



Dyna

ISSN: 0012-7353

dyna@unalmed.edu.co

Universidad Nacional de Colombia

Colombia

Jairo Coronado, John; Rivas, John Sandro; León Gómez, Adolfo
Estudio tribológico en chumaceras y ejes de molino de caña de azúcar
Dyna, vol. 71, núm. 144, noviembre, 2004, pp. 1-8
Universidad Nacional de Colombia
Medellín, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49614401>

- 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

ESTUDIO TRIBOLÓGICO EN CHUMACERAS Y EJES DE MOLINO DE CAÑA DE AZÚCAR

JOHN JAIRO CORONADO

*Profesor Escuela de Ingeniería Mecánica, Grupo de Investigación en Mejoramiento Industrial, Universidad del Valle,
Tel. 3212262-3212133, Fax 3334899, e-mail: johncoro@petecuy.univalle.edu.co*

JOHN SANDRO RIVAS

Ingeniero Mecánico, Estudiante de la Maestría en Ingeniería Mecánica, Grupo de Investigación en Mejoramiento Industrial, Universidad del Valle

ADOLFO LEÓN GÓMEZ

Profesor Escuela de Ingeniería Mecánica, Grupo de Investigación en Mejoramiento Industrial, Universidad del Valle.

Recibido 10 de Septiembre de 2004, aceptado 30 de Septiembre de 2004, versión final 8 de Octubre de 2004

RESUMEN: Las chumaceras y los ejes de molino de caña de azúcar presentan fallas como: desgaste, fisuras y quemaduras. Un proyecto de investigación acerca de la tribología del par bronce-acero es realizado por la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad del Valle, junto con CENICAÑA y el Ingenio Manuelita, y se basa en la identificación del mecanismo de desgaste presente y en el análisis de las propiedades tribológicas de los elementos del par. Dentro del proyecto de investigación se diseñó y construyó un tribómetro de desgaste adhesivo normalizado tipo bloque-anillo, para reproducir las condiciones de operación de los molinos de caña y se ensayaron diferentes combinaciones de materiales para la chumacera: bronce SAE 67 y 64, con diferentes lubricantes: grasa y aceite. A través del uso de microscopía óptica y electrónica se pudo identificar el mecanismo de desgaste en bronce y guijos. De acuerdo a los resultados obtenidos se pudo concluir que la mejor combinación tribológica fue el par acero SAE 1045 – bronce SAE 64 y aceite como lubricante para los molinos de caña de azúcar.

PALABRAS CLAVE: Chumacera, guijo del eje, desgaste.

ABSTRACT: A research concerning tribological aspects of bronze-steel pairs was performed at the Mechanical Engineering School of the Universidad del Valle (Cali – Colombia) together with CENICAÑA and Manuelita Mill, based on both the identification of wear mechanisms present in the tribological pair and the analysis of mechanical and tribological properties of the pair elements. A block-on-ring tribometer was designed and built to test different bearing materials and lubricants. Optical and scanning electron microscopes were used to characterize surface phenomena in tribological pairs. The results showed that the best tribological pair for sugar cane mills was SAE 1045 steel – SAE 64 bronze lubricated with oil.

KEY WORDS: Bearing, journal shaft, wear.

1. INTRODUCCIÓN

En Colombia, al igual que en muchos países con industria azucarera, es generalizado el uso de trenes de molinos para separar el jugo de la fibra que está contenido en la caña. La alta tasa de desgaste en los guijos de los ejes de maza superior es un importante problema en la industria azucarera colombiana y ha mostrado una marcada influencia en la confiabilidad de los ejes. El elevado desgaste reduce la vida en servicio del eje y obliga a la aplicación de procesos de recuperación por

arco sumergido en el guijo del eje. Soldar un eje de acero requiere un procedimiento delicado para evitar reducir su confiabilidad. El diseño de los molinos ha permanecido relativamente estable por casi dos siglos manteniendo el principio de aplicar grandes presiones a bajas velocidades de rotación. Estas presiones son aplicadas a través de actuadores óleo-neumáticos en las chumaceras de los ejes de maza superior creando efectos mecánicos (esfuerzos y desgaste) sobre todos los componentes.

Las chumaceras y los ejes de molino presentan fallas recurrentes; desgaste y rayado producido por el ingreso de jugo con partículas abrasivas especialmente durante la flotación del eje, es decir cuando el sistema óleo-neumático permite el desplazamiento de la maza superior. El desgaste cambia el punto de aplicación de la fuerza elevando el estado de esfuerzos sobre el eje, elemento crítico del sistema. Además, se genera calor excesivo en las áreas que aún mantienen contacto, hasta el punto de presentar fisuras y quemaduras en los bronce, como se observa en la Figura 1.

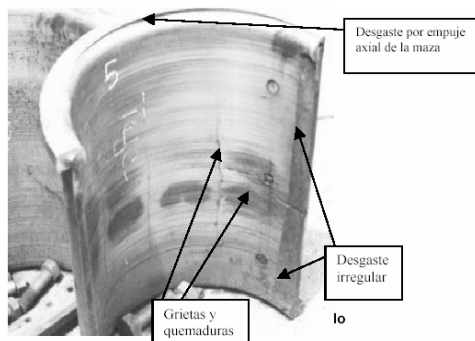


Figura 1. Chumacera de bronce con fisuras y desgaste.

En los ejes se presenta la disminución de las dimensiones, rayado, sobrecalentamiento y la aparición de puntos de concentración de la carga, debido al mayor desgaste en un extremo del guijo como se puede observar en la Figura 2.

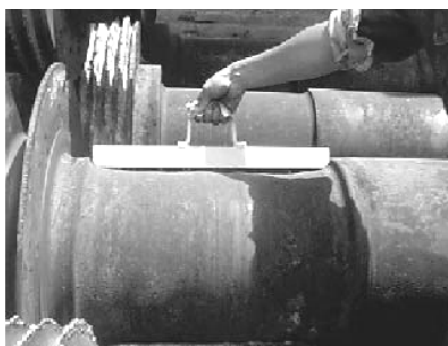


Figura 2. Guijo del eje desgastado

Debido a las grandes inversiones de capital, los elevados consumos energéticos, los

elevados costos de mantenimiento y los efectos económicos y ambientales de las disfunciones, todo dentro de un marco de difícil competencia internacional, se hace necesario el adecuado tratamiento del problema de desgaste de las chumaceras y ejes de molino de caña.

Para poder evaluar el par tribológico de materiales bronce-acero, usados en la chumacera y el eje respectivamente, se diseñó y construyó un tribómetro de desgaste adhesivo, bajo condiciones reales de operación de los molinos, (Norma ASTM G77). Con las pruebas en el tribómetro se busca seleccionar el material más adecuado para la chumacera, es decir, el que tenga mejor comportamiento ante el desgaste. Además, se analizaron diferentes lubricantes para seleccionar el más adecuado. En este artículo se presenta el diseño del tribómetro y las características del par tribológico bronce-acero.

En trabajos previos se estudió el comportamiento en seco de varios tipos de aluminio contra acero (Goldman et al., 2001). Después del análisis microscópico encontraron que el mecanismo de desgaste era adhesivo y abrasivo. Se realizaron estudios sobre las propiedades del bronce al silicio-manganeso (Kukareko et al., 2003) durante la fricción con el acero templado sin lubricación, observaron que aparece una capa de cobre reduciendo la fricción y velocidad de desgaste. Otros autores encontraron (Gessesse et al., 2004) que un aumento en la presión de contacto en materiales elasto-plásticos puede causar un aumento significativo en el tamaño de la zona plástica de la fisura y puede permitir que ésta alcance la superficie.

DISEÑO DEL TRIBÓMETRO

Con el tribómetro para desgaste adhesivo se busca representar de una manera precisa el régimen de operación de los molinos de caña de azúcar. Es decir, de una forma tal que se puedan cuantificar los parámetros como: la fuerza de fricción, la temperatura

de contacto, la temperatura del lubricante, la velocidad de deslizamiento, el tiempo de recorrido y el desgaste sufrido por las probetas. En el tribómetro se evaluó el rendimiento de diferentes lubricantes y la influencia de este sobre el desgaste y el coeficiente de fricción. Se usó el bastidor del un torno para aprovechar de su potencia de 3HP y un variador de velocidad que permite simular la velocidad de deslizamiento.

En la Figura 3 se muestra el montaje del tribómetro. Se tiene un eje (A) soportado en dos rodamientos, en el se monta el anillo de acero a ser evaluado. Un tornillo de potencia (B) fue usado inicialmente para cargar el alojamiento (C) del cojinete o del bloque, a través de una celda de carga (D). La celda de compresión (D) permite conocer la fuerza normal aplicada y la celda de tensión (E) permite obtener la fuerza de fricción. La temperatura de contacto es medida por medio de un transmisor de temperatura el cual se encuentra en contacto con el bronce, el desgaste del bronce puede ser evaluado por simple pérdida de peso o por el ancho de la marca dejada sobre la superficie de la probeta. El diseño del tribómetro permite usar el bronce en forma cilíndrica o de bloque. El anillo de acero y el bloque de bronce se sumergen en un recipiente con el lubricante a la temperatura de operación del molino.

El eje se diseñó con un escalón que sirviera de tope y que presentara forma cilíndrica en su extremo, para facilitar el maquinado de los anillos de prueba.

Durante la calibración del tribómetro se encontró que la fuerza aplicada mediante el tornillo de potencia de autobloqueo tenía grandes fluctuaciones y además, no facilitaba una aplicación constante de la carga de compresión. Por lo tanto, se construyó una palanca que permite controlar la carga y obtener leves

fluctuaciones en la lectura, como se observa en la Figura 4.

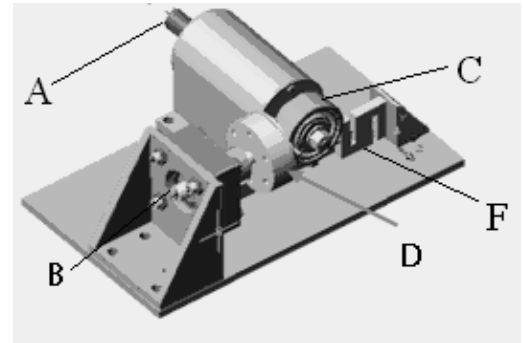


Figura 3. Configuración del tribómetro.

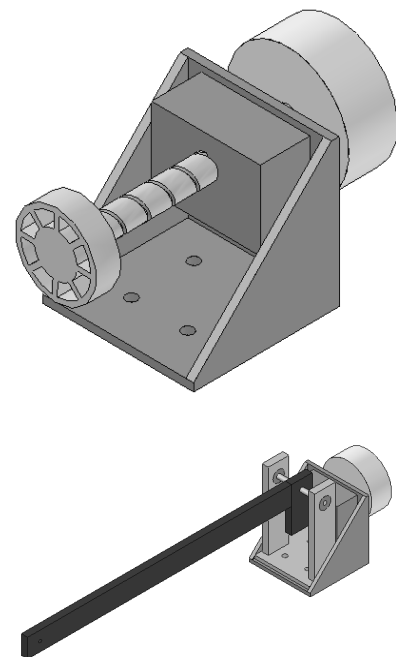


Figura 4. Fuerza aplicada mediante tornillo y palanca.

En la Figura 5 se muestra el tribómetro de desgaste adhesivo construido en el laboratorio de procesos de manufactura de la escuela de ingeniería mecánica de la Universidad del Valle.

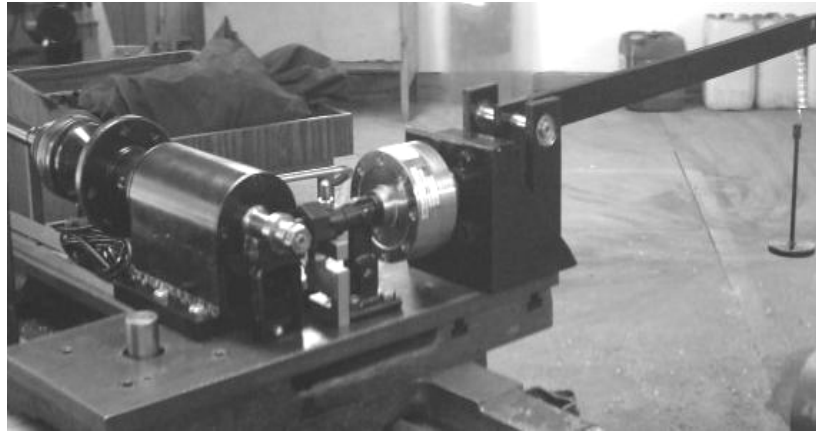


Figura 5. Foto del tribómetro de desgaste adhesivo.

2. EXPERIMENTACIÓN

Se usó el microscopio óptico para analizar la microestructura de los bronce estudiados y conocer su efecto en las pruebas de desgaste adhesivo. El bronce SAE 64 presentó una distribución uniforme del plomo (Figura 6), mientras que en el bronce SAE 67 el plomo se concentró en algunos puntos.

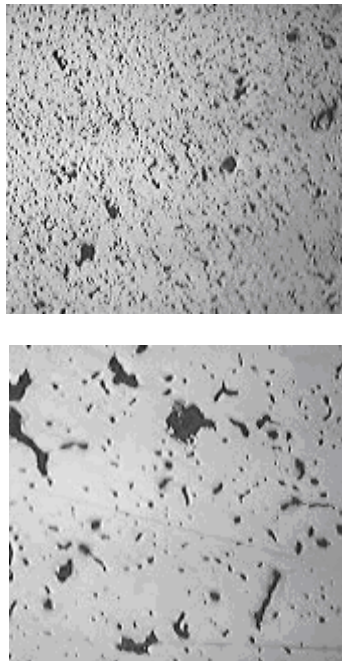


Figura 6. Microestructura del bronce SAE 64 y SAE 67 a 100X.

La microscopia electrónica sobre la superficie de desgaste del eje y la chumacera evidenciaron un mecanismo de desgaste adhesivo. En la Figura 7 se aprecia mayor desgaste sobre la chumacera.

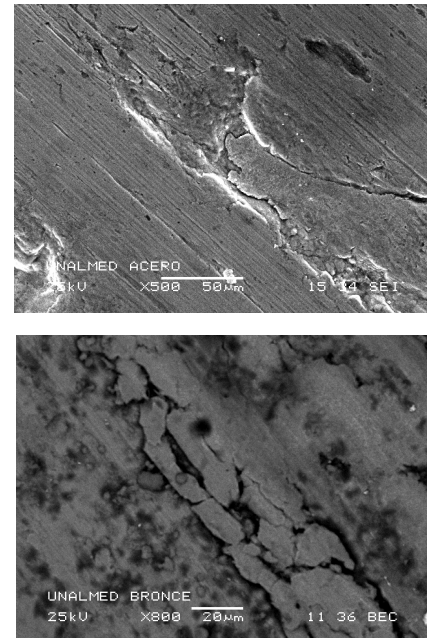


Figura 7. Microscopia electrónica en el eje y la chumacera.

La superficie del eje y la chumacera también sufren desgaste abrasivo, debido a materia extraña que entra al interior de la chumacera, durante la flotación del eje. El acero SAE 1045 usado para las pruebas

tiene una dureza de 200 BHN, para el bronce SAE 64 la relación de durezas es de 3.33 y para el bronce SAE 67 es de 3.64.

El método de prueba usado fue un procedimiento de laboratorio para determinar la resistencia al desgaste por deslizamiento. La prueba utiliza la máquina desgaste adhesivo en una configuración bloque-anillo (Tipo Falex), para determinar la fricción y el desgaste bajo condiciones de evaluación controladas, ver Figura 8.

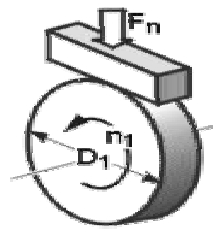


Figura 8. Configuración bloque – anillo.

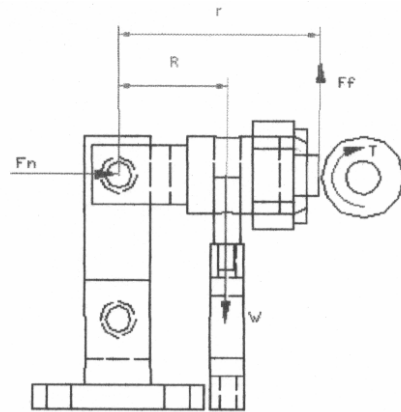


Figura 9. Diagrama de fuerzas bloque – anillo.

$$F_f * r = W * R$$

$$m F_n * r = W * R$$

$$m = \frac{W}{F_n} * \frac{R}{r}$$

F_n = carga aplicada en el bloque
 r = radio de giro F_f .
 R = radio de giro W .
 W = reacción en el brazo de torque
 F_f = fuerza de fricción en el par.

La prueba puede realizarse con diferentes lubricantes con el fin de simular las condiciones de servicio. La velocidad rotacional y la carga se pueden variar para simular las condiciones reales de operación.

El bloque es cargado contra el anillo de prueba que rota a una velocidad dada para dar un número de revoluciones determinado. Los resultados que se encuentran es una huella de desgaste en el bloque que permite obtener la pérdida de volumen. La elevación de temperatura del lubricante o el bloque y la fuerza requerida para mantener el bloque en su lugar, es continuamente medida durante la prueba con una celda de carga, este dato es convertido a fuerza de fricción. En la Figura 9 se presenta el diagrama de fuerzas para encontrar el coeficiente de fricción.

En la figura 10 se muestran las dimensiones en milímetros del anillo y el bloque. El anillo debe tener una rugosidad en la superficie exterior de 0.152 a 0.305 μm en la dirección del movimiento, aunque rugosidades diferentes pueden presentarse y se debe tener en cuenta que afectan los resultados de desgaste. La rugosidad promedio de los anillos de acero fue de 0.16 μm y la rugosidad de los bloques de bronce fue de 0.1143 μm .

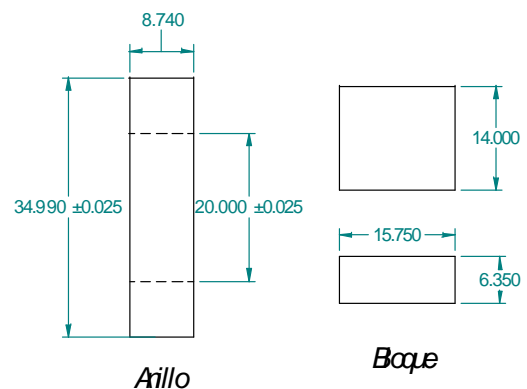


Figura 10. Dimensiones del anillo y bloque.

3. RESULTADOS

Se realizaron pruebas en las cuales se utilizaron dos tipos de bronce y dos clases de lubricantes. Con el objetivo de conocer el comportamiento de los bronce, es decir, que proporcionen características de bajo coeficiente de fricción y desgaste, se probaron dos tipos de bronce comerciales con designaciones específicas como lo son el SAE 67 y 64. Se probaron dos lubricantes que se emplean habitualmente para las chumaceras: la grasa y el aceite asfáltico, con el fin de encontrar el más apropiado para la aplicación en las chumaceras de los molinos de caña. El número de repeticiones para cada combinación fue de tres. La unidad

experimental a la cual se le aplican los tratamientos y del cual vamos a tener resultados es el bloque de bronce.

Las variables de respuesta del experimento eran: coeficiente de fricción y desgaste del bronce. Las variables controladas fueron: temperatura del lubricante, velocidad del anillo de acero, distancia recorrida de fricción, carga aplicada y material del anillo. La simulación de las condiciones de extrema presión, baja velocidad y elevación de la temperatura nos lleva a aplicar los siguientes parámetros de prueba, ver Tabla 1. Dentro de las variables controladas se encontraron también la dureza, la rugosidad y geometría de las probetas probadas, las cuales se presentan en la Tabla 2.

Tabla 1. Parámetros de operación.

| | |
|----------------------------------|-----------|
| Velocidad de deslizamiento (m/s) | 0.1264494 |
| Presion nominal (MPa) | 8.1423 |
| Distancia de prueba (Rev) | 5400 |
| Temperatura de trabajo (°C) | 50 |

Tabla #2. Propiedades geométricas y superficiales de las probetas.

| Elemento | Dimensión | Material | Dureza (BHN) | Rugosidad Ra (μm) |
|----------|-------------------|-----------|--------------|-------------------|
| Anillo | Diametro 35 | AISI 1045 | 200 | 0.16002 |
| | Longitud 6.35 | SAE 64 | 60 | 0.1143 |
| Bloque | 6.35 X 15.75 X 14 | SAE 67 | 55 | 0.1143 |

Para los bronce probados se encontró reducción del coeficiente de fricción bajo la aplicación de un mismo lubricante en el bronce SAE 67, justificada en su mayor contenido de plomo. El coeficiente de fricción encontrado presenta diferencia entre los lubricantes probados, ya que para la combinación en que se utilizó como tercer cuerpo el aceite presentó una disminución del coeficiente de fricción en comparación con la grasa. De igual manera la elevación de temperatura debida al aceite fue menor a la que se presentó al probar la grasa. La elevación de temperatura no conduce a una diferencia significativa entre los dos tipos de bronce, fue ligeramente mayor con el bronce SAE 64.

Los resultados en el tribómetro de desgaste adhesivo bajo las condiciones de prueba establecidas, se muestran en las Tablas 3 y 4. Se encontró un menor volumen perdido por huella de desgaste en el bronce SAE 64 en comparación con el SAE 67, debido a una mayor dureza y menor contenido de plomo. Para el bronce SAE 64 se encontró menor volumen perdido usando aceite como lubricante al compararlo con la grasa. Aunque no se presenta una diferencia significativa en la pérdida de masa en el anillo de acero, se observa que el desgaste es menor para la lubricación con aceite que con grasa. El acero SAE 1045 presentó menor desgaste usando bronce SAE 64 en

el bloque comparado con el bronce SAE 67, probablemente por la mejor distribución del plomo. Es decir, de acuerdo a los resultados obtenidos la mejor combinación para el par tribológico eje – chumacera, es el acero SAE 1045 con el bronce SAE 64 y aceite

como lubricante. Cabe resaltar que los Ingenios Azucareros habitualmente usan bronce SAE 67 como material de la chumacera y grasa como lubricante.

Tabla 3. Volumen perdido por huella de desgaste.

| Volumen perdido huella en el bloque (mm ³) | Bronce SAE 64 | Bronce SAE 67 |
|--|---------------|---------------|
| Aceite | 0.134 | 0.170 |
| Grasa | 0.455 | 0.459 |

Tabla 4. Pérdida de masa en el anillo.

| Masa perdida anillo (mg) | Bronce SAE 64 | Bronce SAE 67 |
|--------------------------|---------------|---------------|
| Aceite | 0.367 | 1.027 |
| Grasa | 1.1 | 1.7 |

4. CONCLUSIONES

El aceite presentó mejor respuesta en las variables de salida con un menor coeficiente de fricción, reducción en el desgaste y baja elevación de temperatura.

El bronce SAE 67 presentó un mayor desgaste pero un menor coeficiente de fricción que el bronce SAE 64.

Se presentó mayor desgaste para el anillo de acero lubricado con grasa y usando bronce SAE 67 en el bloque.

El mecanismo de desgaste del par bronce-chumacera es adhesivo y abrasivo.

La mejor combinación para el par tribológico eje – chumacera, es el acero SAE 1045 con el bronce SAE 64 y aceite como lubricante.

5. AGRADECIMIENTOS

El Grupo de Investigación en Mejoramiento Industrial de la Escuela de Ingeniería Mecánica (Universidad del Valle), en el marco del “Proyecto Cooperativo Agroindustrial para Reducir el Desgaste en Equipos de Preparación y Molienda” que se

lleva a cabo en el Ingenio Manuelita S.A., con la participación de CENICAÑA, agradece los aportes del personal de estas organizaciones y el apoyo financiero de

COLCIENCIAS, que con dinero del BID, ha posibilitado este trabajo. También se agradece a la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, por permitir usar el Laboratorio de Microscopia Avanzada.

6. BIBLIOGRAFIA

Akhverdiev K.S., Yakovlev M.V., Zhurba I.A. Hydrodynamic design of sliding bearings with the account of inertia of the lubricating fluid with viscoelastic properties. Friction and Wear International Scientific Journal., Volume 24, Number 2, 121-125, 2003.

Álvarez, E., Fundamentos de tribología y lubricantes. 2001.

Annual Book of ASTM Standard, Norma G 77-91 Standard Method for Ranking resistance of materials to sliding wear using block-on-ring wear test. Vol. 03-02, 1996.

Annual Book of ASTM Standard, G 40 Terminology relating to wear and erosion. Vol. 03-02, 1995.

ASM HANDBOOK. Friction, Lubrication and Wear Technology. Volume 18. 1992.

Kukareko V.A., Baranovskii K.E., Kalinichenko A.S. The mechanism of formation of a copper film during friction of bronze on steel without lubrication. Friction and Wear International Scientific Journal., Volume 24, Number 1, 92-97, 2003.

Gessesse, Y.B., M. H. Attia., On the Mechanics of Crack Initiation and Propagation in Elasto-Plastic Materials in Impact Fretting Wear. Journal of Tribology. Volume 126, Issue 2, 217- 411, 2004.

Goldman. R.W., A.E. Segall, J. C. Conway Dry Sliding Behavior of Aluminum Alloys Against Steel in Sheave Wheel Applications, Journal of Tribology. Volume 123, Issue 4, 676-681, 2001.