

CORROSION DEL INCOLOY-800H POR SALES FUNDIDAS A ALTA TEMPERATURA

CORROSION OF INCOLOY-800H BY MOLTEN SALTS AT HIGH TEMPERATURE

C. Cuevas-Arteaga^{1*}, J. Porcayo-Calderon², G. Izquierdo-Montalvo² y G. González-Rodríguez¹

¹ Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Av. Universidad 1001, Col. Chamilpa C.P. 62210, Cuernavaca, Morelos, México

² Instituto de Investigaciones Eléctricas Palmira 113, C.P. 62440 Temixco, Morelos, México

Resumen

Se presentan cinéticas de corrosión de la aleación Incoloy-800H al ser expuesta en la sal fundida 80% mol Na₂SO₄-20% V₂O₅ a 700 y 900°C. Las mediciones de las cinéticas de corrosión se obtuvieron aplicando la técnica electroquímica de resistencia a la polarización lineal (Rpl) y la técnica convencional de pérdida de peso (PP). El objetivo principal de esta investigación fue validar la aplicación de la técnica electroquímica mediante la técnica convencional. Una comparación de las velocidades de corrosión obtenidas mediante las dos técnicas durante diez días, permitieron observar importantes diferencias, por tanto las mediciones electroquímicas no fueron validadas, implicando que la técnica Rpl no puede ser aplicada confiablemente en sales fundidas bajo las condiciones planteadas. También se obtuvieron fluctuaciones espontáneas de la corriente mediante la técnica de ruido electroquímico (RE), las cuales fueron analizadas y comparadas con los resultados del análisis visual de las probetas expuestas en pruebas por pérdida de peso. Ambos resultados concordaron en que al inicio de la corrosión se presentó corrosión localizada en forma de picaduras. Se realizaron análisis por difracción de rayos X de los productos de corrosión. Los resultados revelaron la presencia de los óxidos NiO, Cr₂O₃, Fe₂O₃, y NiFe₂O₄. Se concluye que la técnica electroquímica de Rpl no es una herramienta confiable en la determinación de la velocidad de corrosión de materiales metálicos expuestos en sales fundidas a alta temperatura, y que la técnica de RE puede confirmar la presencia de picaduras en los procesos de corrosión.

Palabras clave: corrosión en caliente, técnicas electroquímicas, sales fundidas, corrosión a alta temperatura.

Abstract

Kinetics corrosion data have been obtained of Incoloy-800H being exposed to 80 mol % Na₂SO₄-20V₂O₅ mixture at 700 and 900°C. The measurements of kinetics corrosion were determined applying the linear polarization resistance technique and the conventional weight loss method. The main objective of this research was to validate the electrochemical technique with the conventional technique. A comparison of daily corrosion rates during ten days, showed important differences in values, hence Rpl electrochemical technique was not validated to be reliably applied in molten salts at high temperature under the established conditions. Spontaneous current fluctuations were also obtained by electrochemical noise technique, which were analyzed and compared with visual observations of corroded specimens from weight loss method. Both results were in accordance to the presence of pits at the beginning of corrosion process. XRD analysis was performed, determining the formation over the metallic surface of NiO, Cr₂O₃, Fe₂O₃ and NiFe₂O₄ oxides, which are the most stables in Fe-Cr-Ni alloys. It was concluded that Rpl technique is not a reliable tool in determining the corrosion rate of metallic materials exposed to molten salts, and that the electrochemical noise technique is able to confirm the presence of pitting corrosion in molten salts.

Keywords: hot corrosion, electrochemical techniques, molten salts, high temperature corrosion.

1. Introducción

En las plantas de generación eléctrica se requiere producir vapor a temperaturas entre los 540 y 565°C, este vapor suministra energía de presión directamente a las turbinas para la generación de electricidad.

Normalmente la generación de vapor se lleva a cabo mediante la operación de calderas que utilizan aceite residual, el cual al quemarse produce gases con alto contenido calórico. El calor generado es transferido a través de las superficies de los distintos

*Autor para la correspondencia E-mail: ccuevas@uaem.mx
Tel. y Fax: (77) 73297084 Ext. 6207

dispositivos de intercambio de calor de las calderas, como recalentadores, sobrecalentadores y economizadores. El aceite residual o combustóleo contiene impurezas de vanadio (350-600 ppm), de sodio (50-200 ppm), y un porcentaje en peso de azufre (2.5-4.5), además de pequeñas concentraciones de níquel, hierro, calcio, silicio, aluminio, potasio y magnesio (Paul y col. 1990). Es del lado de los gases de las calderas y durante la combustión que se producen cenizas, mismas que contienen compuestos de vanadio, azufre y sodio, los cuales se forman mediante reacciones químicas entre las mismas impurezas y entre las impurezas y los gases de combustión (O_2 , SO_2 , SO_3). Las cenizas llegan a las superficies exteriores de los tubos en forma líquida como depósitos de Na_2SO_4 y de V_2O_5 (Wong y col., 1995) produciendo la corrosión por sales fundidas a alta temperatura. Este tipo de corrosión ha sido observada en los sobrecalentadores y recalentadores, los cuales pueden tener temperaturas de 600 a 650°C, y partes no refrigeradas como soportería, separadores y mamparas que pueden tener temperaturas de hasta 1000°C (Cutler y col., 1978). El fenómeno de corrosión en caliente, es la degradación acelerada de los materiales, cuya superficie está cubierta por una capa delgada de sales fundidas expuestas a un medio ambiente gaseoso (Gupta y col., 1980), lo cual produce adelgazamiento del espesor de los materiales y por tanto reduce la vida útil de los mismos.

Una característica de las sales fundidas es que se comportan como electrolitos, por tanto se puede considerar que la corrosión en caliente es un proceso de naturaleza electroquímica, involucrando la transferencia de electrones (Ratzer, 1996). Si el fenómeno de corrosión es un proceso electroquímico y las sales fundidas son consideradas conductores iónicos, es posible realizar investigación de este fenómeno mediante técnicas electroquímicas, las cuales se basan en reacciones de oxidación y reducción. Las

técnicas electroquímicas han sido utilizadas desde hace varias décadas para la investigación, monitoreo y control de la corrosión en soluciones acuosas y en sales fundidas, y cada vez se han hecho más sofisticadas, de tal modo que hoy en día se puede obtener información más detallada sobre el comportamiento de la corrosión de los materiales, sin embargo es importante considerar que puede haber algunas limitaciones para algunos sistemas. Algunas técnicas que han sido aplicadas son: curvas de polarización (CP), resistencia a la polarización lineal (Rpl), ruido electroquímico (RE) e impedancia electroquímica (IE).

El objetivo principal de este trabajo fue evaluar la resistencia a la corrosión de la aleación Incoloy-800H en presencia de la mezcla 80% mol Na_2SO_4 -20% V_2O_5 a 700°C y 900°C aplicando la técnica electroquímica de resistencia a la polarización lineal y la técnica de pérdida de peso (PP). Una comparación de los resultados de ambas técnicas permitirá validar la técnica de Rpl mediante la técnica de PP; ya que esta última es la única aceptada para evaluar el desempeño de materiales expuestos en cenizas de combustóleo en calderas. La técnica de pérdida de peso ha sido una de las más usadas durante más de cuatro décadas en la determinación de la resistencia a la corrosión de materiales, y su aplicación sigue siendo ampliamente recomendada, ya que proporciona buenas expectativas de precisión. Adicionalmente, se realizaron otras dos pruebas electroquímicas: curvas de polarización lineal y ruido electroquímico. La primera fue necesaria para la obtención de las pendientes de Tafel, requeridas en la determinación de la velocidad de corrosión a través de Rpl; y la segunda para la determinación del tipo de corrosión, sea localizada o uniforme. La caracterización de la manera en la cual el material se corroe, es importante por dos razones: las correlaciones matemáticas aplicadas a los datos experimentales de Rpl

suponen que los materiales en estudio se corroen uniformemente; y segunda porque determina la resistencia del material, ya que la corrosión por picadura presenta mayor velocidad de corrosión y mayores riesgos de daño al material. La composición química de la aleación Incoloy-800H está dada en la tabla 1 (Rothman, 1982).

Tabla 1. Composición porcentual de la aleación Incoloy-800H (UNS NUM. N0810).

| Ni | Cr | Ti | Al | C | Fe |
|------|------|-----|-----|------|-------|
| 32.5 | 21.0 | 0.4 | 0.4 | 0.08 | 45.62 |

2. Metodología experimental

La preparación de las probetas (especímenes en estudio) consistió en el corte y lijado de pequeñas piezas de 8x5x3 mm. El lijado se hizo con lijas de carburo de silicio grado 120 a 600, posteriormente las probetas se limpiaron con acetona y se almacenaron por uno o dos días en un desecador. Para la preparación de la mezcla de sales corrosivas se utilizaron reactivos tipo analítico, cuyas pesadas se hicieron en una balanza analítica digital con una precisión de 0.0001g. La mezcla se homogeneizó en un mortero de ágata. El procedimiento de las pruebas por inmersión, así como la preparación de las probetas antes y después de la inmersión se realizó tomando en consideración los estándares ASTM G1 y G31, (1994).

2.1 Procedimiento en pruebas de pérdida de peso

Se calculó el área total de las probetas y se obtuvo la masa inicial mediante una balanza analítica. La cantidad de sustancia corrosiva que cubrió las probetas fue de 500 mg/cm² (Wong y col., 1995). Las probetas, junto con la mezcla corrosiva se colocaron en crisoles de 20 ml, los cuales se introdujeron en un horno tipo mufla. Las pruebas se hicieron por duplicado en un periodo de 10

días, de tal modo que dos probetas fueron desalojadas de la mufla cada día. Cumplido el tiempo de exposición, las probetas se limpiaron mecánicamente, y los productos de corrosión (obtenidos de la limpieza) se conservaron para su análisis por difracción de rayos X. La diferencia entre la masa inicial y la masa final dividida entre el área inicial de la probeta fue la masa perdida por el efecto de la disolución de la probeta al ser expuesta en la mezcla corrosiva, cuyas unidades fueron g/cm² día.

2.2 Procedimiento en pruebas electroquímicas

Para la obtención de curvas de polarización y para las pruebas de Rpl, el equipo de medición que se usó fue un potenciostato automatizado marca ACM Instruments Auto DC controlado por una computadora personal (PC). El arreglo de la celda electroquímica fue de tres electrodos: el de trabajo, el de referencia y el auxiliar (Ratzer, 1996). El procedimiento experimental fue el siguiente: la mezcla corrosiva se introdujo en un crisol de porcelana de 20 ml, el cual se colocó en un soporte dentro de un horno vertical que se mantenía a la temperatura de prueba con una precisión de $\pm 4^{\circ}\text{C}$. La temperatura en el interior del horno fue monitoreada por medio de un termopar tipo K, el cual fue conectado a un multímetro digital. En las pruebas de Rpl y curvas de polarización se usaron alambres de platino de 5 mm de diámetro como electrodos de referencia y auxiliar, mismos que se introdujeron en tubos cerámicos de alúmina para evitar contacto eléctrico. El electrodo de trabajo se soldó a un alambre de nicromel que sirvió como conductor eléctrico, este alambre también se colocó dentro de un tubo cerámico de alúmina, de tal modo que sólo quedó expuesta la probeta al medio corrosivo. Las partes huecas entre la probeta y el tubo cerámico se sellaron con un cemento refractario. El esquema de este arreglo junto

con el detalle del electrodo de trabajo se presenta en la Fig. 1. Para la obtención de las curvas de polarización se aplicó una diferencia de potencial de ± 200 mV en forma potenciodinámica, a una velocidad de barrido de 1 mV/s (Ratzer, 1996), (Porcayo, 1998). Las curvas de polarización anódicas y catódicas se obtuvieron a las 2 horas de iniciada la exposición al medio corrosivo, tiempo en el que el potencial de corrosión se mantuvo constante. En las pruebas de Rpl se introdujo una perturbación de ± 10 mV respecto al potencial libre de corrosión, a una velocidad de barrido de 1 mV/s (Dean, 1976), obteniendo datos de resistencia a la polarización lineal durante 10 días cada 30 minutos. Esta prueba se realizó con base en el estándar ASTM G59 (1991), y puede considerarse no perturbativa, ya que el sobrepotencial aplicado es pequeño y el sistema vuelve al equilibrio en un tiempo menor al tiempo entre tomas de datos.

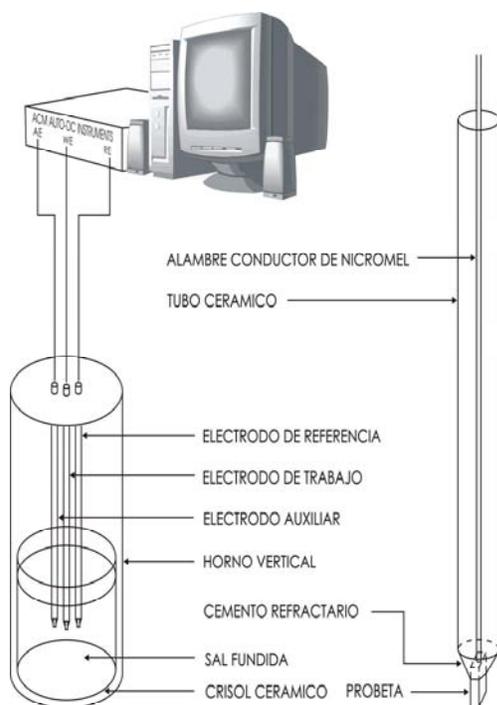


Fig. 1. Diagrama experimental de las pruebas electroquímicas.

En el caso particular de las pruebas de ruido electroquímico, el arreglo fue de dos electrodos de trabajo idénticos (probetas) y un electrodo de referencia de platino, utilizando un amperímetro de resistencia nula auto-ZRA también acoplado a una PC. Las pruebas de ruido electroquímico tuvieron una duración de 24 horas y fueron no perturbativas, a través de ellas se obtuvieron fluctuaciones espontáneas de la corriente de corrosión a circuito abierto en función del tiempo. El procedimiento en la realización de estas pruebas fue similar al de las pruebas de Rpl, pero con sus respectivas variaciones en lo que se refiere a los parámetros de prueba.

3. Resultados y discusión

La Fig. 2 muestra las velocidades de corrosión instantáneas obtenidas cada 30 min durante 10 días, expresada en g/cm^2 día, para las dos temperaturas en estudio.

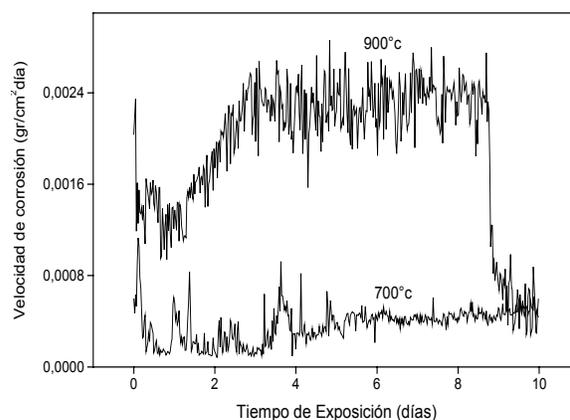


Fig. 2. Velocidad de corrosión instantánea del Incoloy-800H expuesto en la mezcla corrosiva 80% mol Na_2SO_4 -20% mol V_2O_5 a 700 y 900°C mediante la técnica de Rpl.

Estos datos se determinaron directamente de los resultados experimentales obtenidos mediante la técnica electroquímica de Rpl, aplicando la ecuación de Stern-Geary que relaciona la corriente de corrosión I_{corr} (mA/cm^2) con la resistencia a la polarización lineal Rpl (ohms.cm^2), (Farrel y col., 1991):

$$I_{corr} = \frac{B}{R_{pl}} \quad (1)$$

$$B = \frac{b_a b_c}{2.303(b_a + b_c)} \quad (2)$$

Siendo B una constante adimensional que se determinó para cada sistema en función de las pendientes Tafel b_a y b_c , las cuales se obtuvieron de las curvas de polarización lineal, cuyos valores a 700°C fueron $b_a = 98.5$ mV/década, $b_c = 73.9$ mV/década; mientras que a 900°C, $b_a = 186.5$ mV/década y $b_c = 83.58$ mV/década. Posteriormente, la corriente de corrosión I_{corr} , se convierte en unidades de pérdida de masa o velocidad de corrosión ($\text{g}/\text{cm}^2\text{día}$) al aplicar la correlación matemática de la Ley de Faraday, la cual relaciona la masa del electrodo de trabajo con la cantidad de electricidad generada en un proceso electroquímico (ASTM G-102, 1994). La ley de Faraday se define de la siguiente manera:

$$MR = K I_{corr} EW \quad (3)$$

$$EW = \frac{1}{\sum \frac{n_i f_i}{AW_i}} \quad (4)$$

Donde K es una constante de conversión y EW es el peso equivalente del material. La variable EW está en función de n que es el número de electrones transferidos o perdidos durante la oxidación del elemento i de la aleación durante los procesos de corrosión. Normalmente, el valor de n es la valencia estable de los elementos oxidados, con la cual reaccionan con el oxígeno para formar sus óxidos protectores. Con el propósito de obtener la valencia de oxidación de los elementos principales Cr, Ni y Fe que componen la aleación, los productos de corrosión obtenidos de la limpieza de las probetas de las pruebas de PP se analizaron por difracción de rayos X, para ello se

eligieron las muestras de los días 1, 5 y 10. Los resultados a 700°C mostraron la presencia de Na_2SO_4 como compuesto corrosivo sin reaccionar, ya que hay poca disociación de este compuesto a esta temperatura (Alexander y col., 1963); mientras que a 900°C la presencia de Na_2SO_4 disminuyó considerablemente después del primer día de exposición, debido principalmente a la mayor disociación de este compuesto que se presenta a la más alta temperatura. Los óxidos que se encontraron fueron: Cr_2O_3 , Fe_2O_3 , NiO y NiFe_2O_4 , este último como una espinela formada por el NiO y el Fe_2O_3 . Por tanto las valencias de los elementos fueron 2 para el Ni, y 3 para el Cr y el Fe. f_i es el porcentaje en peso de los elementos de la aleación y AW_i es el peso molecular del elemento i. Posteriormente, los resultados mostrados en la Fig. 2 se integraron mediante la Ec. 5 para obtener la velocidad de corrosión acumulada diaria durante los 10 días de exposición, misma que servirá para compararla con los resultados obtenidos con la técnica de pérdida de peso.

$$V_{cor} = \sum_{i=1}^{48_j} MR \Delta t \quad (5)$$

Donde i en este caso representa el número de datos diarios tomados experimentalmente (48), y j el número de día para el cual se está calculando la velocidad de corrosión diaria. Las Fig. 3 y 4 muestran una comparación de las velocidades de corrosión obtenidas mediante pérdida de peso y R_{pl} a 700 y 900°C. En ambos casos se observa que la velocidad de corrosión resultó mayor con la técnica electroquímica, existiendo una diferencia de un orden de magnitud. También puede observarse que las velocidades de corrosión son mayores a la más alta temperatura, siendo la corrosión un fenómeno que se activa térmicamente, conducta que se refleja en los resultados obtenidos con ambas técnicas.

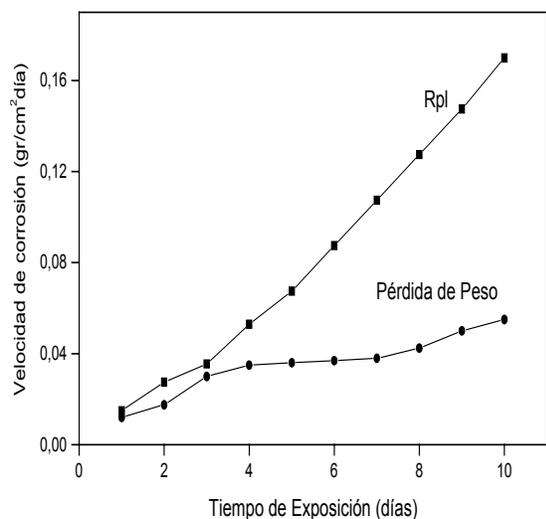


Fig. 3. Comparación de velocidades de corrosión obtenidas mediante Rpl y PP, del Incoloy-800H expuesto en la mezcla 80% mol Na_2SO_4 -20 V_2O_5 a 700°C.

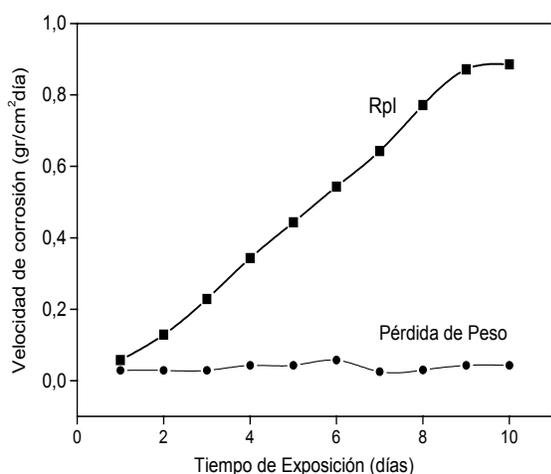


Fig. 4. Comparación de velocidades de corrosión obtenidas mediante Rpl y PP, del Incoloy-800H expuesto en la mezcla 80% mol Na_2SO_4 -20 V_2O_5 a 900°C.

Es posible que las diferencias observadas se deban a que en las pruebas electroquímicas la cantidad de mezcla corrosiva fue mayor que en pérdida de peso, lo cual se debió a que la celda electroquímica requirió de mayor agente corrosivo para estar totalmente cubierta. Se estima que la cantidad

de mezcla corrosiva utilizada en las pruebas electroquímicas respecto a la utilizada en pérdida de peso fue de 2 a 3 veces mayor, condición que produce mayor velocidad de corrosión, ya que ésta es proporcional a la cantidad de agente corrosivo, según lo explica Paul y col., (1988).

Por otra parte, se observó que las probetas de las pruebas por pérdida de peso presentaron cierta corrosión localizada por picadura, por tanto, debido a que la velocidad de corrosión se determinó considerando que la corrosión es uniforme, el error introducido produce una subestimación en la velocidad, haciendo más pronunciada la diferencia entre los resultados por ambas técnicas. Finalmente, las pendientes Tafel que se usaron se obtuvieron a las 2 horas de iniciada la exposición, haciendo la consideración de que éstas son constantes a lo largo de los 10 días de prueba. Respecto a este punto, con base en los resultados de RE, Figs. 5 y 6, y a las observaciones de las probetas expuestas mediante PP, se tiene la certeza de que las pendientes cambian, ya que la interfase metal-sales fundidas sufre modificaciones importantes por la presencia de picaduras.

Los resultados de RE se muestran en las Figs. 5 y 6. Las gráficas presentan las fluctuaciones en corriente con respecto al tiempo a distintos tiempos durante 24 horas de prueba. A 700°C, a las dos horas ya se apreciaban pequeños picos que pueden correlacionarse con la iniciación de picaduras, a las 3:50 horas este comportamiento se acentuó. Al inicio de la serie a 24 horas se aprecia una importante fluctuación de la corriente, y posteriormente un comportamiento casi constante de la corriente que indica corrosión uniforme. A 900°C, a una hora de exposición y a las 24 horas se observaron picos anódicos y catódicos que también indican la presencia de picaduras.

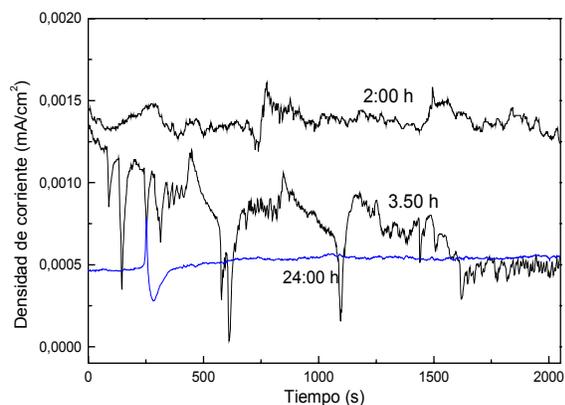


Fig. 5. Fluctuaciones espontáneas de la corriente obtenidas mediante ruido electroquímico del Incoloy-800 expuesto en la mezcla 80% mol Na_2SO_4 -20 V_2O_5 a 700°C.

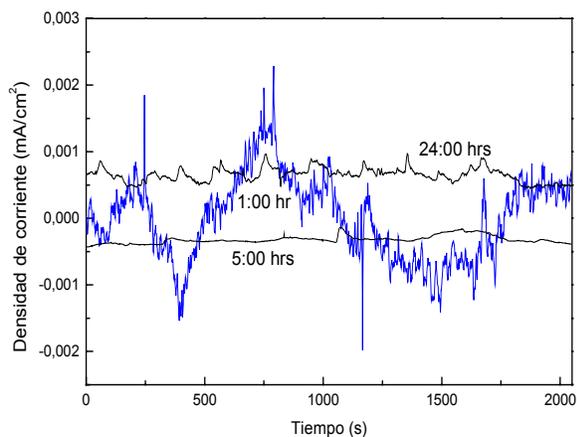


Fig. 6. Fluctuaciones espontáneas de la corriente obtenidas mediante ruido electroquímico del Incoloy-800H expuesto en la mezcla 80%mol Na_2SO_4 -20 V_2O_4 a 900°C.

Como ya se mencionó, un examen visual de las probetas después de la limpieza en pruebas por pérdida de peso, mostró los siguientes resultados: en general para ambas temperaturas se observa que a los primeros 5 días, la cara de las probetas que estuvo en contacto con el medio gaseoso está casi lisa (corrosión generalizada), mientras que la que estuvo de cara al fondo del crisol, presenta corrosión por picadura con una densidad promedio de 3 picaduras por cm^2 , esta condición puede deberse a la presencia de

celdas de concentración por diferencia de oxígeno entre la cara de la probeta que da al fondo del crisol (encontrándose totalmente bañada por el agente corrosivo) y la cara que da al medio ambiente gaseoso donde hay gran concentración de oxígeno. A 700°C, del 6° al 10° día las picaduras se engrandecieron, mostrándose en forma de hendiduras de forma irregular, con tendencia a incrementarse conforme pasaron los días de exposición. A 900°C las probetas del 6° día aparecieron muy corroídas y con bordes muy deformados; del 7° al 10° día, en general se presentó poca corrosión.

Los resultados de RE y los resultados del examen visual de las probetas de pérdida de peso mostraron la misma tendencia del fenómeno de corrosión, es decir, de presentarse en forma de picadura al inicio de la exposición. Conclusiones

Conclusiones

La comparación de velocidades de corrosión obtenidas mediante Rpl y pérdida de peso mostraron importantes diferencias en sus valores, indicando que la técnica electroquímica no puede ser aplicada confiablemente en sales fundidas a alta temperatura bajo las condiciones aquí estudiadas. Se presentaron algunas de las posibles razones por las que resultaron estas diferencias. Fue posible corroborar dos condiciones experimentales que ya se habían observado: a mayor cantidad de agente corrosivo mayor velocidad de corrosión, y la presencia de picaduras durante los procesos de corrosión que no se consideren en el cálculo de la misma, conducen a una subestimación en la magnitud de la velocidad de corrosión. Los análisis por difracción de rayos X ayudaron a seleccionar las valencias estables de los elementos de la aleación, mismas que fueron necesarias en el cálculo de la conversión de la densidad de corriente de corrosión a velocidad de corrosión en las pruebas de Rpl.

Los resultados de la técnica de RE confirmaron la presencia de picaduras en los procesos de corrosión, tal como se observó también en las probetas expuestas en las pruebas de pérdida de peso.

Referencias

- Alexander, P. A. y Marsden, R. A. (1963). *Corrosion of superheater materials by residual oil ash*. International Conference on the mechanism of corrosion by fuel impurities. Pp 542-555. Marchwood, Inglaterra.
- ASTM Standard G 1-90 (1994). *Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens*. Pp. 1-7.
- ASTM Standard G 31-72, (1994). Practice for Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metals. Pp. 1-8.
- ASTM G-102-89, (1994). *Standard Practice for Calculation of Corrosion Rates and Related Information from Electrochemical Measurements*. Pp. 1-7.
- ASTM G-59. (1991). *Standard Practice for Conducting Potentiodynamic Polarization Resistance Measurements*. Pp. 1-4.
- Cutler, A. J. B., Flatley, T. y Hay, K. A. (1978). Fire-side corrosion in power-stations boilers. *CEGB Research*. 13-26.
- Dean, Sheldon W., Jr. (1976). Electrochemical methods of corrosion testing, *Corrosion/76*, Pp. 113/1-113/15. Houston Texas, EUA.
- Farrell, D. M., Stott, F. H., Rocchini, G. y Colombo, A. (1991). Electrochemical aspects of high temperature corrosion reactions in combustion systems, *U.K. Corrosion (91)*, Vol. 2. Reino Unido.
- Gupta, Dilip K. y Rapp, Robert. (1980). The solubilities of NiO, CO₃O₄, and ternary oxides in fused Na₂SO₄ at 1220 K. *Journal of the Electrochemistry Society Solid State Science and Technology*, 127, 10.
- Paul, L. D. y Seeley, R.R. (1990). *Oil Ash Corrosion - A Review of Utility Boiler Experience*, Corrosion-90, Pp. 267/1-267/15. Las Vegas Nevada, EUA.
- Paul, L. D. y Daniel, P. L. (1988). An electrochemical test method for predicting rates of corrosion by fireside molten salts in boilers. *Corrosion/88* Pp. 139/1-139/7. Houston, Texas, EUA.
- Porcayo, C. J., (1998). *Protección contra corrosión a alta temperatura por medio de recubrimientos base silicio aplicados por proyección térmica*. Tesis de Doctorado, Facultad de Química-UNAM. México.
- Ratzer, Scheibe H. J. (1996). Electrochemical studies of uncoated and coated Ni-base superalloys in molten sulphate. *4th International Symposium on high temperature corrosion and protection of materials*. Les Emblae, (Var), Francia.
- Rothman, M.F. (1982). *High Temperature Property Data*. Ferrous alloys. Consulting ASM, International. EUA.
- Wong-Moreno A., Marchán, Salgado R.I. y Martínez, L., (1995). Molten salt corrosion of heat resisting alloys. *Corrosion-95*, Pp. 465/1-465/16, EUA.