profunda del área en estudio. La barra horizontal se usa en conjunto con la barra 6c, el cual presenta un perfil transversal de la superficie en la dirección x, a la vez indica el tamaño de la profundidad de la picadura. La opción de poder desplazar esa barra a lo largo del perfil permite obtener una sección transversal de cualquier posición de la superficie analizada. Los valores obtenidos se presentan entre las ventanas 6c y 6d. En este caso el parámetro PV proporciona la profundidad de la picadura del campo analizado. La Figura 6b corresponde a un perfil en 3D de la superficie de la Figura 6d, el cual revela la topografía de la superficie, el contorno y la forma de las picaduras presentes (Apraiz 1975, Herrera 1998).

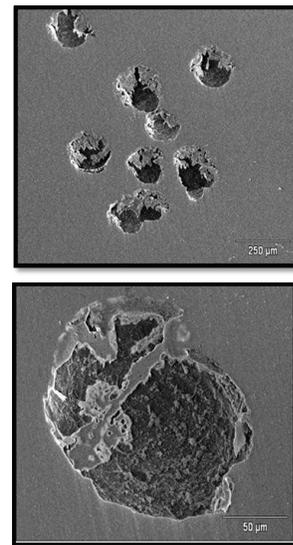


Figura 5. Picaduras observadas en la superficie del acero inoxidable austenítico 316L expuesta a ensayos electroquímicos a 60 °C. Superior: magnificación 100 X. Inferior: magnificación 600 X

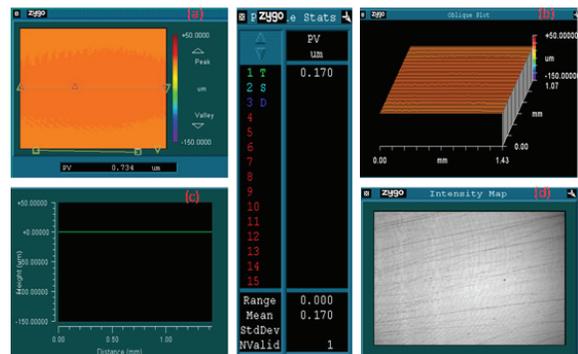


Figura 6. Perfiles de interferometría óptica mostrando la superficie del acero inoxidable austenítico

De acuerdo a los análisis obtenidos se pudo comprobar que la muestra de acero 316L tratada a la temperatura de 30°C, no presentó gran densidad

de picaduras, observándose solo una picadura, con profundidad del orden de 0,017 micra, lo cual concuerda con los resultados obtenidos en los diferentes ensayos aplicados.

Al comparar las superficies de las probetas tratadas a 45°C se observa en el perfil obtenido una mayor pérdida de masa, tal como se ilustra en la Figura 7, donde la profundidad promedio de las picaduras fue de 94,181 micra evaluadas en dos picaduras con profundidades de 83,487 y 104,875 micra, causadas por la presencia del ión Cl⁻ y un aumento de la temperatura.

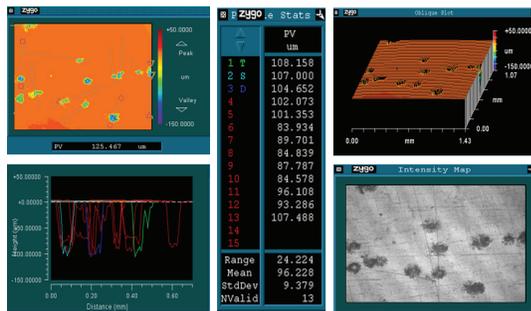


Figura 7. Perfiles de interferometría óptica mostrando picaduras en la superficie del acero inoxidable austenítico 316L a 45 °C en medio salino.

Por otra parte, las muestras sometidas a la temperatura de 60°C reveló picaduras con profundidades promedio de 96,228 micra, tal como lo demuestra los perfiles de interferometría óptica de 13 picaduras presentados en la Figura 8, lo cual corrobora los análisis anteriores. Esto indica una mayor rapidez de corrosión, una menor resistencia a la polarización y un mayor incremento de las picaduras a medida que aumentaba la temperatura.

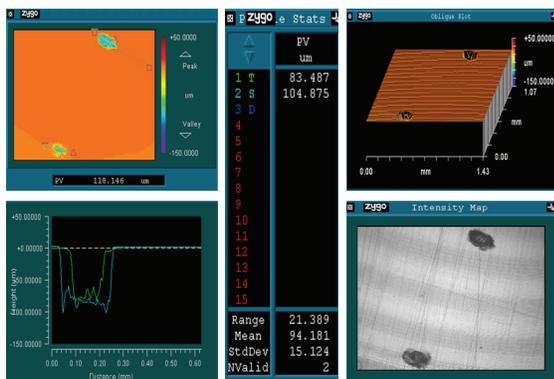


Figura 8. Perfiles de interferometría óptica mostrando picaduras formadas en toda la superficie del acero inoxidable austenítico 316L a 60°C en medio salino.

En estos sistemas electroquímicos hubo presencia de oxígeno, agua y cloruros por lo que es de esperarse un sin número de reacciones, pero las que predominan suelen ser

la presencia de los Cl⁻ disueltos acompañada del efecto de la temperatura, responsables del rompimiento de la capa pasiva. Este fenómeno de ataque localizado en la matriz es denominado corrosión por picadura, la cual puede ser definida como un caso particular de ataque localizado que procede debido a la acción de celdas locales que producen cavidades en la superficie, las cuales pueden llenarse de productos de corrosión y por su naturaleza autocatalítica causan la destrucción del metal.

De las distintas formas de corrosión que sufren los metales, la picadura es una de las más destructivas e insidiosas (Bockris y Amulya 1979, Paredes 2005). Las estructuras fallan por perforación con solamente un pequeño porcentaje de pérdida de peso del área total de las mismas, ocasionando daños irreparables en las estructuras metálicas.

CONCLUSIONES

La caracterización microestructural del acero inoxidable 316L por microscopía electrónica de barrido permitió revelar una microestructura constituida por una matriz de grano austenítico.

El potencial a circuito abierto o de equilibrio del acero inoxidable 316L presentó un desplazamiento menor hacia valores más negativos cuando está sometida a temperatura de 30°C. Esto se asocia a la formación de una película tenue de óxido de cromo, la cual inhibe la corrosión.

Las curvas de polarización potenciodinámicas en una solución electrolítica de NaCl al 3,5% mostraron un desplazamiento hacia la zona catódica a una mayor temperatura, resultando susceptible esta aleación a la corrosión por picadura a 45 y 60°C.

La temperatura es la variable que más afecta el comportamiento a la corrosión general y localizada de esta aleación en medio salino.

Las micrografías obtenidas por microscopía electrónica de barrido e interferometría óptica no evidenciaron corrosión por picaduras a la temperatura de 30°C.

Los perfiles en 2D proporcionaron información cuantitativa de la profundidad de las picaduras, mientras que los perfiles 3D permitieron caracterizar la morfología de las mismas.

La técnica de interferometría óptica proporciona

información exacta sobre los parámetros más importantes en la evaluación de la corrosión por picadura, como lo son: la profundidad y la morfología de las picaduras.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APRAIZ J. 1986. Aceros especiales y otras aleaciones. Sexta edición. Editorial. Dossat. Madrid. 652 pp.
- ASTM E 3-80. 1992. Standard methods of preparation metallographic specimens. Book of ASTM Standards. ASTM Philadelphia, vol. 03.01. pp. 82-86.
- ASTM E 3-89. 1992. Standard practice for conventions applicable to electrochemical measurements in corrosion testing. Book of ASTM Standards. ASTM Philadelphia, vol. 03.02. pp. 56-61.
- ASTM G 46-76. 1992. Standard practice for examination and evaluation of pitting corrosion. Book of ASTM Standards. ASTM Philadelphia, vol. 03.02. pp. 174-179.
- BENEKE R, SANDERBERGH R. 1989. Corrosion localisée. *Corrosion Sci.* 29(5):543-555.
- BOCKRIS J, AMULYA R. 1979. Electroquímica moderna. Volumen 2. Editorial Reverté, S.A. Barcelona. pp.1521.
- BRIANT C, HALL E. 1983. Sensitization of austenitic stainless steels II. Commercial purity alloys. *Corrosion.* 39(4):132-143.
- CABRERA R. 1997. Corrosión localizada en aceros inoxidables del tipo AISI 316 modificados con vanadio. Trabajo de Ascenso a Profesor Titular. Universidad Simón Bolívar, Caracas, Venezuela.
- CARRANZA M, ÁLVAREZ G. 1995. The effect of temperature on the passive film properties and pitting behaviour of a Fe-Cr-Ni alloy. *Corrosion Sci.* 38(6):909-925.
- DAVIS R. 1999. Corrosion of aluminium and aluminium alloys. Segunda Edición. Editorial ASM International. pp. 313.
- DOMÍNGUEZ A, CASTRO M, MATOS R, HING R. 1987. Introducción a la corrosión y protección de metales. Edición ENPES MES. La Habana. pp. 484.
- FIGUEROA Y. 2004. Estudio de la corrosión por bacterias sulfato reductoras en los aceros inoxidables 304L y 316L. Trabajo de Grado para *Magister Scientiarum*. Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela.
- FIGUEROA Y, CAMERO S, PRIN JL, RÉQUI R. 2008. Evaluación de la corrosión inducida por bacterias sulfato reductora en un acero inoxidable 316L. *Rev. LatinAm. Metal. Mater.* 28(1):60-72.
- GUILARTE J. 1994. Cinética de corrosión y pasivación del acerosidor (ARCO) en medio acuoso salino. Correlación microestructural. Trabajo de Grado. Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela.
- HARTT W, CULBERSON C, SMITH S. 1984. Corrosion. *NACE.* 40(11):609-618.
- HERRERA H. 1998. Mecanismo de precipitación de la fase sigma y su efecto en las propiedades mecánicas de un acero inoxidable austenítico 304H. Trabajo de Grado. Universidad de Oriente, Barcelona, Venezuela.
- LAQUE F. 1975. Marine corrosion. John Wiley and Sons Inc. New York. pp. 182.
- MCCAFFERTY E. 1995. The electro de kinetics of pit initiation on aluminium. *Corrosion Sci.* 37(3):481-492.
- PACHECO C. 1987. Influencia de vanadio sobre el comportamiento a la corrosión electroquímica en soluciones acuosas salinas de la aleación de aluminio 6063-T5 (enfriada en aire). Trabajo de Grado. Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela.
- PAREDES S. 2005. Corrosión en medio ambiente salino de la aleación comercial de Aluminio CVG-ALCASA 3003 con temple H14, H16 y H18. Mn en medio ambiente salino. Trabajo de Grado para *Magister Scientiarum*. Universidad Nacional Experimental de Guayana, Venezuela.
- PECKNER D, BERNSTEIN I. 1977. Handbook of stainless steels. McGraw Hill Inc, New York. pp. 880.
- SZKLARSKA-SMIALOWSKA Z. 1999. Pitting corrosion of aluminium. *Corrosion Sci.* 41(9):1743-1767.