

## CAPITULO 5

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La morfología de la superficie de los aceros inoxidables y su índice de reflectividad depende del grado de rugosidad, y cambia considerablemente cuando el acero es sometido a un proceso de oxidación a alta temperatura.

La condición superficial inicial afecta la homogeneidad de la capa de óxido de los aceros inoxidables 316L así como la rapidez de formación de la misma, cuando son sometidos a procesos de oxidación a alta temperatura.

Al final del proceso de oxidación a alta temperatura - después de 36 horas de exposición a 900° C - , la muestra cuya condición superficial inicial se obtuvo al pulir con lija grado 400 SiC; es la que presenta una mayor resistencia a la oxidación, esto es, las muestras con acabado superficial rugoso - pulidas con lija grado 180, 320 SiC. - así como las de acabado superficial más fino - pulidas con lija grado 500, 1000 SiC. - al final de la prueba presentaron una menor resistencia a la oxidación. En este trabajo esto fué cuantificado en comparación a las descripciones que se habían hecho en investigaciones anteriores y que no habían sido corroboradas, especialmente durante la etapa inicial del proceso de oxidación.

Para tiempos cortos de exposición el mecanismo de la oxidación de los aceros 316L, a 900 °C, con una superficie obtenida al pulir con lija grado 180 SiC y bajo una atmósfera de aire ambiental, es parabólico. Este comportamiento parabólico está limitado a la etapa inicial de oxidación. La duración de esta etapa depende de la rapidez con que se está llevando a cabo el fenómeno. En el caso del acabado superficial intermedio, la etapa inicial es más corta, por lo que si se hacen comparaciones en un mismo tiempo, parecerá que los acabados intermedios no siguen un comportamiento parabólico y no solo un cambio en la constante de rapidez de oxidación, como ocurre en el caso de los acabados burdos y finos.

Queda abierta la posibilidad para que se continúe estudiando el mismo efecto, pero a tiempos de exposición mayores que los utilizados en esta investigación - así como a temperaturas mayores de 900 °C - ya que por el comportamiento de las curvas de incremento en peso contra tiempo obtenidas durante el proceso de oxidación, es posible suponer que a tiempos de exposición mucho mayores de los aquí analizados, la rapidez de oxidación de las muestras analizadas puede llegar a ser la misma y con un comportamiento del tipo parabólico, independientemente de la condición superficial inicial de las muestras.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 1.- R.A. Lula., *Stainless Steel*, ASM, April 1988.
- 2.- Fontana and Greene, *Corrosion Engineering*, Mc Graw Hill, USA, 1978
- 3.- *Corrosion ASM Handbook Volume 13*, pp 17-76, 547-565. ASM International. USA, 1987.
- 4.- R.A. Hooper, *Stainless Steel, Past, Present and Future*, January 1986.
- 5.- Donald Peckner and I.M. Bernstein, *Handbook of Stainless Steels*, 1977.
- 6.- Adrián I. Zabala, *Aceros Inoxidables y Aceros Resistentes al calor; Propiedades, Transformaciones y Normas*. Limusa 1981.
- 7.- R.M. Davison, T.R. Laurin, J.D. Redmond, H. Watanabe and M. Semchyshen *Development in Stainless Steel: A review of worldwide, Speciality steels and Hard Materials*. AMAX Metals Group, 1600 Huron Parkway, Ann Arbor, Michigan 48105, USA).
- 8.- John M. West. *Basic Corrosion and Oxidation*, Limusa. México 1986
- 9.- *Metal Bulletin stainless survey, An introduction to stainless grades*, 1985.
- 10.- Sedricks, A. John. *Corrosion of Stainless Steels*. Wiley and Sons, Inc. USA, 1979

- 11.- Sydney H. Avner, Introduction to Physical Metallurgy. Mc. Graw Hill. México, 1988.
- 12.- F.B. Pickering, Physical metallurgical development of Stainless Steels.
- 13.- D. R. Gaskell, Introduction to Metalurgical Thermodynamics, Mc Graw Hill. USA.
- 14.- J. O. Molina, Evolución Microestructural del Acero Refractario HP40 + Nb sometido a altas temperaturas, Tesis Doctoral, D.I.M.A.T., U.A.N.L., Mty, N.L. Mayo 1992.
- 15.- H. Uhlig, Corrosion and Corrosion Control, John Wiley, 1971.
- 16.- P.D. Bottomley, J.A. Kneeshaw, J.F. Norton, High Temperature Corrosion of Selected High Alloy Steels in Carburising-Sulphidising-Oxidising Atmospheres Relating to Coal Conversion Processes; Conference Reactivity of Solids, Part A, Dijon France, August 1984.
- 17.- David J. Hall, M. Kamal Hossain and Ray F. Atkinson, Carburisation behaviour of HK40 steel in furnaces used for ethylene production; The IUPAC Conference on the Chemistry of Materials at High Temperature, Harwell, September 1981.
- 18.- J.F. Norton, L. Blidegn, S. Canetoli, P.D. Frampton, Factors affecting the high temperature carburisation behaviour of chromium-nickel alloys in gaseous environments, Verlag Chemie GCmbH, D-6490, Weinheim 1981.
- 19.- U. Ortiz, J. Aguilar, J.L. Cavazos, R. Viramontes, Carburization of HP40 and AISI 304 Alloys by Reducing Gas Atmospheres, 1993; Materials Week TMS Pittsburgh 1993.

- 20.- J. L. Cavazos, Comportamiento de los aceros refractarios AISI 304 y HP40+Nb sometidos a altas temperaturas y una atmósfera oxi-carburizante. Tesis de Maestría, D.I.M.A.T., F.I.M.E., U.A.N.L., Monterrey, N.L., México. Diciembre 1993.
- 21.- Shimadzu Corporation, TGA 50 Thermogravimetric Analyzer Instruction Manual, Analytical Instruments Division. Kyoto, Japan
- 22.- R.C. Mackenzie Differential Thermal Analysis Volume 2. Applications Academic Press. London & New York.
- 23.- Leica Cambridge Ltd. Quantimet Q520 Operators Manual. Clifton Road Cambridge, England. CB1 3QH.
- 24.- John C. Russ, Computer-Assisted Microscopy. The measurement and analysis of Image. Plenum Press, New York, USA, 1990.
- 25.- Synoptics Ltd. Semper 6 Command Reference. England 1989
- 26.- John C. Russ, Surface Characterization: Fractal Dimensions, Hurst Coefficients, and Frequency Transforms. Journal of Computer-Assisted Microscopy, Vol. 2, No. 3, 1990.
- 27.- S. Srinivasan, J. C. Russ, and R. O. Scattergood, Fractal analysis of erosion surfaces. Box 7907, Department of Materials Science and Engineering, North Carolina State University, Raleigh, North Carolina, 1990.

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla</b>	<b>Descripción</b>	<b>Pág.</b>
I	Distintos grados y características de los aceros inoxidable.	6
II	Fallas más comunes en los aceros inoxidable.	7
III	Composición de algunos aceros austeníticos, serie 300.	8
IV	Relación de Pilling-Bedworth para algunos materiales.	13
V	Composición química del acero 316L analizado. (% en peso)	22
VI	Valor medio de niveles de gris, antes y después de la oxidación.	44

## LISTA DE FIGURAS

<b>Fig</b>	<b>Descripción</b>	<b>Pág.</b>
1	Mecanismos de crecimiento de óxidos.	14
2	Acero 316L, sin oxidar, pulido lija 180 SiC. 200X.	26
3	Acero 316L, sin oxidar, pulido lija 320 SiC. 200X.	26
4	Acero 316L, sin oxidar, pulido lija 400 SiC. 200X.	27
5	Acero 316L, sin oxidar, pulido lija 1000 SiC. 200X.	27
6	Imágen pseudo-tridimensional acero 316L sin oxidar pulido lija 180 SiC.	29
7	Imágen pseudo-tridimensional acero 316L sin oxidar pulido lija 320 SiC.	29
8	Imágen pseudo-tridimensional acero 316L sin oxidar pulido lija 500 SiC.	30
9	Imágen pseudo-tridimensional acero 316L sin oxidar pulido lija 1000 SiC.	30
10	Imágen pseudo-tridimensional acero 316L sin oxidar pulido lija 180 SiC.	31
11	Imágen pseudo-tridimensional acero 316L sin oxidar pulido lija 320 SiC.	31
12	Imágen pseudo-tridimensional acero 316L sin oxidar pulido lija 400 SiC.	32
13	Imágen pseudo-tridimensional acero 316L sin oxidar pulido lija 1000 SiC.	32
14	Histograma de nivel de gris acero 316L sin oxidar pulido lija 180 SiC.	33
15	Histograma de nivel de gris acero 316L sin oxidar pulido lija 1000 SiC.	33
16	Reflexión de haz de luz en función del acabado superficial de muestra.	34
17	Valores promedio de nivel de gris, acero 316L sin oxidar.	35
18	Gráfica de incremento en peso contra tiempo. 900 °C. Acero 316L.	37
19	Acero 316L, oxidado, pulido lija 180 SiC. 200X.	40
20	Acero 316L, oxidado, pulido lija 320 SiC. 200X.	40
21	Acero 316L, oxidado, pulido lija 500 SiC. 200X.	41
22	Acero 316L, oxidado, pulido lija 1000 SiC. 200X.	41
23	Histograma de nivel de gris acero 316L oxidado, pulido 180 SiC.	42

24	Histograma de nivel de gris acero 316L oxidado, pulido 1000 SiC.	42
25	Valores promedio de nivel de gris acero 316L a 900°C. Periodo de exposición de 36 horas.	43
26	Imagen pseudo-tridimensional acero 316L oxidado, pulido lija 180 SiC.	45
27	Imagen pseudo-tridimensional acero 316L oxidado, pulido lija 320 SiC.	45
28	Imagen pseudo-tridimensional acero 316L oxidado, pulido lija 500 SiC.	46
29	Imagen pseudo-tridimensional acero 316L oxidado, pulido lija 1000 SiC.	46
30	Acero 316L pulido lija 180 SiC. Antes y después de la oxidación.	49
31	Acero 316L pulido lija 180-vs-320 SiC. Después de la oxidación.	49
32	Acero 316L pulido lija 180-vs-500 SiC. Después de la oxidación.	50
33	Acero 316L pulido lija 180-vs-1000 SiC. Después de la oxidación.	50
34	Acero 316L pulido lija 1000 SiC. Antes y después de la oxidación.	52
35	Imagen resultante de la resta de imagenes antes y después del proceso de oxidación. Muestra pulido 180 SiC.	52
36	Imagen resultante de la resta de imagenes antes y después del proceso de oxidación. Muestra pulido 320 SiC.	53
37	Imagen resultante de la resta de imagenes antes y después del proceso de oxidación. Muestra pulido 400 SiC.	53
38	Imagen resultante de la resta de imagenes antes y después del proceso de oxidación. Muestra pulido 500 SiC.	54
39	Imagen resultante de la resta de imagenes antes y después del proceso de oxidación. Muestra pulido 1000 SiC.	54



## **RESUMEN AUTOBIOGRAFICO**

El Ing. Rodrigo Contreras Carrillo nació el 21 de Marzo de 1971 en la ciudad de Guadalajara, Jalisco, México. Es hijo del Sr. Homero Contreras y de la Sra. Socorro Carrillo. Cursó sus estudios profesionales en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Autónoma de Nuevo León y obtuvo el título de Ingeniero Mecánico Electricista en 1991.

En Febrero de 1992 inicia sus estudios para obtener el grado de Maestro en Ciencias de la Ingeniería Mecánica con especialidad en Materiales en el Doctorado de Ingeniería en Materiales de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.

El Ingeniero Contreras Carrillo cuenta con experiencia en supervisión y desarrollo de proyectos relacionados con la ingeniería.

