



Revista Ciencia Unemi

E-ISSN: 2528-7737

ciencia_unemi@unemi.edu.ec

Universidad Estatal de Milagro

Ecuador

Granizo, José

La Tribología y sus aplicaciones en la industria

Revista Ciencia Unemi, vol. 3, núm. 4, agosto, 2010, pp. 64-71

Universidad Estatal de Milagro

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=582663869009>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

La Tribología

y sus aplicaciones en la industria

Resumen

En el presente artículo se destaca la importancia de la tribología en el desarrollo industrial, su evolución y proyección. Se enfatiza la necesidad de la creación del Centro Tribológico Ecuatoriano, como una alternativa para economizar recursos financieros, materias primas, recursos energéticos y lograr una mayor eficiencia de los equipos. Se propone líneas de investigación prioritarias que debe atender este centro. Como una aplicación práctica de esta disciplina, se presenta la investigación del comportamiento tribológico de los recubrimientos electrometalizados en base a materiales exotérmicos, compuestos de aluminio - níquel en porcentajes de 30% y 70% respectivamente con otros materiales, en la perspectiva de utilizar estos recubrimientos en la reparación de piezas de máquinas.

Palabras clave: Tribología, recursos energéticos, recubrimiento electrometalizado, materiales exotérmicos.

Abstract

This article is about importance of tribology on industrial development. It emphasizes on the need to create an Ecuadorian Tribology Center as an alternative to save economic resources, feedstock, energy resources, and to get better equipment efficiency. This article proposes some priority research lines for this Center, too. A practical application of this discipline is presented here: the tribological behavior of electrometalized coatings based on exothermic materials composed on aluminum - nickel (30% and 70%, respectively) with others to use them in repairing machine parts.

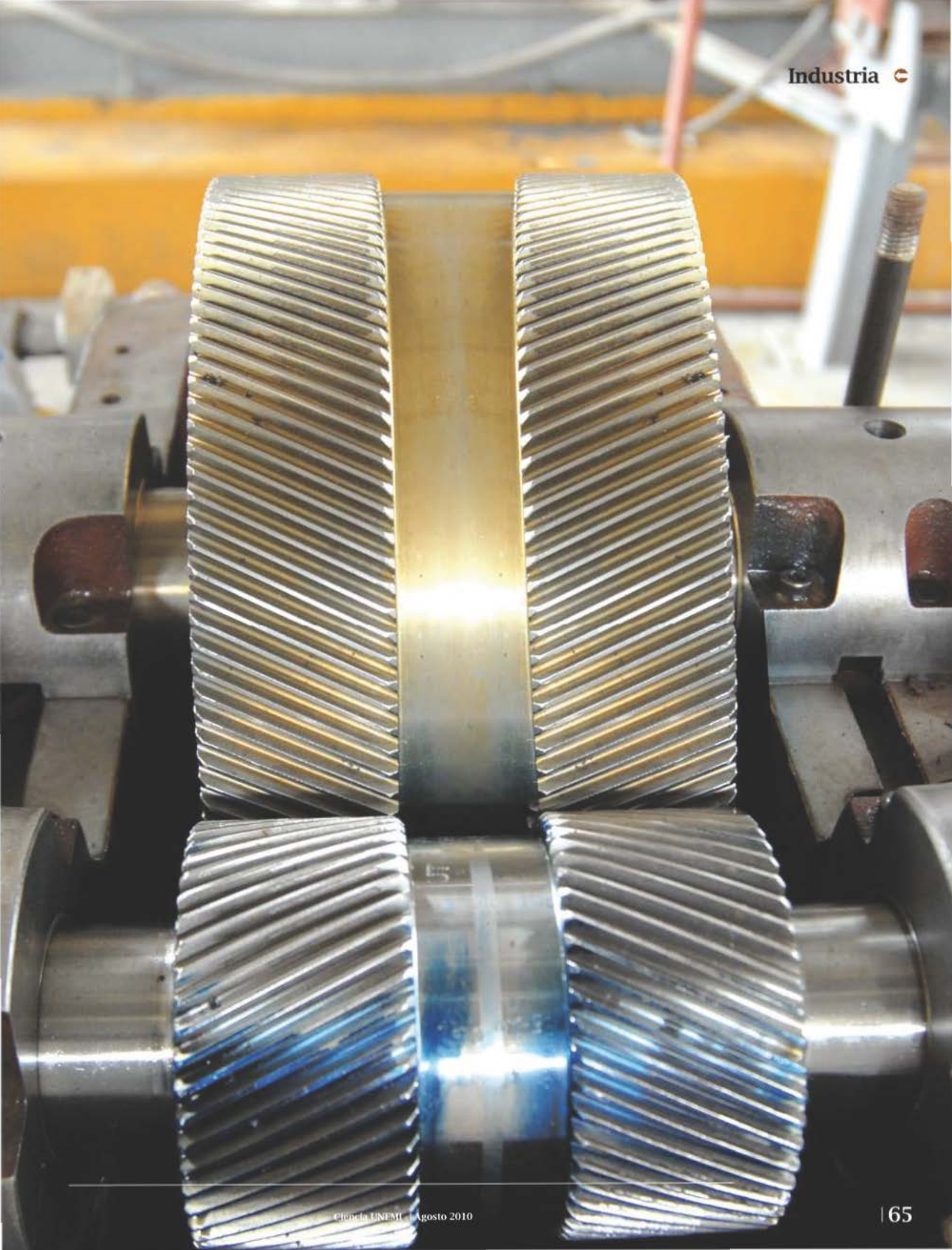
Key words: Tribology, energy resources, electrometalized coatings, exothermic materials.



POR: José Granizo, Ph.D.¹

E-mail
j.granizo@andinanet.net

Recibido: Diciembre, 2009
Aceptado: Marzo, 2010



Introducción

En el mundo físico que vivimos, no sucede nada sin la omnipresencia de la fricción, la cual constituye a la vez una limitación y una condición necesaria e inherente en cualquier transmisión de fuerza en los sistemas de producción.

La primera aplicación práctica de la fricción se remonta a la prehistoria cuando el hombre primitivo obtuvo fuego valiéndose de la transformación de la energía cinética en calor. La introducción de la rueda en los carros de la antigüedad y el uso de sustancias lubricantes en sus ejes para minimizar el trabajo requerido para el transporte de cargas pesadas se remonta a más de 3000 años; estos hechos demuestran la presencia de la fricción en el desarrollo industrial.

La incidencia de la fricción en la vida actual y en los procesos industriales, se manifiesta con las siguientes apreciaciones:

- Alrededor del 30% de la energía generada en el mundo se gasta en vencer la fricción en los sistemas mecánicos. La reducción de la fricción en estos casos es un problema de los ingenieros cuya solución se puede lograr por medio de la Tribología.
- Por otro lado en muchos casos de la vida y de la práctica ingenieril es necesaria la fricción: así por ejemplo el simple proceso de caminar y de agarrar con las manos exige un valor determinado de la fricción. Altos valores del coeficiente de fricción son requeridos en sistemas tales como: frenos, embragues y acoplamientos de fricción.

Estas dos simples apreciaciones demuestran la exigencia hacia los ingenieros de conocer los fenómenos asociados a la fricción, su forma de manifestarse y consecuencias que acarrea.

La Tribología, considerada una disciplina técnico – científica multidisciplinaria, se encarga del estudio de los macro y micro procesos que tienen lugar en las superficies en contacto durante su movimiento relativo, razón por la cual en los últimos tiempos se ha convertido en una de las ciencias de más rápido desarrollo.

Etimología

El nombre de TRIBOLOGIA se basa en las palabras griegas; tribos

(fricción) y logos (ciencia). Se separó de las ciencias físicas hace unos cuarenta años, y en la actualidad representa un área nueva de las investigaciones aplicadas. Nació de la necesidad de búsqueda de nuevos fondos que serían dirigidos al ahorro energético, al ahorro de materiales y al ahorro de costos de mantenimiento en varias ramas de la industria. En el año 1966 el Doctor Peter Jost presentó en el Parlamento Británico los resultados de investigaciones de un grupo de científicos. La cantidad de 515 millones de libras esterlinas en ahorro por tratamiento correcto de problemas de fricción y desgaste fue suficiente para convencer al gobierno de la importancia de emprender en un amplio programa de investigaciones [1].

En los países europeos y los Estados Unidos de Norte América, se han formado comités gubernamentales de tribología, los cuales investigan en las siguientes áreas:

- Economía de la energía;
- Desarrollo de nuevos materiales;
- Desarrollo de nuevos lubricantes.
- Regímenes de lubricación mixta, elastohidrodinámica y límite;
- Incremento de la resistencia al desgaste;
- Cojinetes de deslizamiento;
- Calidad de las superficies de rozamiento;
- Empaquetaduras y sellos;
- Diagnóstico tribotécnico;
- Conjunto pistón-cilindro;
- Medición de la fricción y el desgaste;
- Normalización de la terminología;
- Transmisiones dentadas;
- Aplicación de la computación a problemas tribológicos;
- Inclusión de la tribología en planes de estudio, de muchas carreras técnicas;
- Líquidos refrigerantes y lubricantes en la elaboración de materiales;
- Métodos analíticos para el cálculo de la fricción y el desgaste;
- Aplicación de la tribología en la nanotecnología;
- Aplicación de la tribología en la medicina.

Anualmente se organizan congresos, simposios, conferencias y se editan revistas especializadas, tales como: Wear, Wear and friction, Tribology

International, etc. En el Congreso mundial llevado a cabo del 6 al 11 de septiembre del 2009, en Kyoto Japón, se presentaron 850 artículos científicos sobre investigaciones tribológicas, y se encontraron presentes más de 1400 investigadores tribólogos de diferentes países [2].

En el año de 1988 el Comité Tribológico de Canadá publicó que en su país se pierde cerca de 5,000 millones de dólares, causados por fricción y desgaste, sólo en la industria metal mecánica, con una visión futurista este país ha estimado una inversión del 0,01% de su capital total para dedicarlo a investigaciones tribológicas y lograr un ahorro del 25% en este campo [3].

En los años setenta los países de tecnología avanzada analizaron los beneficios de la aplicación de la tribología y sus resultados fueron los siguientes: [4]

- República Federal Alemana: 6,250 millones de marcos alemanes por año.
- Estados Unidos de Norte América: 100 millones de dólares al año.
- Inglaterra: 19 millones de libras esterlinas en ahorro de energía al año.

Los beneficios económicos que se obtienen de una correcta aplicación y conocimiento de fenómenos y procesos tribológicos son indiscutibles. Los ahorros de los costos directos se aprecian de forma evidente en dos áreas:

1. Ahorros de energía por disminución de fricción en las máquinas;
2. Ahorro de materiales y materias primas.

Las organizaciones de ingenieros de varios países han logrado ahorros sustanciales al aplicar investigaciones tribológicas en el mantenimiento industrial resultado del incremento de la vida útil de máquinas y equipos, incremento de la fiabilidad y reducción del consumo energético.

En el país, se han iniciado investigaciones de los macro y microprocesos tribológicos de algunos sistemas de producción en la industria, como son:

- Evaluación triboenergética de los molinos MT 3000 y MT 34000 realizada en la Empresa Ecuatoriana de Cerámica C.A, Riobamba, Ecuador [5].

- Análisis tribotécnico del molino por vía húmeda de la Empresa Cemento Chimborazo.

- Recuperación de piezas por el método de metalización en base a materiales exotérmicos, aplicados sobre la base de hierro fundido dúctil [6].

- Investigación del comportamiento tribológico de los recubrimientos gasotérmicos aluminio - níquel - acero en condiciones de fricción por deslizamiento y presencia de lubricante con abrasivo [7].

En esta última investigación se determinó la resistencia relativa del desgaste de los pseudoaleaciones obtenidas por el método de electrometalización en base a materiales de aporte aluminio - níquel - acero, para la reconstrucción de cigüeñales de hierro fundido dúctil. Este material en los últimos años ha remplazado con éxito al acero al carbono, en la construcción de elementos de máquinas, piezas para maquinaria agrícola, y piezas que demandan alta fiabilidad en motores de combustión interna, como son cigüeñales, árbol de levas y otras. Posee excelentes propiedades tribotécnicas, ya que el grafito esferoidal en su microestructura cumple el papel de lubricante sólido.

Los métodos gasotérmicos de metalización representan una excelente alternativa para la reparación de elementos de máquinas construidos de hierro fundido, que han dejado de ser útiles debido al desgaste catastrófico, y que trabajan bajo condiciones de fricción por deslizamiento, formando un par cinemático inferior; como es el caso de los cigüeñales.

Si bien es cierto, el uso de los métodos de metalización no es nuevo en el campo del mantenimiento correctivo. En la práctica la selección óptima de los materiales de aporte y la obtención de una capa metalizada, que garantice una alta fiabilidad y durabilidad es un tema de actualidad.

Metodología de la investigación

La fricción y el desgaste no son propiedades intrínsecas de los materiales sino características de los sistemas tribológicos asociados a una serie de variables relacionadas con: estructura de los componentes (tipo de movimiento, carga, velocidad, temperatura, distancia de recorrido), condiciones de interacción (tipo de

contacto, área de contacto, presión de contacto, régimen de lubricación), cada una de las cuales incide en el funcionamiento del sistema en estudio, por tanto se plantea la siguiente metodología:

- a. Selección de los materiales de aporte;
- b. Diseño de experimentos;
- c. Fabricación de las probetas;
- d. Proceso de metalización y rectificado;
- e. Ensayos de adhesión de la capa metalizada y de microdureza;
- f. Ensayo de fricción y desgaste;

a. Selección de los materiales de aporte

Para la selección de los materiales se tomó en cuenta los siguientes aspectos técnicos:

- Capacidad de adhesión de la capa metalizada con el material base;
- Facilidades para el rectificado de la capa pulverizada;
- Capacidad de trabajo del material obtenido luego de la rectificación con el material que forma el par;
- Garantizar altas propiedades tribotécnicas del recubrimiento;
- Aspectos económicos.

De acuerdo a [8], [9] los recubrimientos metálicos base níquel - aluminio poseen alta resistencia de adhesión entre la base a recuperar y la capa metalizada, alta cohesión entre partículas, alta resistencia a la corrosión y a las altas temperaturas.

Resultado de las reacciones químicas durante el rociado metálico, destacan los autores, se forman compuestos químicos y soluciones sólidas; la alta temperatura y velocidad que alcanzan las partículas en el transcurso del proceso, favorece una buena adhesión. Características que se tomaron en cuenta para seleccionar el material de aporte en forma de alambre, denominado ALUNIK 7/1 con un diámetro 3,2 mm; la particularidad de este material es que su porcentaje en peso es 30% de Al y 70% de Ni.

Con la finalidad de obtener un marco referencial sobre la resistencia al desgaste del material seleccionado se utilizó material de acero, diámetro 1,6 mm; con un contenido de 0,65% de C; 1,3% de Mn y el resto Fe.

Y un tercer material con un contenido: (0,05 - 0,11)% C; (0,70 - 0,95)% Si; (1,80 - 2,10)% Mn; 0,3%

Ni; 0,20% Cr, de diámetro 1,8 mm. Este alambre es utilizado en la soldadura MIG (Metal Inert Gas).

b. Diseño de experimentos

Para los ensayos de fricción y desgaste, se plantea un diseño experimental factorial de 2K, el mismo que permite estudiar el efecto de varios factores o variables sobre una respuesta. Para estos ensayos se plantearon variables independientes y dependientes.

Variables independientes: carga y velocidad;

Variables fijas: dureza y porcentaje de abrasivo;

Variables independientes no establecidas: Temperatura en la zona de contacto y viscosidad del lubricante, estas no se puede fijar y son producto de la experimentación.

Variables dependientes: coeficiente de fricción y razón de desgaste.

c. Fabricación de probetas

El ensayo de resistencia al desgaste, se ejecutó bajo el esquema árbol - zapata, las probetas se maquinaron de acuerdo a las exigencias del tribómetro AMSLER MI - 1M, las medidas de las probetas sujetas a experimentación, se muestran en la Figura 1. Estas son de acero AISI/SAE 1045, en estado de suministro, con una dureza de 220 HB, la superficie sobre la cual se deposita la capa metalizada, se somete a una limpieza por granallado con corindón blanco, las partículas de corindón oscilan en un rango de (0,5 - 1,5) mm y son proyectadas con una presión de aire entre (0,7 - 0,8) MPa, en una cabina de granallado con recuperación automática del abrasivo.

Las probetas giran a razón de 60 rev/min, durante el proceso de granallado, lográndose con este tratamiento eliminar suciedades, incrementar el grado de rugosidad, lo que permite que mejore la adherencia. La contra probeta es de babbit base plomo, una pastilla de (10 x 10) mm de este material se encuentra empotrada en la contra probeta, la cual está fabricada de acero AISI/SAE 1020. Las probetas patrón, con las cuales se compara la resistencia al desgaste son de hierro fundido dúctil tipo perlítico 80-55-06, dureza 230 HB, y acero AISI/SAE 1045 con temple y una dureza de 62 HRC.

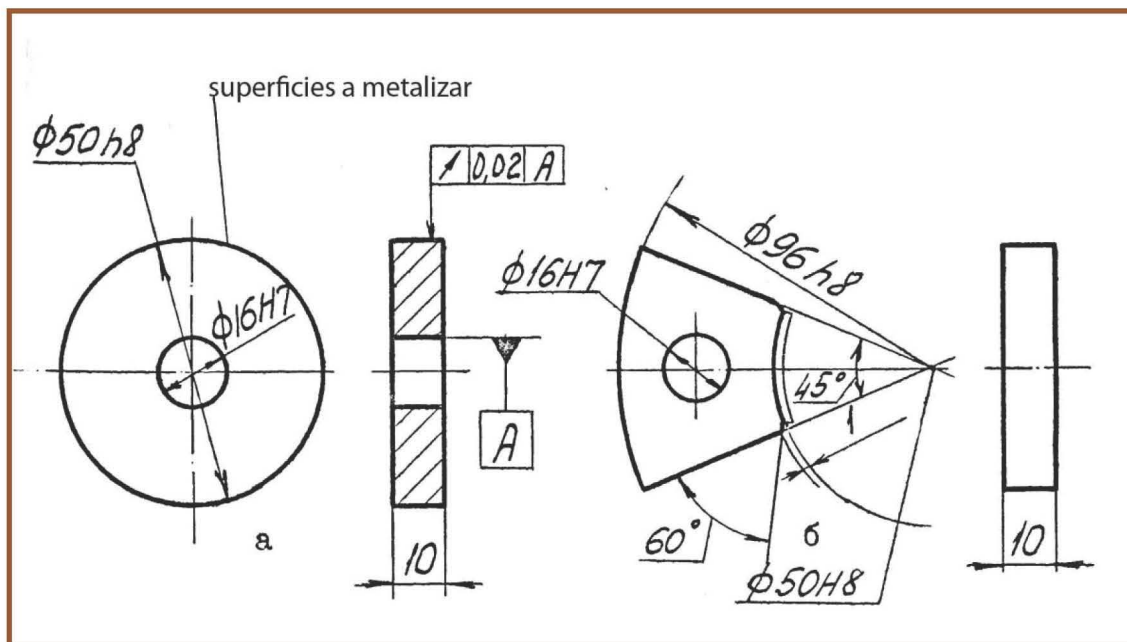


Figura 1. Probeta sujeta a metalización y contraprobeta para ensayo de fricción.

d. Proceso de electrometalización y rectificado

El proceso de metalización se realiza bajo el esquema que se muestra en la Figura 2, sobre las probetas cilíndricas, las cuales han sido montadas en un torno, los conductos del cabezal metalizador seleccionado EM 12 forman un ángulo

de 30° y el generador de corriente utilizado es una máquina soldadora de arco marca TIMES 500. Los alambres durante el metalizado son alimentados automáticamente a una velocidad constante, el aire se suministra al cabezal por medio de mangueras y ayuda a que las partículas que produce el arco sean proyecta-

das a la superficie a una gran velocidad y alta temperatura, al chocar contra la superficie estas partículas se aplastan y forman discos de forma irregular. Investigaciones anteriores realizadas por el autor en este campo determinan que la calidad del proceso de granallado, juega un papel importante para la adherencia.

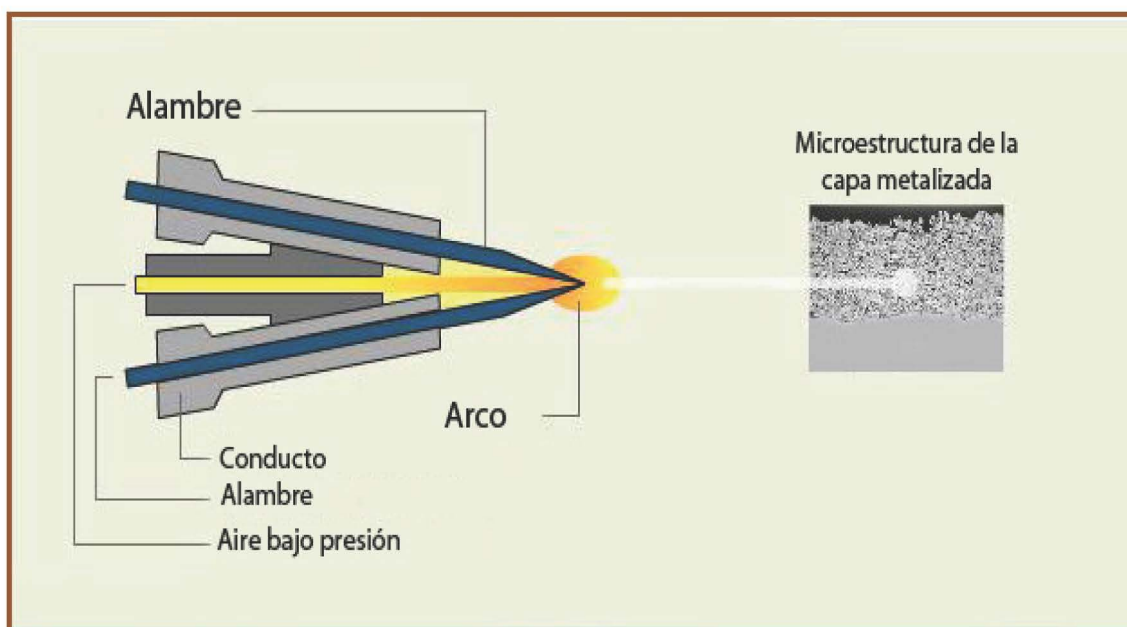


Figura 2. Esquema del proceso de electrometalización.

Los parámetros utilizados para el proceso son:

- Presión del aire 0,5 - 0,6 Mpa
- Velocidad de giro de las probetas 100 rpm
- Velocidad de avance de los alambres 0,04 m/s
- Tensión de corriente 32 -35 V
- Intensidad de corriente 120 - 130 A
- Distancia desde el arco a la probeta 75 - 100 mm
- Espesor de la capa metalizada 1,04 - 1,05 mm

Se prepararon dieciséis (16) probetas para cada combinación de materiales, de las cuales ocho se sometieron a un calentamiento por corriente de alta frecuencia, su finalidad es incrementar la fuerza de adhesión entre el material base y el material de aporte, disminuir el tamaño de las microporosidades, incrementar las fuerzas de cohesión entre los microcomponentes y disminuir las tensiones internas residuales de la capa metalizada.

Teóricamente se conoce que, algunas de las partículas pulverizadas llegan en estado semilíquido a la superficie a recuperarse, lo cual disminuye la adhesión de la capa metalizada con la superficie. Razón por la cual, el cincuenta por ciento de las probetas luego de haber sido metalizadas se someten a calentamiento por corriente de alta frecuencia, con la finalidad de estudiar la influencia del tratamiento térmico

sobre la estructura.

Los parámetros óptimos, seleccionados luego de una serie de experimentos con los cuales debe trabajar el generador de alta frecuencia son:

- Intensidad de corriente en la red del generador 0,6 A
- Intensidad de corriente en el ánodo del generador 3,5 A
- Forma del inductor circular

Antes de proceder a la rectificación, las probetas se introdujeron en aceite SAE 40, por el lapso de veinte y cuatro horas, con la finalidad de mejorar su maquinabilidad, evitar concentración de polvo en las microporosidades.

El rectificado de la capa metalizada se realizó en una máquina rectificadora de cigüeñales, utilizando una rueda abrasiva de corundum, el proceso de rectificado todo el tiempo se encuentra bajo la acción de un refrigerante (aceite mineral sulfurizado). Los parámetros de rectificación utilizados son:

- Velocidad de la rueda abrasiva 25 - 33 m/s
- Avance transversal 3 - 3,5 mm/rev
- Profundidad de corte 0,035 - 0,04 mm/rev

Luego del rectificado, se realiza un control visual de la superficie maquinada con ayuda de una lupa con aumento 10x, todas aquellas que pasan el control son sometidas a medición de la rugosidad, para determinar el parámetro Ra de cada

probeta, obteniéndose (0,4 - 0,6) μm .

e. Ensayos de adhesión de la capa metalizada y de microdureza

Las técnicas utilizadas para determinar la adhesión, son de dos tipos:

1. Método de separación;
2. Método de dislocación.

Estos métodos se utilizan tomando en cuenta que el elemento de máquina recubierto es un árbol, el cual se encuentra sometido a un momento friccional.

El análisis metalográfico efectuado en las probetas del recubrimiento ALUNIK 7/1 y atacado con un reactivo compuesto de 30 ml HNO_3 , 0,5 ml HCl , 70 ml CH_3COOH permite determinar la presencia de fases, tales como: NiAl y Ni₃Al en proporciones similares, se observa óxidos tales como Al_2O_3 y NiO en menores proporciones. Estas fases son fácilmente identificadas por el color y su microestructura. Las soluciones sólidas NiAl presentan un color celeste con tendencia a amarillento con microdureza 7.330 MPa, los óxidos presentan una característica oscura con tendencia a color negro, por lo cual el investigador puede confundirse con las microporosidades, pero que al medir la microestructura puede alcanzar valores de hasta 20.000 MPa.

En la Figura 3 se muestra una microestructura típica para un recubrimiento de aluminio - níquel, y las mediciones de microdureza realizadas en las diferentes fases.

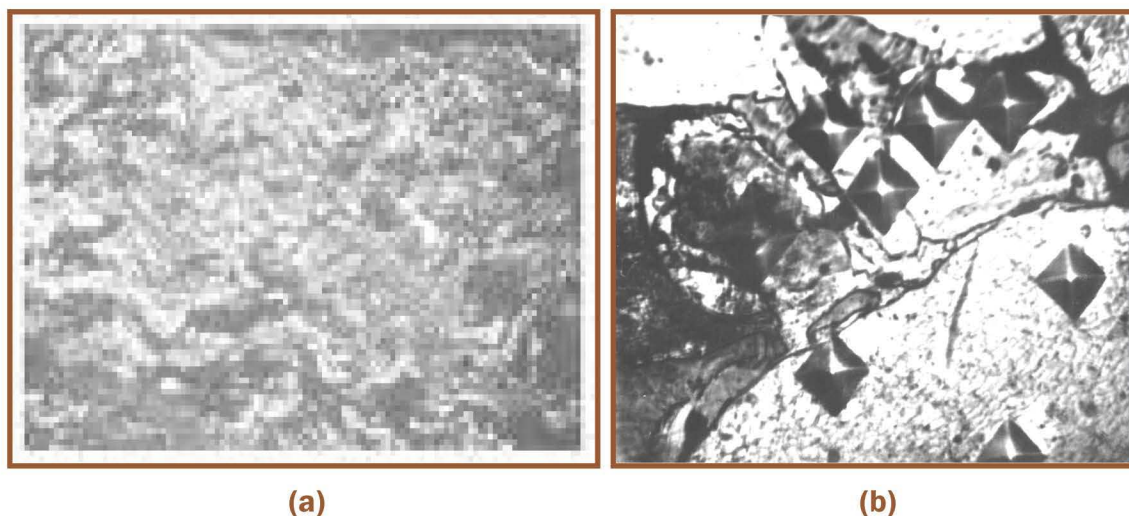


Figura 3. (a) Microestructura del recubrimiento ALUNIK 7/1 + ALUNIK 7/1(x200); (b) microdureza Vickers del recubrimiento ALUNIK 7/1+ ALUNIK 7/1 (x 400)

f. Ensayo de fricción y desgaste

La investigación de la resistencia al desgaste de cada uno de los recubrimientos obtenidos fue planificada en dos etapas, en el tribómetro MI-1M. Tomando en cuenta la dinámica de desgaste de un par tribológico directo, característico de un desgaste cigüeñal cojinete de deslizamiento.

Primera etapa:

Durante una hora, utilizando lubricante SAE 40 sin abrasivo se llevo a efecto la etapa de asentamiento, la temperatura en la zona de contacto se mide con un pirómetro óptico, el ensayo se realiza, con una carga de 5 N y termina cuando alcanzado 40 N, en esta etapa se

pulen las rugosidades superficiales y tiende a estabilizarse el momento de fricción.

Segunda etapa:

Denominada de explotación, en esta etapa se introduce abrasivo (partículas finas de cuarzo, menores de 0,3 µm) en el lubricante, el cual diez minutos antes de haberse iniciado la segunda etapa, se encuentra en constante movimiento, lo que se logra con ayuda de un dispositivo diseñado para el efecto, su finalidad es que la mezcla sea uniforme. La dosis de lubricante con abrasivo que se introduce en la superficie investigada es de 0,2 cm³/min, y la velocidad de fricción de 3 m/s, la carga periódicamente se

incrementa de acuerdo a las condiciones técnicas de la máquina de fricción, hasta alcanzar los 400 N. El espacio recorrido de cada ensayo alcanza los 37.680 m. Finalizado el ensayo las probetas y el material babbit utilizado como contra probeta son cuidadosamente limpiados con gasolina extra y luego con acetona.

Con la finalidad de evaluar el desgaste producido durante el ensayo, las probetas se pesan en una balanza digital de precisión.

La resistencia relativa al desgaste, y el coeficiente de fricción de los materiales investigados se determina de acuerdo al manual de explotación del tribómetro MI-1M por las siguientes fórmulas:

Resistencia relativa al desgaste;

$$K = \frac{g_p \cdot \rho_i \cdot S_i}{g_i \cdot \rho_p \cdot S_p} \quad (1)$$

donde:

$g_p \cdot g_i$ Pérdida de masa del material patrón y del recubrimiento;

$\rho_p \cdot \rho_i$ Pérdida de masa del material patrón y del recubrimiento;

$S_p \cdot S_i$ Espacio recorrido de fricción del material patrón y del recubrimiento;

Coficiente de fricción:

$$f = \frac{M_f}{R \cdot P \cdot A_a} \quad (2)$$

donde:

M_f : Momento de fricción, N·m;

R : Radio de la probeta, m;

P : Presión, Pa;

A_a : Área real de contacto, m²

Resultados y discusión

Todos los recubrimientos muestran una alta resistencia al desgaste, bajo las condiciones en las que se realizó la experimentación. El periodo de asentamiento de la combinación de los materiales ALUNIK 7/1 + ALUNIK 7/1 se efectúa con un alto grado de oscilación del momento de fricción durante la aplicación de la carga, lo que indica que se rompe la cuña del lubricante, la temperatura se incrementa de manera rápida en la zona de contacto, alcanzando 110°C.

La combinación del material ALUNIK 7/1 + el material con un contenido químico de: (0,05 - 0,11)% C; (0,70 - 0,95)% Si; (1,80 - 2,10)% Mn; 0,3% Ni; 0,20% Cr, presenta similares características que el anterior, sin embargo no se registra

oscilaciones bruscas en el momento de fricción y la temperatura.

En base a los resultados obtenidos, se concluye que la estructura lograda con los materiales ALUNIK 7/1 y material de composición química 0,65% de C; 1,3% de Mn y el resto Fe, presenta mejores características tribológicas dentro de la gama de probetas ensayadas. Durante los ensayos de fricción al aplicar la carga, se destaca lo siguiente: el momento friccional se incrementa, no presenta oscilaciones bruscas, 10 minutos luego de haberse terminado el periodo de asentamiento el momento de fricción se estabiliza, la temperatura en el área nominal de contacto también es estable, lo cual significa que la película de lubricante permanece inalterable. La resistencia al

desgaste de esta combinación supera en 2,7 veces la resistencia al desgaste del hierro fundido dúctil y en 2,5 veces la resistencia al desgaste del acero AISI/SAE 1045, mientras que, el desgaste del material babbit que forma el par tribológico es menor en 2,1 veces en comparación con los materiales de las probetas patrón.

El tratamiento térmico (recocido) disminuye la dimensión de las microporosidades, incrementa la resistencia al desgaste, así como la adhesión del recubrimiento con la base. Para esta combinación de materiales se amplió el rango de presión en la zona de contacto, cuando se tiene una presión de 17,5 MPa, se observa una destrucción plástica del material llegando a la fractura producto de la fatiga.

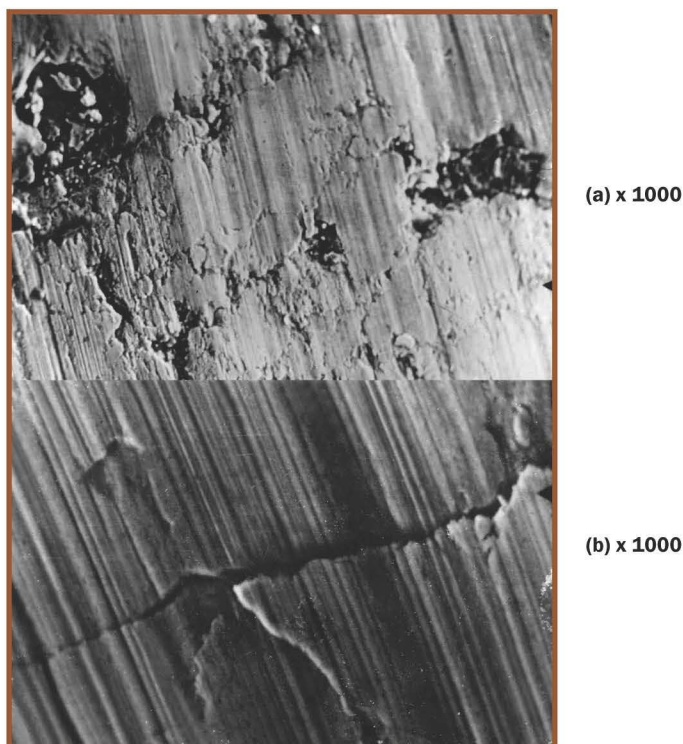


Figura 4. Barrido electrónico (SEM) de las superficies de fricción de la capa metalizada de ALUNIK 7/1 + 0,65% de C; 1,3% de Mn y el resto Fe, con tratamiento térmico. $P = 17,5$ MPa; $v = 3$ m/s.

Conclusiones

- El fenómeno del desgaste en los pares y sistemas tribológicos depende sobre todo de las propiedades metalúrgicas y composición química de los materiales.

- La metodología propuesta para la recuperación de piezas, incrementa significativamente la vida útil de órganos y elementos de máquinas.

Recomendaciones

- Se recomienda la aplicación de este recubrimiento en la reparación de piezas de máquinas, tipo eje o árbol que han dejado de ser útiles debido al desgaste catastrófico.

- Para lograr el desarrollo de esta ciencia en el país y su aporte práctico en la industria se requiere aunar esfuerzos y crear el CENTRO TRIBOLÓGICO ECUATORIANO, el cual debe agrupar a instituciones estatales y privadas, a universidades y organizaciones interesadas en el impulso de esta disciplina, que en los últimos tiempos se ha convertido en una de las ciencias de más rápido desarrollo.

- El Centro Tribológico Ecuatoriano, debe dar respuesta a las siguientes incógnitas:

1. ¿Cuál es el consumo energético en las diferentes industrias o sectores de la economía?

2. ¿Qué porcentaje de ese consumo se debe a la fricción?

3. ¿Qué posibilidades existen de disminuir el consumo de energía aplicando la Tribología?

4. ¿Cuáles son los sectores de la economía que presentan mayores gastos en la reposición de piezas de

máquinas?

5. ¿En qué industrias la aplicación de la Tribología incide en la disminución de los gastos de reparación y mantenimiento?

6. ¿Cuáles son los sistemas tribológicos críticos desde el punto de vista de la fricción, el desgaste, y la lubricación?

7. ¿Qué fuentes de materias primas dispone el país para la fabricación de piezas?

8. ¿Cuáles son las principales tecnologías que dispone el país para la fabricación de piezas?

9. ¿Cuáles son las principales tecnologías que dispone el país para la recuperación de piezas?

10. ¿De qué manera debe contribuir la tribología en la generación eléctrica?



REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

[1] Barat, B. (2001). Modern Tribology Handbook, vol1, p. 5.

[2] World Tribology Congress 2009. Información extraída del sitio: <http://www.wtc2009.jp>

[3] Martínez, F. (2003). La tribología ciencia y técnica para el mantenimiento, p. 9.

[4] Zygmunt, H. (1993). I Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica, pp. 303-304.

[5] Panchez, M. (2005). Evaluación Triboenergética de los Molinos MT 30000 y MT 34000 de la Empresa Ecuatoriana de Cerámica, Tesis de grado, Riobamba, Ecuador.

[6] Granizo, J. (1998). Propiedades Tribotécnicas de los Recubrimientos Electrometalizados. Primeras Jornadas Científico Tecnológicas de Ingeniería Mecánica del Ecuador. Riobamba, Ecuador.

[7] Granizo, J. (1988). Comportamiento Tribológico de los Recubrimientos Gasotérmicos Aluminio Níquel en Condiciones de Fricción por Deslizamiento y Presencia de Lubricante con Abrasivo.

[8] Kulik, A. y Borisov, I. (1985). Pulverización gasotérmica, p.105 (en idioma ruso)

[9] Jasui, A. y Morgan, O. (1985). Soldadura y Metalización, p.16 (en idioma ruso).