



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR

TESIS DE DOCTOR EN INGENIERÍA

**COMPORTAMIENTO TRIBOLÓGICO DE
LUBRICANTES COMPUESTOS DE MATRIZ EPOXI CON
DISULFURO DE MOLIBDENO Y SULFURO DE
BISMUTO.**

MAXIMILIANO ZANIN

BAHIA BLANCA

ARGENTINA

2019

Prefacio

Esta Tesis se presenta como parte de los requisitos para optar al grado académico de Doctor en Ingeniería, de la Universidad Nacional del Sur y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad u otra. La misma contiene los resultados obtenidos en investigaciones llevadas a cabo en el Laboratorio de Estudio y Ensayo de Materiales dependiente del Departamento de Ingeniería, durante el período comprendido entre Agosto de 2014 y Agosto de 2019, bajo la dirección del Dr. en Ciencia y Tecnología de los Materiales Walter Roberto Tuckart, docente de la Universidad Nacional del Sur e Investigador Adjunto del CONICET y el Dr. en Ingeniería Química Marcelo Daniel Failla docente de la Universidad Nacional del Sur e Investigador del CONICET (PLAPIQUI).



Maximiliano Zanin



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR

Secretaria General de Posgrado y Educación Continua

La presente tesis ha sido aprobada el / /, mereciendo la calificación de ... (.....)

Dedicado a Julián y Amancay.

Agradecimientos

Muchas personas han colaborado desinteresadamente (e indirectamente) para la realización de esta tesis doctoral a las cuales agradezco profundamente:

En primer lugar, quiero agradecer especialmente a mis directores, los Doctores Walter Tuckart y Marcelo Failla, por haberme guiado en mi formación doctoral y haber dirigido este trabajo, pero más que todo por haber confiado en mí, apoyándome en situaciones difíciles.

A mi amigo y compañero Dr. Nelson Álvarez Villar por sus constantes consejos sobre las decisiones que he tenido que tomar.

A todos mis compañeros de la U.N.S., en especial al Dr. Germán Prieto, Ing. Nicolás Fochesato, Ing. Bruno Pilotti con quienes discutimos sobre investigaciones que compartimos durante estos últimos años tan importantes.

A todo el personal de la U.N.S. del Taller de Tecnología Mecánica, al de Metalurgia y a la Dra. Mariana Dennehy por su generosa asistencia.

Al Ing. Nicolás Urbano Pintos y al Sr. Matías Molina por la colaboración desinteresada en electrónica y procesamiento de datos.

Y sobre todo a mi esposa Bárbara, mis hijos Julián y Amancay y, a mis padres por su comprensión y apoyo.

Resumen

La tribología es la ciencia que se ocupa de la fricción, el desgaste, la lubricación y el diseño de las superficies que interactúan en un movimiento relativo. En las últimas décadas los materiales compuestos de matriz polimérica se han utilizado cada vez más para aplicaciones tribológicas de alta exigencia. Recientemente, se han desarrollado nuevos compuestos poliméricos con la incorporación de una gran variedad de reforzantes y lubricantes, tanto micro como nanométricos, a fin de garantizar el comportamiento tribológico adecuado para aplicaciones claves.

La presente tesis doctoral aborda el estudio del comportamiento en fricción y desgaste de recubrimientos lubricantes compuestos de matriz epoxi con partículas de disulfuro de molibdeno (MoS_2) y sulfuro de bismuto III (Bi_2S_3), en contacto deslizante, de baja velocidad y cargas variables, para aplicaciones de tiempos reducidos. El propósito es aportar información sobre la manera en que la acción de las partículas lubricantes afecta al desgaste y al coeficiente de fricción, de modo individual y/o en conjunto. Asimismo, también se evaluará la influencia de las características topográficas superficiales sobre la performance tribológica.

Inicialmente, el presente estudio involucró la formulación de distintas composiciones con dos matrices epoxi diferentes. Asimismo, se evaluaron distintas formas de elaboración de los recubrimientos a fin de garantizar la manera más óptima de aplicación. La caracterización química y mecánica, tanto de los materiales utilizados como de los recubrimientos elaborados, se realizó por medio de diferentes técnicas de microscopía, espectroscopía y ensayos de dureza. Las propiedades tribológicas se evaluaron en ensayos de bloque sobre anillo, de cargas variables y baja velocidad, con el objetivo de determinar el desgaste y coeficiente de fricción.

Los resultados de los ensayos tribológicos realizados sobre los recubrimientos muestran comportamientos diferentes para cada matriz de resina epoxi, pero la influencia principal sobre el comportamiento en desgaste y fricción está enfocada en el tipo y composición utilizada de partículas lubricantes. El desgaste para los recubrimientos con MoS_2 se reduce un 40%, respecto de la resina epoxi sin lubricantes, mientras que cuando se encuentra combinado con Bi_2S_3 se registró una reducción de ~80%.

El comportamiento en fricción de los recubrimientos con 10% de Bi_2S_3 mostraron coeficientes de fricción menores a 0,1 por períodos cortos de 3 segundos. La combinación de ambos lubricantes sólidos compite en fricción con aquellos que poseen únicamente MoS_2

a igual composición en peso. Este comportamiento se repite en los recubrimientos indistintamente de la resina epoxi que se utilizó en la matriz con la que fueron elaborados.

Por otra parte, se registró una reducción del desgaste de 60% en contacto deslizante sobre la adhesividad del recubrimiento con mayores rugosidades.

Los mecanismos de desgaste se analizaron a partir de la evaluación de las superficies de desgaste, tanto en el recubrimiento del bloque como del anillo, por medio de técnicas de microscopía óptica convencional, confocal y electrónica.

Abstract

Tribology is the science that studies friction, wear, lubrication and the design of surfaces that interact in relative motion. In recent decades, polymer matrix composite materials have been increasingly used for high-demand tribological applications. Recently, new composite polymers have been developed with the incorporation of a wide variety of filler reinforcers and lubricants, both micro and nanometric, to ensure proper tribological behavior for key applications.

This doctoral thesis deals with the study of the frictional and wear behavior of composite epoxy matrix lubricant coatings, with particles of molybdenum disulfide (MoS_2) and bismuth sulfide III (Bi_2S_3), in sliding contact, low speed and variable loads, for reduced time applications. The purpose is to provide information on the way in which the action of the lubricating particles affects the wear and the coefficient of friction, individually and together. Likewise, the study of the influence of surface topographic characteristics on tribological performance is also addressed.

Initially, the present study involved the formulation of different compositions with two different epoxy matrices. Also, different forms of elaboration were evaluated in order to guarantee the most optimal application in the form of coatings. The chemical and mechanical characterization, both of the materials used and of the finished coatings, was carried out by means of different techniques of microscopy, spectroscopy and hardness tests. The tribological properties were evaluated in block-on-ring tests, of variable loads and low speed, in order to determine the wear and coefficient of friction.

The results of the tribological tests carried out on the coatings show different behaviors for each epoxy matrix resin, but the main influence on wear and friction behavior is focused on the type and percentage of the lubricating particles fillers. The wear for the coatings with MoS_2 is reduced by 40%, compared to the epoxy resin without lubricants, while when combined with Bi_2S_3 a reduction of 80% was registered.

The friction behavior of the coatings with 10% Bi_2S_3 showed coefficients of friction less than 0.1 for short periods of 3 seconds. The combination of both solid lubricants competes in friction with those that only have MoS_2 with equal weight composition. This behavior is repeated in coatings made with two different epoxy resins.

On the other hand, regardless of the composition, a 60% increase in wear resistance in sliding contact was registered on the adhesiveness of the coating with higher roughness.

The wear mechanisms were analyzed from the evaluation of the wear surfaces, both in the block and ring coating, by means of conventional, confocal and electronic optical microscopy techniques.

Certifico que fueron incluidos los cambios y correcciones sugeridas por los jurados.