

TÍTULO: Comportamiento de las capas superficiales deformadas plásticamente por el desgaste en elementos circulares.

TITLE: Behavior of superficial layers plastically deformed due to erosion in circular elements.

AUTORES:

Ing. Dayanis Alcántara Borges(1)

MSc. Tomás Fernández Columbié (1)

MSc. Isnel Rodríguez González(1)

PAÍS: Cuba

RESUMEN: Se analizó que el desgaste por deslizamiento tiene una gran influencia en los sistemas pasador/casquillo, por el deslizamiento del casquillo sobre el pasador sobre la parte externa del mismo en una pista curva y en él se estudia el comportamiento microestructural del acero AISI 1045 empleado en los equipos de laboreo minero de la industria cubana del níquel. Para las pruebas se utilizaron probetas de pasadores antes de su puesta en funcionamiento y pasadores retirados después de su vida útil. Se empleó el método de microscopía óptica para analizar el efecto del endurecimiento por deformación.

PALABRAS CLAVES. RODADURA, DESLIZAMIENTO, PASADOR, DESGASTE, DEFORMACIÓN, TENSIÓN.

ABSTRACT: A study concluded that wear by sliding has a great influence on pin/lamp holder systems, since the lamp holder slides over the external part of the pin on a curved track. This allows to study the microstructural behavior of AISI 1045 steel used in mining operation equipments of Cuban nickel industry. In the tests, test-tube pins were used before setting them to work, as well as pins withdrawn after their service life. The method of optic microscopy was used to analyze the effect of hardening due to deformation.

KEY WORDS: ROLLING, SLIP, PIN, WEAR, DEFORMATION, STRESSES.

INTRODUCCIÓN

Los equipos de laboreo minero en la industria cubana del níquel están expuestos a severas condiciones de trabajo, si se tiene en cuenta que la actividad que realizan es el acopio del mineral laterítico en un terreno que posee una topografía irregular trayendo consigo el desgaste progresivo en elementos indispensables para el óptimo funcionamiento de dichos equipos. Dentro de los elementos que más se afectan por este fenómeno son los que componen las esteras debido al régimen de trabajo anteriormente mencionado y las condiciones de diseño que no permiten la lubricación de estos elementos y que este rozamiento en seco haga que sea más notable el efecto del desgaste. El desgaste abrasivo de estos elementos provoca que las esteras pierdan el paso hasta tal punto que queden fuera de servicio y la reparación de algunos de estos elementos o la sustitución de las esteras completas encarezca el proceso de producción industrial.

En el desgaste abrasivo (Álvarez, 1993) influye la dureza y la tenacidad del material. La tenacidad es la resistencia que opone el material deformado por la acción de las partículas abrasivas, a la rotura. El desgaste depende también del coeficiente de fricción, fuerza de unión adhesiva entre partículas de la superficie del metal y las partículas abrasivas. Cuando los valores del coeficiente de fricción son elevados, se favorece el proceso de microcorte. El desprendimiento de material en un componente mecánico (Verdeja, 1996) puede variar notablemente, de muy intenso a despreciable. En cualquier caso, ello puede significar una pérdida de eficiencia y la inutilidad completa del sistema. Es muy importante dejar establecida la necesidad de emplear la máxima rigurosidad en el análisis y diagnóstico de los mecanismos de desgaste.

Los procesos deformacionales que tienen lugar en microirregularidades de las superficies en contacto están en dependencia de las presiones que se originen en las áreas reales de contacto. Si el valor de estas presiones no alcanza el límite de fluencia del material más blando las deformaciones que predominan son elásticas y el mecanismo de desgaste predominante es el de fatiga superficial. Por otro lado, el desgaste por deslizamiento tiene una gran relevancia sobre el mecanismo de desgaste por fatiga de contacto por rodadura, ya que un aumento en el porcentaje de deslizamiento/rodadura puede causar una mayor pérdida de masa de las superficies en contacto (Bhushan, 2001, Clayton, 1996).

El método de Deformación Plástica Superficial (Odintsov, 1987) permite incrementar la profundidad en la capa deformada plásticamente. En todos los casos de deformación plástica es necesario aplicar unas sollicitaciones o esfuerzos suficientes para que, una vez transmitidos a los materiales a través de los utillajes apropiados, permitan sobrepasar el límite de fluencia del material, y se inicie el flujo de materia plástica que configure el producto deseado. A medida que un material se va deformando, puede sufrir transformaciones internas y redistribuciones de tensiones, que produzcan agrietamientos o malformaciones que invaliden el producto final obtenido. Este efecto impone un límite a los esfuerzos a aplicar.

El grado de acritud que adquiere un material depende de factores externos al material metálico, naturaleza del esfuerzo y velocidad de aplicación de éste, pero sobre todo depende del grado de deformación en frío que el material experimenta y de la naturaleza del material (sistema cristalino, energía de defectos de apilamiento, tamaño de grano, pureza del metal). La acritud guarda relación con el sistema cristalino al que pertenece el metal o aleación (Smelyanky, Blumenstein, 1990).

Cuando la deformación alcanza un valor crítico por encima del límite de acritud, el material se rompe por fractura frágil. Durante este proceso las tensiones de cizalladura, producen deslizamiento en el interior de los granos cristalinos o ruptura de los mismos, y crean tensiones de cizalladura que alcanzan un valor máximo en algún punto, apareciendo deformaciones permanentes o fracturas, punto a partir del cual se inicia el fallo del material (Alvarez, Lancestremere, Mareglia, Barr, 2004, Lubriner, 1986)

MATERIALES Y METODOS.

Para la planificación de los experimentos se prepararon probetas con dimensiones de aproximadamente 30x30 mm, estas probetas se cortaron, con cuchilla de tronzar del tipo SANDVIK, código del vástago 151.2-21-20 16 16, con una plaquita N 151.2-200-5E de calidad T-MAX Q-cut (Coromant KoroKey, 1996), con refrigeración constante y baja velocidad de corte para evitar el calentamiento excesivo de la misma.

El análisis de la composición química de las muestras se realizó empleando un Espectrómetro cuántico óptico de Masa ESPECTROLAB 230, con electrodo de carbón bajo arco sumergido en atmósfera de argón.

Examen micrográfico

EL examen micrográfico se realiza sobre muestra o probeta de 15x15 mm, de material del pasador desgastado y deformado después de su vida útil, y la de una muestra patrón. Se prepara una superficie que luego de ser pulida convenientemente, se ataca con reactivo químicos apropiados.

Ataque químico

El ataque químico se realiza con el objetivo de resaltar la estructura obtenida después de realizado el pulido hasta alcanzar el brillo de espejo, para observar la estructura metalográfica formada después del desgaste y la deformación del pasador. Para este ataque químico se utiliza Nital al 4%.

Pulido de las probetas

En el pulido se emplearon lijas del tipo N°- 180, 400 y 600 según las normas ISO 9001, dicho pulido se llevó a cabo con papel abrasivo montado sobre una placa de vidrio, cambiando el sentido del lijado 90° al pasar de un pliegue a otro de manera que se elimine la capa de metal distorsionado y deslizado dejado por el anterior. Para lograr una superficie lisa y pulida libre de impregnación de impurezas o ralladuras, por último las muestras se pasaron en una pulidora metalográfica, para lograr el acabado final, en ella se utilizó un paño de fieltro grueso usando como sustancia abrasiva el óxido de cromo. La observación de cada superficie a analizar fue fotografiada para procesar la información y para esto se utilizó una cámara fotográfica digital marca CONCORD, modelo EYE-Q4363Z, con memoria de 4 MEGAPIXELS y zoom máximo de 18X.

RESULTADOS DEL TRABAJO

Composición Química de las probetas.

La composición química se tomó como promedio de los resultados de tres chispas para sacar el de cada una de ellas. Dicha composición química del pasador deteriorado se muestra en la tabla 1. Se tomó el pasador el cuál

estuvo sometido a la acción de trabajo continuo, una vez que la pieza se puso fuera de explotación por perder su configuración geométrica.

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
0.46	0.24	0.98	0.01	0.019	0.19	0.02
Ni	Al	Co	Cu	Ti	V	W
0.06	0.005	0.01	0.16	0.0047	0.00	0.01
Pb	Sn	As	Ce	B	Zn	Fe
0.002	0.009	0.01	0.005	0.001	0.0034	97.82

Tabla 1. Composición química de pasador deteriorado

Se determinó que el pasador corresponde con la composición química de un acero del tipo AISI 1045 según norma ASTM.

Análisis de la dureza de los materiales en estudio

Para determinar la dureza de cada material se tomaron muestras de cada uno de ellos, se pulieron debidamente con lija de 180 granos de partículas abrasivas por mm² para evitar que alguna suciedad u óxido, provocara errores en los resultados. Las mediciones de la dureza se realizaron por el método de Rockwel (HRC), y se realizaron al menos cuatro mediciones para cada muestra en diferentes lugares, las cuales aparecen en la tabla 2.

Zona	Parte	Dureza(HRC)
El centro o parte desgastada y deformada por rodadura.	superficie	47 - 48
	Interior	12 - 14
Extremo o parte deformada por presión debido al ajuste por interferencia	superficie	39 - 40
	Interior	12 - 14

Tabla 2. Dureza del pasador deteriorado

La dureza que posee el pasador en toda la longitud deformada por rodadura, está compuesta por dos capas, una relacionada con el tratamiento térmico recibido antes de su uso que es de aproximadamente de 4 mm y luego de ser sometida por el propio trabajo al esfuerzo de rodadura, se observa una profundidad de esta capa de 1.5 mm.

Observación con microscopía óptica

Después de pulidas adecuadamente y atacadas químicamente las muestras, se procede a la observación en el microscopio óptico. Se montan las muestras en la platina y se comienza la observación cambiando la combinación de ocular y objeto hasta encontrar la adecuada.

Estas observaciones se le realizaron al pasador deteriorado, en la parte desgastada y deformada por rodadura y a la parte que se deforma debido a la presión ejercida en el ajuste por interferencia. Además se observó una muestra patrón de acero de este mismo tipo sin aplicarle ningún método de endurecimiento en especial.

En cada muestra del pasador se ilustran fotografías tomadas con diferentes aumentos, a la microestructura del centro de la sección transversal del pasador, del borde y de la zona de transición entre la parte endurecida por tratamiento térmico y la zona que no se logró endurecer por este tratamiento, así como muestras de la micrografía de la probeta patrón de AC AISI 1045.

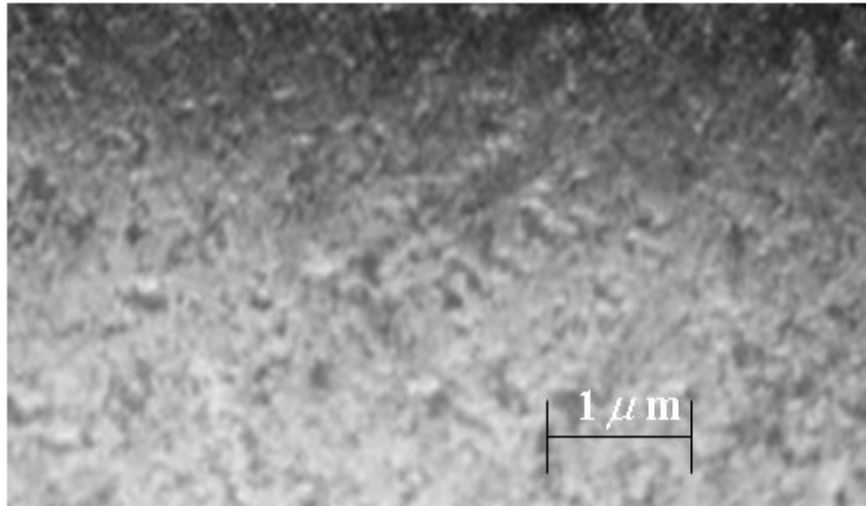


Figura 1. Micrografía del corte transversal en la superficie del pasador tratado térmicamente.100X.

Como se observa en la figura 1, la microestructura del pasador desgastado y deformado está compuesta por una estructura martensítica. Sin embargo, se puede apreciar una franja de aproximadamente 1,5 mm de granos de martensita más finos que disminuye su espesor a medida que se incrementa la profundidad desde la superficie hacia el núcleo. Esta franja de pequeño espesor, donde las agujas de martensita son más finas, tiene su origen en los procesos de deformación a la que se somete la superficie del pasador durante las operaciones, lo que provoca una disminución en el tamaño de los granos y la aparición ocasional de bloques de mosaico que permiten delimitar perfectamente una zona de la otra.

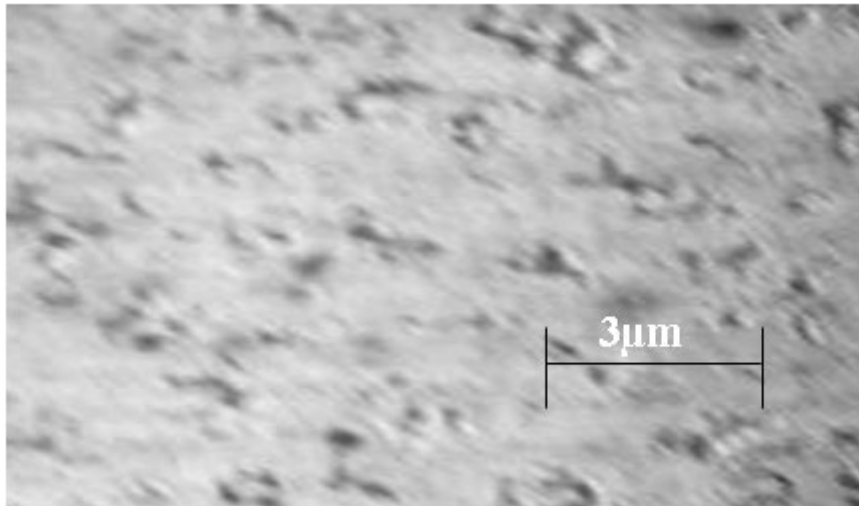


Figura 2. Micrografía del corte transversal en la superficie del pasador tratado térmicamente. 300X.

Como se aprecia en la figura 2, la microestructura de un pasador tratado térmicamente, pero sin deformar se corresponde con la martensita más austenita residual y a diferencia de la micrografía de la figura 3, la microestructura es prácticamente homogénea y no aparecen zonas superficiales deformadas. Sin embargo, para esta última, en el núcleo del pasador se corresponde con una estructura compuesta por perlita más ferrita, típica del estado de normalizado, como se observa en la figura 4.

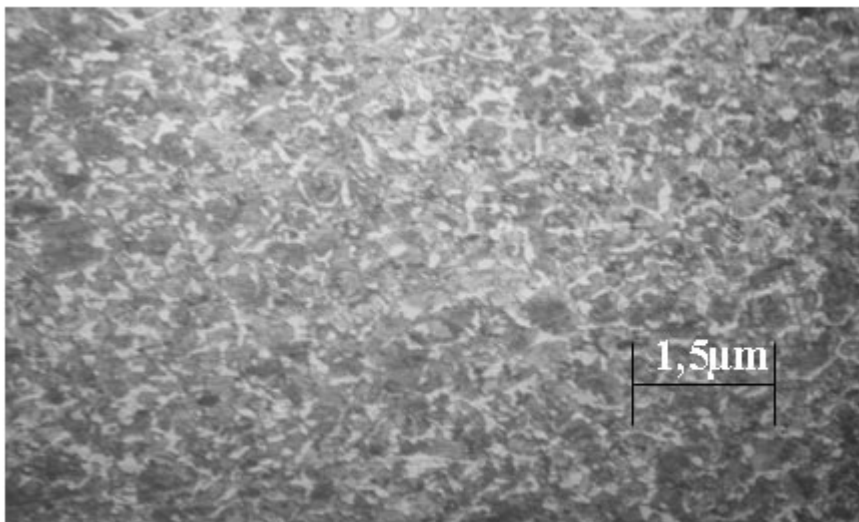


Figura 3. Micrografía del corte transversal del núcleo del pasador. 150X

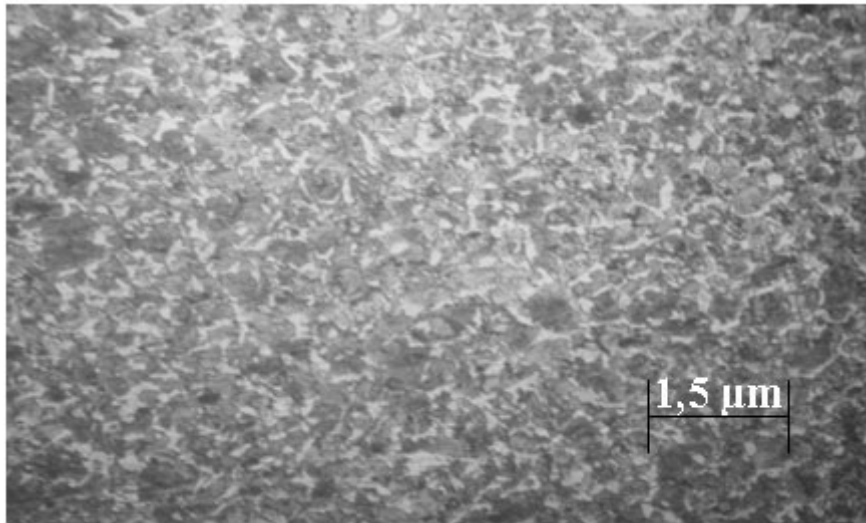


Figura 4. Micrografía del corte transversal de una muestra patrón de AISI 1045 normalizado. 150 X.

CONCLUSIONES

1. Debido a las severas condiciones de trabajo a que están sometidos los equipos de laboreo minero estos sufren intensamente los efectos del desgaste principalmente en los elementos que están sometidos a rodadura en seco, como es el caso de los que componen las esteras de dichos equipos y en particular los pasadores de estas, hasta el punto de quedar fuera de servicio.
2. Los pasadores están sometidos simultáneamente a diferentes tipos de desgaste, pero los que mayor influencia tiene en su deterioro son: el desgaste por fatiga, el desgaste adhesivo y el desgaste abrasivo.
3. Aunque los pasadores poseen alta dureza, sobre ellos tiene influencia también la deformación plástica, debido a que las superficies con las que entran en contacto poseen mayor dureza.
4. Las micrografías de los pasadores muestran que estos poseen en su superficie, antes de su puesta en explotación, una microestructura martensítica y después de su vida útil se aprecia una variación en el tamaño de los granos de dicha superficie, lo que disminuye debido a la deformación plástica por el efecto de la rodadura.

BIBLIOGRAFÍA

1. Álvarez, L.; González, J. Máquina para el estudio del desgaste abrasivo en pares tribológicos. **Revista Construcción de maquinaria** (Santa Clara) 2: 69-76, 1993.
2. Bhushan, B. Modern Tribology Handbook. Materials **Coatings & Industrial Applications** 2001; 10(1): 34-39 [Seriada en línea] <http://www.chinainfo.gov.cn/periodical/index.htm>. [Consultado: 15 sep. 2008].

3. Fundamentos de la trafilación: tecnología mecánica II / E. N. Álvarez... [et al.]. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires: Facultad de Ingeniería, 2004. t. 2
4. Lubliner, J. Plasticity theory. California. University of California, 1986. 186 p.
5. Odintsov, L.G. Fortalecimiento y acabado de las piezas mediante la deformación plástica superficial. URSS: Editorial CM, 1987. 430 p.
6. Sandvik. Coromant KoroKey: guía de aplicación de herramientas. USA: Editorial, 1996. 143 p.
7. Smelyanky, V. M.; Kalpin Y. G.; Barinov V.V. Empleo de las posibilidades plásticas de los metales en la capa superficial de las piezas durante la elaboración por rodilado exterior. **Revista Novedades de la Construcción de Maquinarias** (Moscú) 8: 54-58, 1990.
8. Verdeja, L; González, R. El Desgaste de Materiales en el Crisol de Horno Alto: conceptos Generales. **Revista de Minas** (Madrid) 34 (2): 13 -14, 1996.

DATOS DE LOS AUTORES

Nombre:

Ing. Dayanis Alcántara Borges(1)
MSc. Tomás Fernández Columbié (1)
MSc. Isnel Rodríguez González(1)

Correo:

dalcantara@ismm.edu.cu
tfernandez@ismm.edu.cu
irgonzalez@ismm.edu.cu

Centro de trabajo:

(1) Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Holguín. Las Coloradas s/n, Moa, Holguín, Cuba. CP 83 329. Tel. 53 24 6 4476, Fax. 53 24 6 2290