

CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE PIEZAS DE MAGNESIO RECUBIERTAS CON PELÍCULAS DELGADAS DE $\text{TiO}_2\text{-MgO}$

Vicencio Acosta Celso Fabián (1), Hernández Rodríguez Eric Noé Dr. (2)

1 [Licenciatura en Ingeniería Mecánica, Universidad de Guanajuato, DICIS] | [cf.vicencioacosta@ugto.mx]

2 [Departamento de Ingeniería Mecánica, División de Ingenierías, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato, DICIS] | [noe.hernandez@ugto.mx]

Resumen

En la actualidad los implantes ortopédicos temporales son ampliamente usados como dispositivos para el manejo de fractura en huesos o la regeneración ósea (placas, tornillos, cánulas, mallas, etc.). Sin embargo, una vez que la lesión es sanada existe la necesidad de una segunda intervención quirúrgica para la extracción del implante. Se están desarrollando materiales biodegradables para implantes ortopédicos con la finalidad de que estos sean absorbidos por el cuerpo humano una vez que no se requieren. El Magnesio y las aleaciones basadas en este elemento son los candidatos más promisorios, pues además de ser biocompatibles y biodegradables, tienen propiedades mecánicas similares a las del tejido óseo humano. Por esta razón, en este proyecto de investigación se desarrolló un recubrimiento basado en el compuesto $\text{TiO}_2\text{-MgO}$ a diferentes proporciones aplicado en piezas de magnesio, para así proponer una caracterización adecuada de las propiedades mecánicas de este material.

Abstract

Currently temporary orthopedic implants are widely used as devices for the management of fracture in bones or bone regeneration (plates, screws, cannulas, meshes, etc.). However, once the lesion is healed there is the need for a second surgery for the removal of the implant. Biodegradable materials are being developed for orthopedic implants with the purpose that they are absorbed by the human body once is not needed. Magnesium and alloys based on this element are the most promising candidates, because in addition to being a biocompatible and biodegradable, are similar to the human bone mechanical properties. For this reason, a coating based on the composite $\text{TiO}_2\text{-MgO}$ to different proportions applied in magnesium parts, was developed in this research project to propose an adequate characterization of the mechanical properties of this material.

Palabras Clave

TiO_2 ; MgO; Implante; Magnesio; Dureza

INTRODUCCIÓN

La mayoría de los implantes ortopédicos en la actualidad son hechos con biomateriales (materiales compatibles con el cuerpo humano) metálicos que presentan alta dureza, buena resistencia a la corrosión, y excelentes propiedades mecánicas, como resistencia a la fatiga y al desgaste. Sin embargo, una vez que el paciente se recupera de la lesión, es necesario retirar el implante, lo que implica la necesidad de una segunda intervención quirúrgica, con los riesgos que esto conlleva, además de que genera costos adicionales. Como una alternativa, en años recientes se ha realizado un gran esfuerzo en investigación para desarrollar implantes biodegradables [1].

En la actualidad, el magnesio y algunas de sus aleaciones se han estudiado para el desarrollo de dispositivos de fijación de huesos con traumatismo y en mallas porosas para regeneración ósea [2-3]. No obstante, la principal limitación para su aplicabilidad es que la razón de corrosión del magnesio dentro del fluido fisiológico es muy alta, lo cual hace que su biodegradación sea rápida, con la consecuencia de que las propiedades mecánicas se degraden antes de que el hueso sane. Por esta razón, actualmente existe la necesidad de retardar el proceso de corrosión del magnesio para que el desarrollo de implantes ortopédicos biodegradables que mantengan su integridad mecánica hasta que el hueso sane sea posible [3].

Por esta razón, la formación de un recubrimiento en la superficie del magnesio, o sus aleaciones, que evite el contacto directo entre este y el fluido fisiológico representa la solución más viable para retardar el proceso de corrosión y preservar las propiedades mecánicas del implante [4].

En la actualidad se han reportado algunos trabajos de investigación referentes al desarrollo de recubrimientos para la protección contra la corrosión del magnesio, como materiales poliméricos, sin embargo, estos tienen propiedades mecánicas muy pobres, siendo una de sus mayores limitantes el desprendimiento de la superficie del magnesio, lo cual generaría que el fluido fisiológico pueda entrar en contacto con el implante e iniciar el proceso de degradación [3-4].

De este modo, se espera que el compuesto TiO_2 - MgO tenga propiedades de resistencia a la corrosión modulables entre las correspondientes al TiO_2 y al MgO , por lo cual el recubrimiento permitirá retardar el inicio de la degradación del magnesio, sin embargo, debido a la presencia del MgO este será degradado después de un cierto tiempo, que dependerá de la proporción TiO_2 y MgO , permitiendo que el implante finalmente sea biodegradado y absorbido por el cuerpo. Para su preparación se usará la técnica de co-depósito por sputtering (co-sputtering), que es ampliamente empleada en aplicaciones tecnológicas para el depósito de recubrimientos, pues permite generar materiales con una microestructura uniforme y compacta, además de que genera una excelente adhesión entre el material depositado y los sustratos [4].

MATERIALES Y MÉTODOS

- *Primera etapa:*

Consistió en la preparación de las muestras para esto se obtuvieron piezas de magnesio que serán cortadas a $1'' \times 1''$. Antes del depósito del recubrimiento las muestras tienen que ser preparadas mediante un esmerilado con papel de lija desde 280 a 1500 granos por centímetro, para posteriormente emplear alúmina para dar un acabado espejo.

Teniendo las muestras en acabado espejo se hace la preparación del compuesto TiO_2 - MgO en forma de película delgada, para esto se adquirieron los blancos de Ti y Mg y los insumos necesarios para la operación del equipo, como gases, sustratos, etc. En la IMAGEN 1 se muestra el esquema de las partes más importantes de un equipo Sputtering.

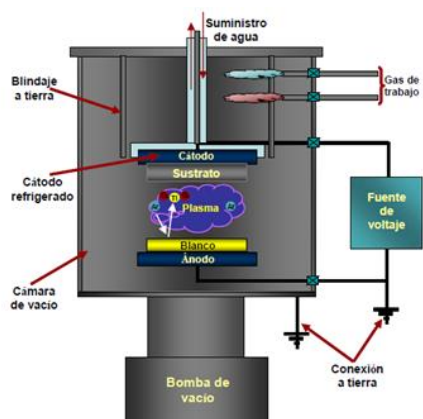


IMAGEN 1: Esquema de las partes más importantes de un equipo de Sputtering en general.

- Segunda etapa:

Consistió en recubrir las piezas de magnesio con el compuesto TiO_2 - MgO usando distintas proporciones de TiO_2 y MgO , en este caso se utilizaron 7 diferentes proporciones a continuación se muestra en la Tabla 1.

Proporciones de recubrimiento TiO_2 y MgO .	
1.	100% TiO_2 – 0% MgO
2.	80% TiO_2 – 20% MgO
3.	60% TiO_2 – 40% MgO
4.	40% TiO_2 – 60% MgO
5.	20% TiO_2 – 80% MgO
6.	0% TiO_2 – 100% MgO
7.	Magnesio

Tabla 1. Proporciones de TiO_2 y MgO a utilizar para realizar nuestras muestras.

- Tercera etapa:

Una vez generada las 7 muestras se empleó la técnica de Tafel para medir corrosión, para esto se utilizó un potencióstato Princeton Applied Research Con VersaStudio de Software. Se observa en la IMAGEN 2.



IMAGEN 2: Potencióstato utilizado para medir Tafel.

Se utilizó una celda con 2 electrodos uno de referencia y uno de conteo, el electrodo de referencia es de platino, para simular el fluido fisiológico se utilizó 50 ml de solución de hank's a condiciones ambientales y un área de 0.2 cm^2 .

- Cuarta etapa:

Se utilizó un durómetro con microscopio para medir la dureza vickers para esto se utilizó una carga de 0.5 kg, se utilizó el microscopio para detectar la zona donde hay corrosión y donde no hay corrosión, se observa en la IMAGEN 3.



IMAGEN 3: Durómetro para medir la dureza vickers.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se encontraron las condiciones óptimas por medio de diferentes pruebas electroquímicas para reducir la velocidad de corrosión que ocurre en piezas de magnesio recubiertas con los óxidos de TiO_2 y MgO .

Las Técnicas Electroquímicas que se utilizaron fue Corrosión Electroquímica (Tafel), Impedancia Electroquímica (EIS) en un fluido fisiológico simulado solución de hank's.

A continuación, se muestran los resultados de las pruebas electroquímicas generadas a cada una de las muestras, se observan en la IMAGEN 4.

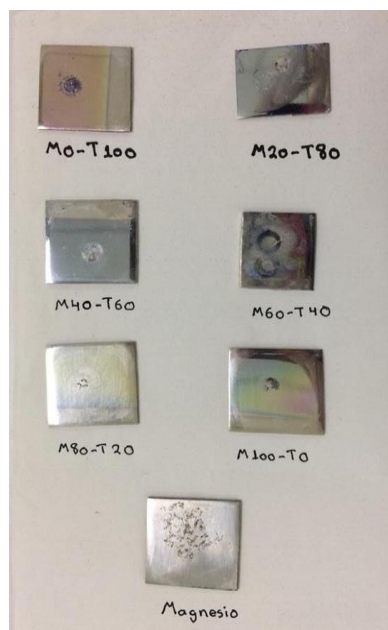


IMAGEN 4: Las 7 muestras después de aplicar las pruebas electroquímicas (Tafel).

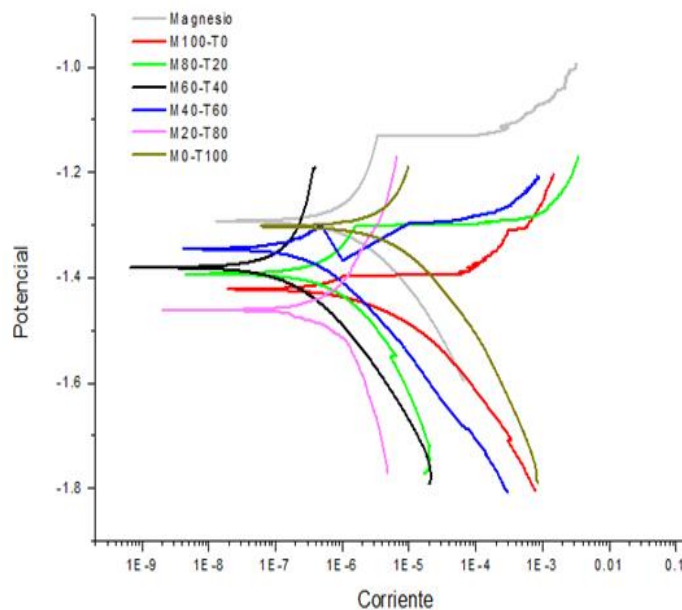


IMAGEN 5: Comportamiento de la Velocidad de Corrosión.

En la IMAGEN 5 se observa el comportamiento de la velocidad de corrosión que presenta cada una de las muestras, a medida que la corriente va incrementando, se va incrementando la corrosión. En la Tabla 2 se muestra los valores de los resultados de la corriente.

Muestra	Valor de la Corriente (nA)
100% TiO_2 – 0% MgO	716.174
80% TiO_2 – 20% MgO	103.977
60% TiO_2 – 40% MgO	51.196
40% TiO_2 – 60% MgO	21.118
20% TiO_2 – 80% MgO	67.184
0% TiO_2 – 100% MgO	306.07
Magnesio	1140.63

Tabla 2. Valores de la corriente obtenidos para cada muestra.

Después de tener las condiciones óptimas para cada una de nuestras muestras se van a evaluar las propiedades mecánicas, en nuestro caso se presentan los resultados de dureza en dos zonas diferentes de nuestras muestras, zona donde no hay corrosión y zona donde hay corrosión, se observan en la IMAGEN 6.

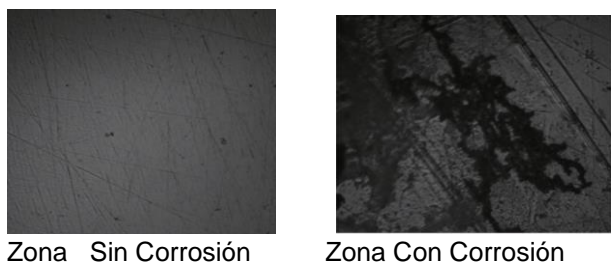


IMAGEN 6: Zonas de la muestra 100% TiO₂ – 0% MgO donde se van a evaluar las propiedades Mecánicas.

En la siguiente IMAGEN 7 se observa las dos diferentes zonas de la muestra 40% TiO₂ – 60% MgO.

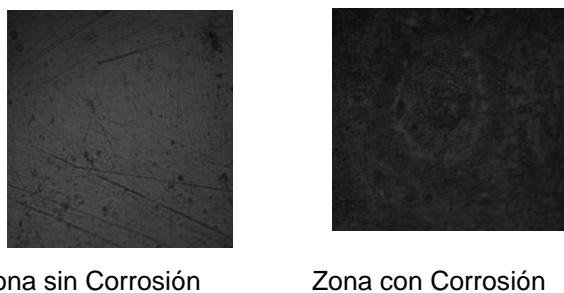


IMAGEN 7: Zonas de la muestra 40% TiO₂ – 60% MgO donde se van a evaluar las propiedades Mecánicas.

En la IMAGEN 8 se observa las dos diferentes zonas de la muestra 0% TiO₂ – 100% MgO

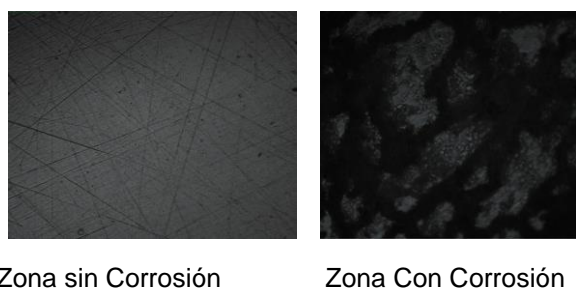


IMAGEN 8: Zonas de la muestra 0% TiO₂ – 100% MgO donde se van a evaluar las propiedades Mecánicas.

Para realizar las pruebas de dureza se utilizó un durómetro con microscopio, una carga de 0.5 kg con un tiempo de 15 seg. A partir de estos parámetros se calculó la dureza para cada una de las muestras.

En la Tabla 3 se observan los resultados de las mediciones de dureza correspondientes para cada una de nuestras muestras.

Muestra	HV0.5 Dureza sin Corrosión	HV0.5 Dureza con Corrosión
100% TiO ₂ – 0% MgO	54.36 ± 3.25	58.80 ± 3.60
80% TiO ₂ – 20% MgO	55.00 ± 3.12	57.40 ± 1.55
60% TiO ₂ – 40% MgO	60.86 ± 1.15	63.93 ± 2.70
40% TiO ₂ – 60% MgO	58.60 ± 1.08	54.13 ± 1.85
20% TiO ₂ – 80% MgO	52.43 ± 1.28	55.36 ± 3.88
0% TiO ₂ – 100% MgO	50.00 ± 0.55	57.00 ± 1.41
Magnesio	57.90 ± 0.65	61.83 ± 1.70

Tabla 3. Resultados obtenidos de medición de dureza Vickers.

CONCLUSIONES

Dentro de los resultados se presenta cual recubrimiento nos ayuda para reducir la velocidad de corrosión en piezas de magnesio, al igual se observa las propiedades mecánicas para cada una de nuestras muestras.

Dentro de nuestra investigación se comparan diferentes muestras con diferentes proporciones de TiO₂ y MgO, se obtiene que la muestra 40% TiO₂ – 60% MgO es la ideal para reducir la velocidad de corrosión ya que como se observa en la IMAGEN 5 se muestra como la gráfica que corresponde a esta muestra va disminuyendo la corriente por lo tanto se reduce la velocidad de corrosión para esta muestra, al igual se observa en la Tabla 2 que la corriente es menor en comparación con las demás muestras. También se presenta los resultados de dureza; para esta muestra se obtiene que es mayor la dureza en la

parte donde no ocurre corrosión, por lo tanto en la parte donde hay corrosión es menor debido a los cambios que sufrieron las propiedades del material. Se concluye que el recubrimiento 40% TiO₂ – 60% MgO es el ideal ya que se presentan condiciones óptimas y cumple con el objetivo de nuestra investigación.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo de investigación fue parcialmente financiado por PRODEP-SEP Apoyo a la Incorporación de Nuevos PTCs 2016.

Agradezco al Dr. Eric Noé Hernández Rodríguez por el apoyo que me brindó para realizar esta estancia de investigación.

También al Dr. Martín Guadalupe Zapata Torres encargado del Laboratorio de Materiales del CICATA IPN por el apoyo que nos brindó con el equipo para realizar las muestras.

REFERENCIAS

[1] Zhou Z, Liu X, Liu Q, Liu L. Evaluation of the potential cytotoxicity of metals associated with implanted biomaterials (I). *Preparative Biochemistry and Biotechnology* 2009; 39: 81-91.

[2] Zeng R, Dietzel W, Witte F, Hort N, Blawert C. Progress and challenge for magnesium alloys as biomaterials. *Adv Eng Mater* 2008;10:B3–B14 [+702].

[3] Li XN, Gu ZJ, Lou SQ, Zheng YF. The development of binary Mg–Ca alloys for use as biodegradable materials within bone. *Biomaterials* 2008; 29: 1329–1344.

[4] Xin R, Wang M, Gao J, Liu P, Liu Q. Effect of microstructure and texture on corrosion resistance of magnesium alloys. *Mater. Sci. Forum* 2009;610– 613:1160–3.