

Modificando la superficie del titanio para reducir su desgaste

Samuel Hernández Montiel
Rebeca C. Rodríguez Jiménez
Leandro García González

La durabilidad de un material depende principalmente de las propiedades físicas y químicas que lo componen, como su peso, dureza, elasticidad, punto de fusión, entre otras. Por ejemplo, uno de los metales más resistentes y de larga vida útil es el titanio.

Sin embargo, dependiendo de la severidad del trabajo que ejecuta (tensión, compresión, fricción, etc.) o por lo agresivo del ambiente al que se expone (humedad, ácidos, temperatura, etc.), el titanio puede sufrir daños superficiales irreversibles.

Actualmente, existen formas de mejorar la protección y eficiencia del titanio, pero la mayoría suelen ser muy sofisticadas y costosas, por lo que en este trabajo se discuten algunos métodos prácticos y económicos que han demostrado favorecer sus propiedades y, sobre todo, su resistencia al desgaste.

El titanio fue descubierto en el año 1791 por el reverendo, mineralogista y químico británico William Gregor en Cornwall, Inglaterra. Años más tarde fue nombrado así por el químico Martin Heinrich Klaproth en honor a los titanes de la mitología griega. Ocupa el cuarto lugar entre los metales con mayor presencia en la corteza terrestre; se encuentra en la naturaleza en forma de minerales conocidos, como el rutilo (TiO_2) o la ilmenita (FeTiO_3). El titanio

es de color gris, su número atómico es 22, cuenta con una baja densidad, valor elevado de dureza, resistencia a la corrosión, compatibilidad con el organismo humano y baja conductividad térmica (Froes *et al.*, 2019).

Sus primeras aplicaciones se dieron en el campo aeroespacial y militar, y hoy en día sus usos más comunes están en la industria biomédica para implantes o prótesis, para los alabes de los rotores en la aeronáutica, en la automotriz para las bielas y válvulas (Niknam *et al.*, 2014).

La producción mundial de titanio en el 2020 fue de 4 millones de toneladas, una disminución significativa con respecto a años anteriores, en los cuales se registraron 5.2 millones de toneladas. Los principales países productores de titanio son Australia, Sudáfrica, Ucrania y Canadá ('Titanio: principales países productores 2020, Statista', n. d.).

Desafortunadamente, uno de los factores de los que más carecen las aleaciones de titanio es la resistencia al desgaste (Cely Bautista *et al.*, 2018), por lo que para reforzar esta deficiencia es muy común llevar a cabo la aplicación de tratamientos superficiales como la formación de películas o recubrimientos que otorgan, no solo una mejora a la resistencia al desgaste, sino también a los procesos de corrosión (Froes *et al.*, 2019).

El crecimiento de una capa de óxido de titanio (TiO_2) es considerada una de las formas más típicas para proveer de una mejora a la superficie de titanio, esto por los diferentes sistemas estructurales que puede adoptar, así como por su simple naturaleza cerámica (Khataee *et al.*, 2012). Al respecto, destacan dos procedimientos prácticos y económicos para mejorar la resistencia al desgaste del titanio: anodizado electroquímico (Hernández Montiel *et al.*, 2021) y tratamiento térmico (Maytorena-Sánchez *et al.*, 2021).

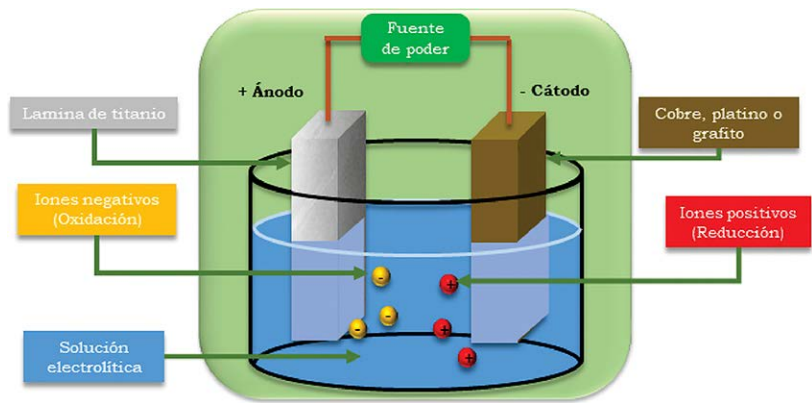


Figura 1. Esquema de una celda electroquímica.

ANODIZADO ELECTROQUÍMICO

El anodizado se encuentra en múltiples objetos como bicicletas, tornillos, candados, llaves y collares que tienen en común colores brillantes y llamativos que por lo general son obtenidos por anodización electroquímica, la cual consiste en el crecimiento de una capa de óxido metálico con un determinado espesor; este proceso es el responsable de brindarle un color característico al objeto. Esquemáticamente, el proceso de anodizado se trata de la formación de una celda electroquímica (Figura 1), fungiendo como ánodo para este caso una lámina de titanio, y como cátodo, cobre, platino o grafito; ambos electrodos inmersos en una solución electrolítica y conectados entre sí mediante una fuente de poder. El proceso que se lleva a cabo en la celda

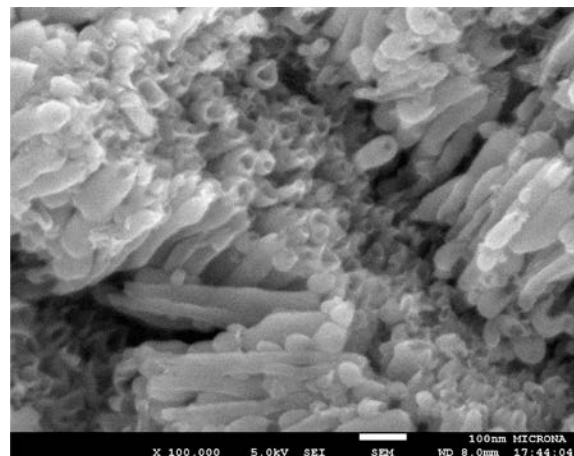


Figura 2. Nanotubos de TiO_2 sobre la superficie de titanio, obtenidos por anodizado electroquímico.

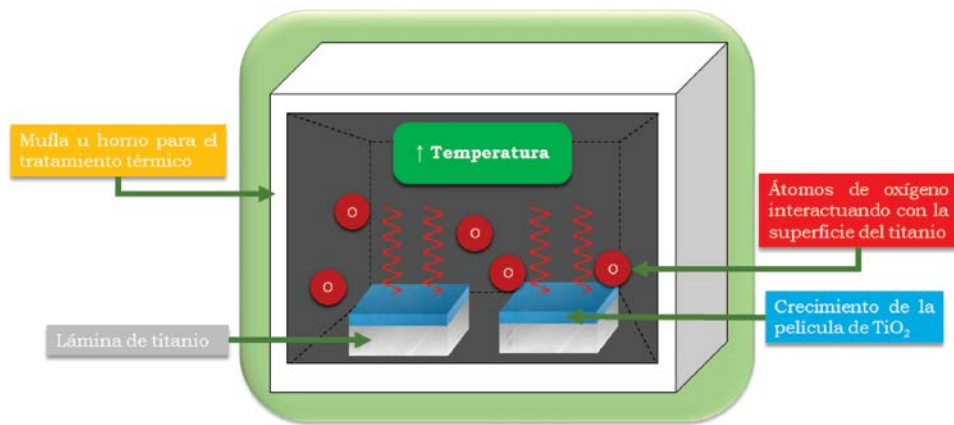


Figura 3. Láminas de titanio sometidas a temperaturas elevadas en el interior de la mufla.

permite obtener una capa de óxido de titanio (TiO_2), la cual puede ser puramente óxido sin estructura alguna o una con presencia de poros y tubos del orden de los nanómetros; lo anterior dependerá del tipo de electrolito a utilizar. Generalmente, la obtención de una superficie porosa o cubierta de nanotubos de TiO_2 , se debe al uso de soluciones con presencia de iones fluoruro o cloruro, gracias a su capacidad para disolver la capa de óxido e iniciar la formación de cavidades (Grimes *et al.*, 2009).

En la Figura 2 se muestra una imagen microscópica de alta resolución de una superficie de titanio anodizada, obtenida por el Grupo de Materiales Avanzados perteneciente al Centro de Investigación en Micro y Nanotecnología de la Universidad Veracruzana (Microna-UV). En ella es posible observar nanotubos con diferente longitud y diámetro.

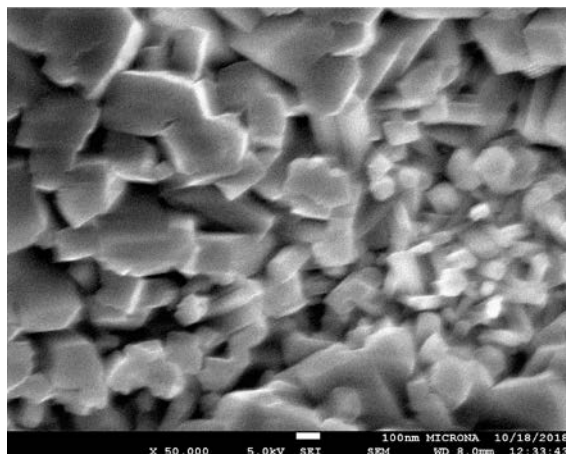


Figura 4. Granos de TiO_2 sobre la superficie de titanio, obtenidos por tratamiento térmico.

TRATAMIENTO TÉRMICO

En este proceso, la lámina de titanio es sometida a alta temperatura en el interior de una mufla u horno (Figura 3). La temperatura aplicada depende del uso posterior previsto para la lámina, pero, de manera particular, para obtener una película resistente al desgaste; las temperaturas más elevadas (por encima de los 600 °C) son la mejor opción debido a la alta densidad que la estructura atómica del TiO_2 puede adquirir (Maytorena-Sánchez *et al.*, 2021).

La alta temperatura genera un aumento de energía, lo que provoca que los átomos de titanio desprendan electrones, favoreciendo así la interacción con el oxígeno que se encuentra en el interior de la cámara, lo cual da como resultado la formación de una película de TiO_2 . Originalmente, el titanio cuenta con una capa de óxido nativa sobre su superficie, y es gracias a la alta temperatura que los átomos de oxígeno fluyen en el interior de la capa hasta interactuar con el titanio. Posteriormente reaccionarán ambos componentes, lo que concluirá con un aumento del espesor de la película de TiO_2 y, por tanto, con una mejoría en su resistencia al desgaste y en la adherencia al titanio (Maytorena-Sánchez *et al.*, 2021).

Las láminas de titanio tratadas térmicamente suelen presentar una superficie cubierta por granos de óxido con tamaños variados y geometrías nanométricas, tal y como se observa en la imagen generada por FE-SEM en la Figura 4.

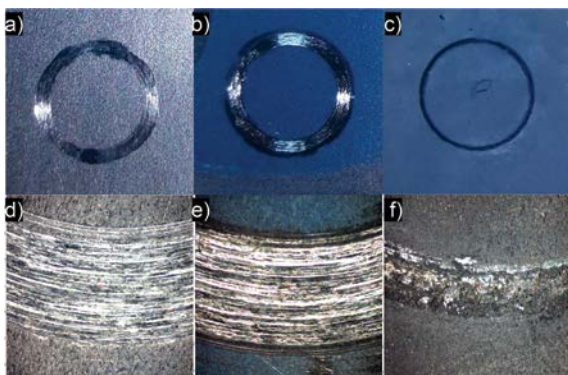


Figura 5. Imagen realizada por un microscopio óptico de la huella obtenida posterior a la prueba de microtribología de: a) y d) titanio, b) y e) TiO₂ anodizado y c) y f) TiO₂ tratado térmicamente a 750 °C. En esta última se observa una huella de menor extensión, por lo que, en comparación con las anteriores, cuenta con la mayor resistencia a ser desgastada.

La capa de óxido formada otorga una alta protección al titanio en contra del ambiente, la oxidación y, principalmente, contra el desgaste. Pero en ambos casos (anodización electroquímica y tratamiento térmico), el titanio adoptará nuevas y mejores propiedades superficiales. Una manera de determinar qué tanto mejoró la superficie contra el desgaste es realizar pruebas de tribología.

ENSAYO DE TRIBOLOGÍA

Etimológicamente, la palabra tribología proviene del griego *tribos*, que significa “frotar”, y *logia*, “el estudio de”, por lo que el término puede definirse entonces como el estudio del frotamiento. El movimiento de dos cuerpos causa fricción en la interfaz y esto, eventualmente, provocará el desgaste en uno o los dos cuerpos en contacto (Prajapati *et al.*, 2020).

Esta prueba permite conocer cuál es el comportamiento abrasivo de la superficie de un material con base en dos parámetros: coeficiente de fricción y tasa de desgaste. Para el caso particular del titanio y el titanio recubierto con las capas protectoras generadas por el anodizado y el tratamiento térmico, es decir, la capa de óxido de titanio, el desgaste de la superficie se ilustra en la Figura 5. Las imágenes a, b y c) muestran las piezas de titanio. La lámina de titanio sin tratamiento superficial presentó mayor

desgaste, dado que la huella generada posterior a la prueba de tribología tiene la mayor amplitud (Figura 5 a y d). El titanio es un material muy utilizado hoy en día, por lo que la aplicación de tales procesos superficiales para su mejora no es un proceso difícil de implementar por la industria de las herramientas de corte o de materiales de uso ortopédico. Las metodologías tratadas en este trabajo, sin duda, son una alternativa para la reducción de la fricción y el volumen de desgaste.

REFERENCIAS

- Cely Bautista MM, Jaramillo Colpas J, Romero Mejía I, Pinilla Navarro O y Siado Guillen A (2018). Caracterización microestructural de la aleación de titanio Ti6Al4V oxidada térmicamente. *Prospectiva* 16:68-74.
- Froes FH, Qian M and Niinomi M (2019). An introduction to titanium in consumer applications. *Titanium for Consumer Applications. Elsevier*, pp. 1-12.
- Grimes CA and Mor GK (2009). *TiO₂ Nanotube Arrays. Springer*. Springer US, Boston, MA.
- Khataee A and Mansoori GA (2012). Nanostructured Titanium Dioxide Materials: Properties, Preparation and Applications. *World Scie*. Singapore.
- Maytorena-Sánchez A, Hernández-Torres J, López-Huerta F, Hernández-Campos MA, Zamora-Peredo L, Pacio-Castillo M, Serrano-De la Rosa LE and García-González L (2021). Analysis of the hardness and tribological properties of grade 2 titanium using the thermal oxidation process at different temperatures. *Materials Letters* 282:128679.
- Niknam SA, Khettabi R, Songmene and V (2014). *Machining of Titanium Alloys*. (Davim JP, Ed.) Materials Forming, Machining and Tribology. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.
- Prajapati DK and Tiwari M (2020). *Tribology in Materials and Applications*. (Katiyar, J. K., P. Ramkumar, T. V. V. L. N. Rao & J. P. Davim, Eds.) Materials Forming, Machining and Tribology. Springer International Publishing, Cham.
- Titanio: principales países productores (2020) | Statista, (n.d.). <https://es.statista.com/estadisticas/1139562/paises-con-mayor-produccion-minera-de-titanio-en-el-mundo/#:~:text=Pa%C3%ADses%20con%20mayor%20producci%C3%B3n%20minera%20de%20titanio%20en%20el%20mundo%202020&text=Australia%20fue%20el%20pa%C3%ADs%20con,616.000%20y%20520.000%20toneladas%20respectivamente.>

Samuel Hernández Montiel
Rebeca C. Rodríguez Jiménez
Leandro García González
Centro de Investigación en Micro y Nanotecnología
Universidad Veracruzana
leagarcia@uv.mx