

PULIDO ELECTROQUÍMICO DE DISPOSITIVOS METÁLICOS EN LA INDUSTRIA DE LOS IMPLANTES BIOMÉDICOS

Darío. Peña B¹., Grupo de investigaciones en corrosión, C. Vásquez Q¹., y H. Estupiñán D²,
Universidad Industrial de Santander.

Recibido Septiembre 6, 2010 – Aceptado Octubre 2, 2010

<http://dx.doi.org/10.18566/puente.v4n2.a04>

Resumen— El proceso de electropulido de los metales permite mejorar el estado superficial de los dispositivos biomédicos fabricados con acero inoxidable y con aleaciones de titanio. Este proceso se basa en la formación de una pequeña capa viscosa a través de la cual suceden los procesos de disolución de iones y alisamiento superficial. Esta capa permanece como una capa protectora estable y brillante. En este trabajo se hace énfasis en la evaluación, mediante espectroscopia de impedancia electroquímica EIE, del estado superficial de dispositivos de acero inoxidable 316L expuestos a un proceso de electropulido, cuyo previo desarrollo metodológico permitió la selección de una serie de muestras de estudio. Con la información obtenida de los diagramas de impedancia de EIE se determinó el efecto de la temperatura y el tiempo de electropulido sobre el aumento o disminución de la resistencia electroquímica de los dispositivos tratados. También se identificaron los comportamientos capacitivos y resistivos debidos a defectos en la superficie de las muestras, e indicios de la formación de capas pasivas estables.

Palabras clave— Electropulido, 316LVM, capa pasiva, espectroscopia de impedancia electroquímica, capa de Bailby.

Abstract—The electropolishing process of metals allows improving the superficial state of the biomedical devices made with stainless steel. In this work, the evaluation with electrochemical impedance spectroscopy (EIS) of the superficial condition of 316L stainless steel made by an electropolishing process was evaluated. The obtained data from the diagrams of EIS has allowed determining the effect of temperature and time of electropolishing on the increase or decrease of the electrochemical resistance by comparing with the materials without electropolishing process. Also, the capacitive and resistive behaviors were identified by defects in

the surface, and the possible presences of stable passive layers were studied.

Keywords— Electropolishing, 316LVM, Bailby layer, electrochemical impedance spectroscopy.

I. INTRODUCCIÓN

EL pulido es una tediosa pero necesaria operación de acabado para algunos productos en la mayoría de las industrias. Los métodos tradicionales de pulido mecánico suelen ser dispendiosos y promueven imperfecciones como rugosidades y deformaciones en la superficie, aumentando las fallas por fatiga y disminuyendo la resistencia a la corrosión de la piezas [1], [2]. El pulido electroquímico es un método simple y económico que consiste en la disolución anódica del material en el estado transpasivo. Este proceso permite remover inclusiones no metálicas de la superficie y rugosidades, con lo cual se puede mejorar la resistencia mecánica y a la corrosión de las piezas, dándoles un valor agregado.

El pulido electroquímico usualmente ocurre debido a una disolución diferencial dada por la aplicación de una corriente [3], [4]. En este proceso ocurre disolución anódica (factor controlante) a bajas velocidades y se generan las reacciones electroquímicas, formándose una película sobre la superficie del material bajo el mecanismo difusivo. Las teorías que explican los procesos de remoción de material que suceden durante el electropulido apuntan a la formación de la capa de Bailby. Durante el crecimiento de esta capa se aumenta la resistencia de la misma, hasta que se imposibilita la ocurrencia de la reacción electroquímica del electropulido, por tanto el procesos se detiene [5], [6].

Con la aplicación de corriente, la oxidación de la capa cubre las imperfecciones de la superficie que tienen mayor profundidad, y con una determinada gravedad específica, viscosidad, y aislamiento, previene su disolución. Simultáneamente, los picos más altos de los defectos no son cubiertos con esta capa de óxido, por lo tanto reciben grandes corrientes del cátodo y se disuelven rápidamente.

¹ D. Peña y C. Vásquez imparten docencia en la escuela de Ingeniería Metalúrgica de la Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Santander Colombia (correos e.: dypena@uis.edu.co; custodio@uis.edu.co)

² H. Estupiñán estudiante de Doctorado de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad Industrial de Santander, Santander, Colombia (correo e.: Dociq11@uis.edu.co)

Esto se debe a que cada pico que sobresale en la película del ánodo tendrá una concentración de carga mayor que la de los valles de la pieza de trabajo, siendo estos picos removidos más fácilmente que los valles de la superficie del material [9], [10], [11].

II. EXPERIMENTAL

Muestras de dispositivos de acero inoxidable 316LVM de 12 mm de diámetro y 2 mm de espesor, suministradas por la empresa Quirúrgicos Especializados S.A., fabricante de dispositivos biomédicos, fueron desbastadas superficialmente con papel abrasivo de SiC números 240, 320, 400 y 600 para remover los defectos y las capas deformadas de procesos anteriores de corte y maquinado. Las rugosidades de las superficies fueron tomadas antes y después de realizado el proceso de electropulido. Para las muestras desbastadas con papel abrasivo de SiC el valor de rugosidad medido en Ra fue de $0,85 \pm 0,8 \mu\text{m}$ y para las muestras electropulidas la rugosidad fue de $0,10 \pm 0,4$. Las muestras fueron electropulidas durante tiempos de 2 y 5 minutos, a temperaturas de 27°C y 45°C y a una densidad de corriente de 600 mA/cm^2 . Como solución de electropulido se empleó una mezcla de ácido sulfúrico, ácido fosfórico y agua destilada.

Para el montaje de las pruebas electroquímicas se empleó una celda plana con un electrodo de referencia de Ag/AgCl y un contraelectrodo de grafito, ver Figura 1.



Fig. 1. Montaje para realizar las pruebas electroquímicas

El electrolito empleado fue una solución salina tipo Ringer compuesta de 8,6 g/l de NaCl, 0,374 g/l de KCl y 0,374 g/l de CaCl_2 ajustada a un pH de 7,4 con NaHCO_3 . La temperatura de la prueba fue mantenida a 37°C y todo el montaje para la prueba se

adaptó en una jaula Faradaica, con el fin de eliminar corrientes parasitas. Para la adquisición de datos se empleó un potenciostato/galvanostato marca Gamry conectado a un computador. Las muestras fueron evaluadas por medio de Espectroscopia de Impedancia electroquímica EIE con el fin de comparar los parámetros capacitivos y resistivos de las superficies electropulidas, a las diferentes condiciones de temperatura y tiempo de electropulido, con la superficie de las muestras sin electropulir. El rango de frecuencias empleado fue de 0,01 a 100.000 Hz y una señal sinusoidal de voltaje AC de 20 mV, con un área expuesta de $0,81 \text{ cm}^2$.

III. RESULTADOS Y ANÁLISIS

La figura 2 muestra una de las curvas potenciométricas obtenidas para determinar la zona más adecuada para realizar el electropulido del material, conocida como zona de "plateau".

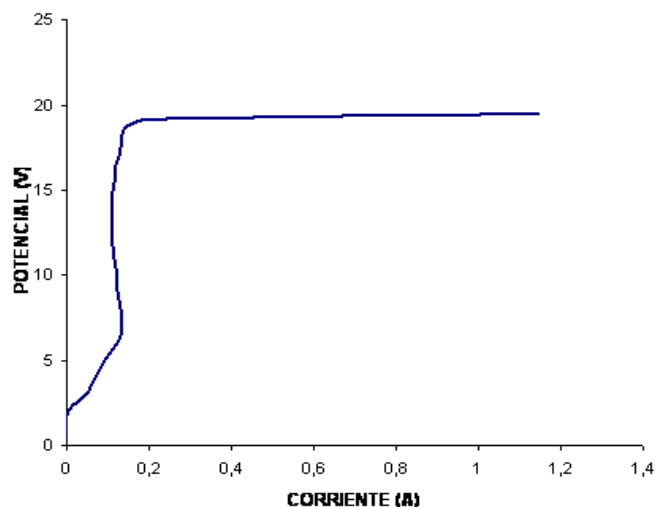


Fig. 2. Curva potenciométrica del 316LVM en solución de $\text{H}_3\text{PO}_4\text{-H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}$

En la Figura 3 se muestran las fotografías, de una superficie maquinada y de una desbastada hasta papel abrasivo de SiC número 600.

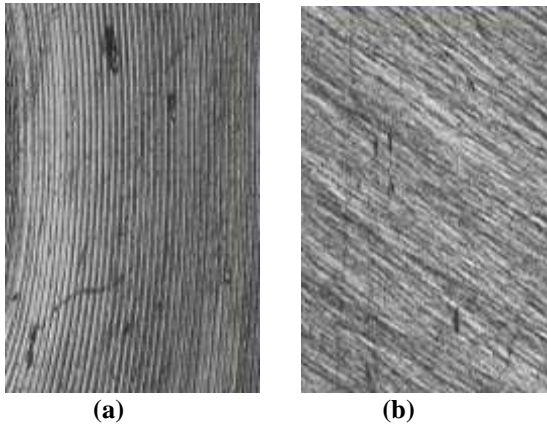


Fig. 3. Estado superficial del acero inoxidable 316LVM, (a) a 5X en condiciones de entrega (maquinado) y (b) a 10x después desbastar hasta papel abrasivo de SiC No. 600

En la Figura 4 se presentan las fotografías de piezas electropulidas a 27°C durante 2 y 5 minutos.

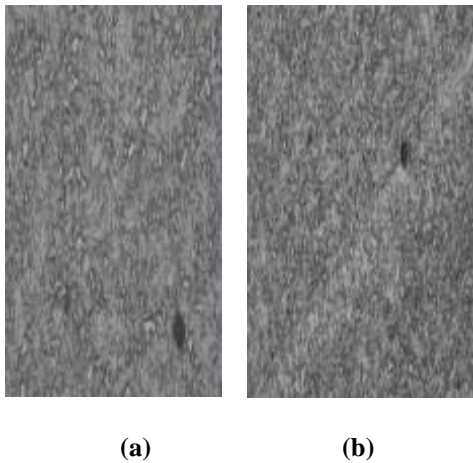


Fig. 4. Estado superficial del acero inoxidable 316LVM electropulido a 27 °C a 10X (a) durante 2 minutos, y (b) durante 5 minutos

En la Figura 5 se presenta el espectro de EIE obtenido de las muestras sin electropulir. En las Fig. 6 y Fig. 7 se presentan los espectros obtenidos a 27°C y 45°C durante los diferentes tiempos de electropulido.

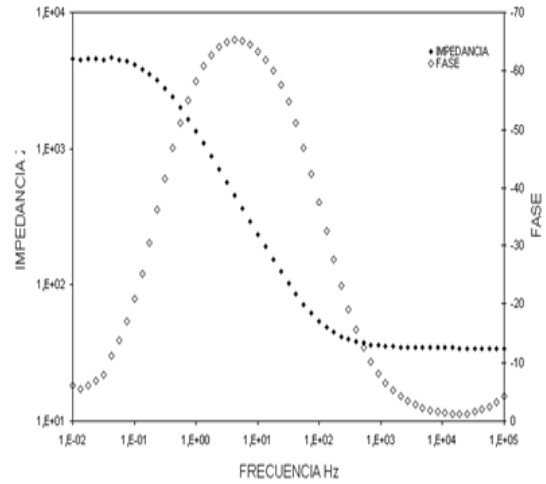
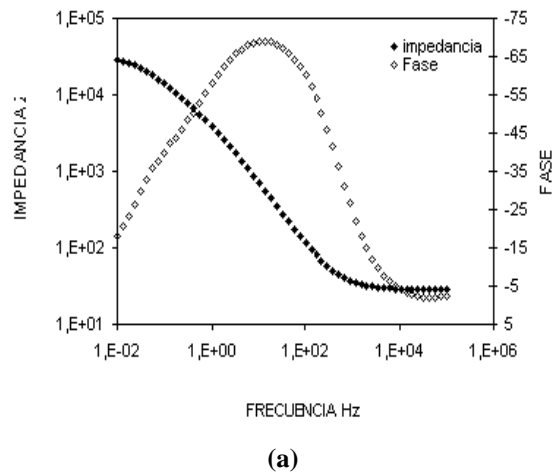
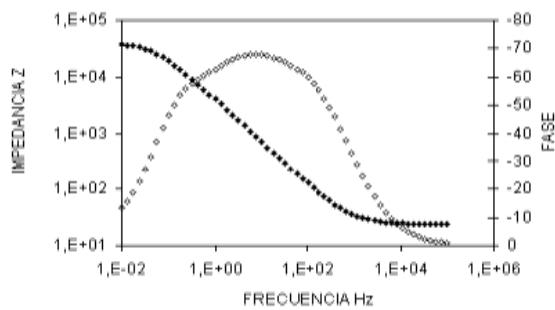


Fig. 5. Curva de Espectroscopia de Impedancia Electroquímica del acero inoxidable 316LVM sin electropulir desbastado hasta papel abrasivo de SiC No.600

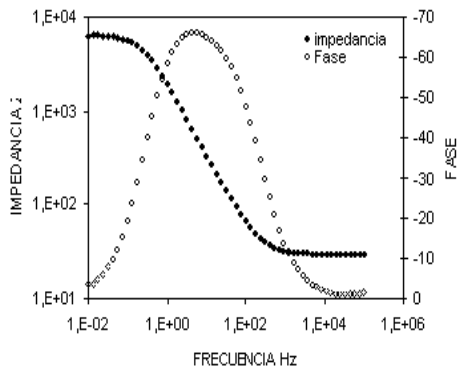


(a)

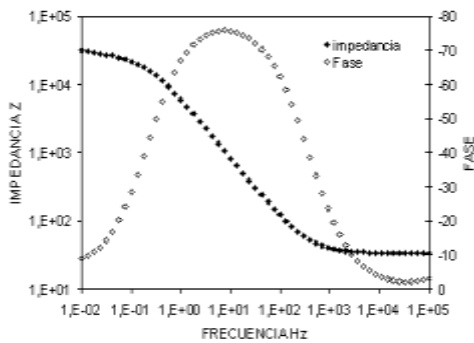


(b)

Fig. 6. Curvas de Espectroscopia de Impedancia Electroquímica del acero inoxidable 316LVM electropulido a 27 °C (a) durante 2 minutos (b) durante 5 minutos



(a)



(b)

Fig. 7. Curvas de Espectroscopia de Impedancia Electroquímica del acero inoxidable 316LVM electropulido a 45 °C durante (a) 2 minutos, (b) 5 minutos

Al comparar los diferentes tiempos de electropulido a la misma temperatura, Figura 6(a) con la 6(b) y la Figura 7(a) con la 7(b), se observa que al aumentar el tiempo de electropulido aumento la resistencia a la polarización de la muestra, es decir, existe una relación directamente proporcional entre la variable de estudio tiempo de electropulido y la variable de respuesta resistencia a la corrosión. Sin embargo, al comparar las gráficas para un mismo tiempo de electropulido pero diferente temperatura, Figura 6(a) con 7(a) y Figura 6(b) con 7(b), no se observan variaciones significativas en la resistencia a la polarización. Por otra parte, en los dos diagramas de impedancia obtenidos a 2 y 5 minutos se evidencia el inicio de la formación de una capa protectora.

Con el fin de simular los fenómenos de

transferencias de carga que ocurren durante el proceso de electropulido, a partir de los datos obtenidos por EIE y empleando el programa Zview se generó un circuito por elementos resistivos y capacitivos que modela el comportamiento presentado por el acero inoxidable 316LVM bajo las diferentes condiciones de electropulido analizadas, ver Figura 8. Este tipo de circuito es conocido como circuito de Randless y para el caso analizado en este estudio consta de una resistencia a la solución R_s , una capacitancia de la doble capa electroquímica C_{dl} y una impedancia de Warburg W .

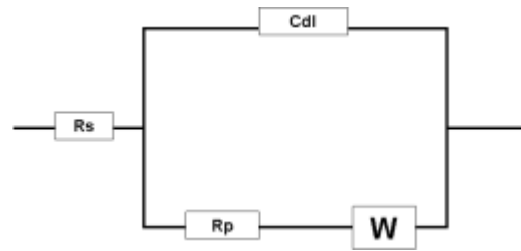


Fig. 8. Circuito de Randless propuesto para representar el comportamiento electroquímicos de las muestras con tratamiento de pulido electroquímico

IV. CONCLUSIONES

Uno de los fundamentos de la metodología propuesta, es la búsqueda de consenso para determinar el peso, alcance, impacto de los diversos problemas que se están investigando y las necesidades poblacionales que pueden dar lugar a programas concretos de intervención, sobre la base del conocimiento de las opiniones subjetivas de los miembros del grupo de expertos. Como metodología permite tomar decisiones en función no solo de la situación actual, sino también en función de tendencias, por tanto permite proyectarse escenarios futuros.

El pulido electroquímico es una tecnología efectiva para proveer resistencia a la corrosión al acero inoxidable 316LVM. Se concluye que el tiempo durante el cual se lleva a cabo el proceso de electropulido tiene un efecto positivo sobre la resistencia a la corrosión, mientras que la temperatura a la cual se lleva a cabo el electropulido no evidencia efecto significativo alguno.

Los resultados de la técnica de espectroscopia de

impedancia electroquímica pueden facilitar información acerca del mecanismo de electropulido y de la protección del material ante un medio electrolítico específico. La presencia de una capa de protección se evidencia en la superficie a diferentes condiciones de electropulido, sin embargo factores energéticos de la superficie tratada, determinan en gran grado las diferencias en el comportamiento resistivo de los materiales electropulidos a diferentes condiciones de proceso.

BIOGRAFÍA



Darío Yesid Peña: Especialista en Docencia Universitaria Universidad Industrial de Santander, M.Sc Ingeniería Metalúrgica UIS, Ph.D en Corrosión UMIST, Profesor asociado Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales. Grupo de

Investigaciones en Corrosión. GIC

REFERENCIAS

- [1] S. Andrade, C. Xavier, Electropolishing of AISI-304 stainless steel using an oxidizing solution originally used for electrochemical coloration. Elsevier. Brasil. 2004.
- [2] T. S. Hahn, A. R. Marder. Effect of electropolishing variables on the current density – Voltaje relationship. Lehigh University, Bethlehem. 1988.
- [3] N. Hallab, J. J. Jacobs; Hypersensitivity to metallic biomaterials: A review of leukocyte migration inhibition assays; Biomaterials. 2000.
- [4] M. Haïdopoulos. Étude expérimentale d'optimisation de procédés de modifications de surface de l'acier inoxydable 316 pour application aux dispositifs endovasculaires. Faculté des Sciences et Génie Université Laval, en Québec. 2005.
- [5] D. Landolt, P. F. Chauvy. Electrochemical micromachining, polishing and surface structuring of metals: fundamental aspects and new developments. Institute of Technology Lausanne. Suiza. Pergamon. 2003.
- [6] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS STANDARDS. Standard Guide for Electrolytic Polishing of Metallographic Specimens. Designation: E 1558-99 (Reapproved 2004).
- [7] J. M. Bastidas. Técnicas Electroquímicas de corriente alterna. Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas. Madrid (España).
- [8] J. M. Bastidas, S. Feliu; El método de la impedancia faradaica para el estudio de la corrosión. Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas. Madrid (España).
- [9] A. Animesh, Development and assessment of 316LVM cardiovascular stents. Division, Sahajanand; Medical Technologies; 2004.
- [10] M. Puorbaix. Electrochemical corrosion of metallic biomaterials. Centre Beige o Etude de la Corrosion. London. 1984.