

Comportamiento de las capas deformadas por rodadura en los equipos de laboreo minero

D. Alcántara*, T. Fernández e I. Rodríguez

Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa
C.P. 83 329, Moa, Holguín, Cuba
E-mails: {dalcantara; tfernandez; irgonzalez}@ismm.edu.cu

(recibido/received: 06-Nov-2007; aceptado/accepted: 23-Abril-2008)

RESUMEN

En este trabajo se estudió el comportamiento de las capas deformadas por el desgaste en los pasadores de esteras en los equipos de laboreo minero. Los datos experimentales se obtuvieron utilizando pasadores desgastados y deformes. Las muestras se cortaron bajo refrigeración constante para evitar cambio en su estructura. Para el análisis de la composición química se utilizó un espectrómetro cuántico. Además, se empleó el método de microscopía óptica para analizar el efecto del endurecimiento por deformación utilizando los perfiles de microdureza. Se encontró que los pasadores tiene una composición química de un acero tipo AISI 1045. Además, se determinó que poseen una microestructura martensítica, la cuál disminuye debido a la deformación por el efecto de la rodadura.

Palabras claves: deformación; desgaste; endurecimiento; estructura; pasadores

ABSTRACT

In this work, the behaviour of the deformed layers due to the mat pin wore in mining equipments has been studied. The experimental data were obtained using deformed and wore pins. Samples have been cut under constant refrigeration to avoid change in its structure. The chemical composition was determined using a quantum spectrometer. In addition, the method of optical microscopy was used in order to analyse the hardening effect by deformation using microhardened profiles. It was found that the pins have a chemical composition corresponding to the AISI 1045 steel. Furthermore, it was showed that pins have a martensitic microstruture, which decreases due to deformation by the rolling effect.

Keywords: deformation; hardening; pins; structure; wear

* Autor para la correspondencia

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.

De acuerdo a Alvarez y González (1993) en el desgaste abrasivo 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 puede variar notablemente, de muy intenso a despreciable (Verdeja, 1996). 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 y Su, 1996).

Lo anterior puede provocar el efecto de endurecimiento debido a las tensiones normales y tangenciales que se crean, esto se traduce como un aumento de la acritud en las subcapas del material.

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 cuál se inicia el fallo del material (Alvarez *et al.*, 2004; Lubliner, 1986).

Al someter un metal con estructura cúbica a la acción de cargas que sobrepasen el límite de fluencia, después de eliminarlas persistirá la deformación. Si se vuelve a poner al metal bajo la acción de cargas, su actitud para la deformación plástica habrá disminuido y el límite de fluencia se elevará. Esto significa que el metal se ha endurecido por acritud (Barceinas-Sánchez y Juárez-Hernández, 2001).

Han sido varias las vías utilizadas para combatir el desgaste abrasivo y frenar las pérdidas que el mismo ocasiona. La resistencia al desgaste se consigue con una alta dureza superficial (Clauser, 1985).

La fatiga de contacto por rodadura ha sido identificada como la propagación de grietas iniciadas en la superficie, alrededor de defectos

superficiales tales como asperezas o dientes. La iniciación de la grieta alrededor de tales defectos se piensa que esté controlada por el campo de los esfuerzos normales y cortante.

La presión de contacto está representada por una serie de cargas puntuales que actúan en cada nodo de la superficie. La deflexión en cualquier punto del modelo puede ser determinada mediante la superposición de las deflexiones causadas por cada carga discreta (Chen, 2000).

Comparado con las condiciones de rodadura pura, el deslizamiento junto con la rodadura proporciona efectos de extremo adicionales. La presencia de deslizamiento puede incrementar la concentración de tensiones en el extremo de salida. El extremo de entrada puede beneficiarse por una reducción en la presión local en condiciones de deslizamiento (Pero-Sanz, 2000). Por tanto, la influencia del deslizamiento en los esfuerzos sub-superficiales y las fallas de contacto pueden encontrarse a través de las alteraciones de la presión de contacto y no por la fricción superficial.

La industria minera constituye, en muchos países, uno de los principales renglones de la economía, el incremento de la eficiencia y la diversificación de su producción en la búsqueda de productos más competitivos, demanda de tecnologías y con ello equipos y aparatos para su desarrollo. Un componente importante del equipamiento utilizado se encuentra en fase de deterioro progresivo, exigiendo grandes esfuerzos para sustituir y recuperar los dispositivos, partes y piezas que conforman el equipamiento un ejemplo de ello lo constituyen los pasadores de las esteras de los equipos de laboreo minero (ver Fig. 1).

A pesar de la gran variedad de factores que influyen en la situación planteada, tales como tipo de material, acabado superficial, régimen de explotación, entre otros aspectos se distingue por su significación en el alargamiento del período efectivo de trabajo de estos elementos: las propiedades mecánicas y tecnológicas que puedan desarrollar (Alvarez y González, 1993). Una de estas propiedades es la dureza, la cual alcanza valores considerables, lo que debía

garantizar la longevidad apropiada durante la explotación de los mismos. El acero AISI 1045 es considerado en la práctica industrial como un material de buena calidad que combina elevada tenacidad-ductilidad con una gran capacidad de endurecimiento por deformación y una elevada resistencia al desgaste a pesar de su relativa baja dureza (Bayoumi y Abdellatif, 1995).

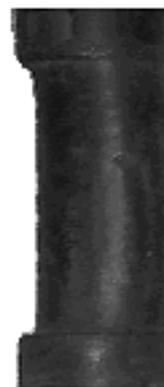


Fig. 1 Pasador de las esteras en los equipos de laboreo minero deteriorado.

METODOLOGÍA

Diseño de experimentos

Para la planificación de los experimentos se prepararon probetas con dimensiones de aproximadamente 30 x 30 mm, estas probetas se prepararon con cuchilla para cortar del tipo SANDVIK, código del vástago 151.2-21-20 16, con una plaquita N 151.2-200-5E de calidad T-MAX Q-cut (CoroKey, 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 15 x 15 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 utilizó el Nital (5 ml HNO₃ y 100 ml C₂H₅OH).

Pulido de las probetas

En el pulido se emplearon lijas del tipo No. 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 (Cr₂O₃). La observación de cada superficie a analizar fue fotografiada para procesar la información y para esto se utilizó una cámara fotográfica digital marca Concord Eye Q4363z, con memoria de 4 megapíxeles y zoom máximo de 18X.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

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

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

Tabla 1 Composición química del pasador deteriorado.

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	.0047	0.00	0.01
Pb	Sn	As	Ce	B	Zn	Fe
0.002	0.009	0.01	0.005	0.001	.0034	97.82

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 Rockwell (HRC), y se realizaron al menos cuatro mediciones para cada muestra en diferentes lugares, las cuales aparecen en la Tabla 2.

Tabla 2 Dureza del pasador deteriorado.

Zona	Parte	Dureza (HRC)
Centro o parte desgastada y/o 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

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 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 del ocular y objeto. 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 (ver Figs. 2, 3, 4 y 5) 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.

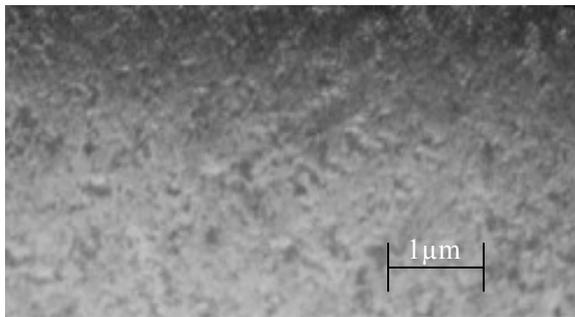


Fig. 2 Corte transversal en la superficie del pasador tratado térmicamente (100X).

Como se observa en la Fig. 2, 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. Como se aprecia en la Fig. 3, 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 Fig. 4, la microestructura es prácticamente homogénea y no aparecen zonas superficiales deformadas.

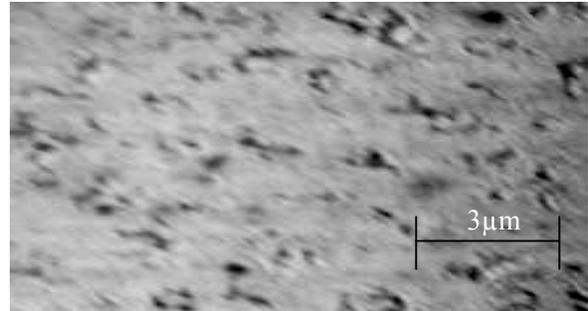


Fig. 3 Corte transversal en la superficie del pasador tratado térmicamente (300X).

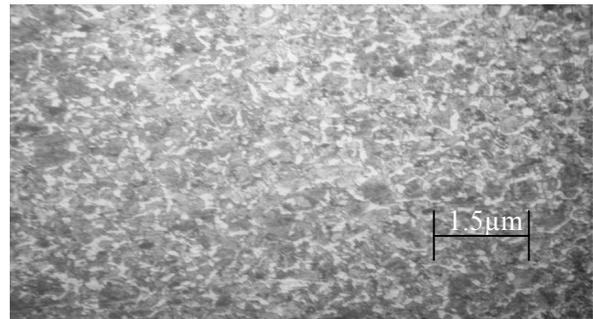


Fig. 4 Micrografía del corte transversal del núcleo del pasador (150X).

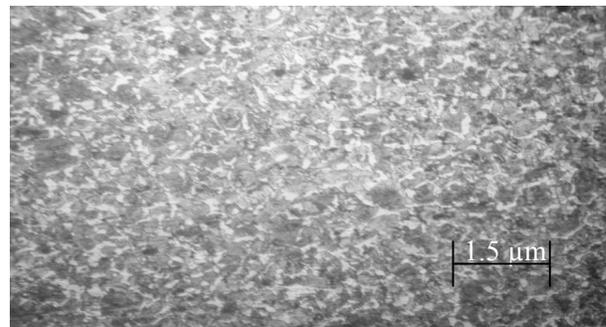


Fig. 5 Corte transversal de la muestra patrón de AISI 1045 normalizado (150X).

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 Fig. 5.

CONCLUSIONES

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.

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.

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.

El corte de las probetas se realizó a refrigeración constante y baja velocidad de corte para evitar el calentamiento excesivo de la misma.

Fueron empleadas probetas de distintas dimensiones para comprobar la dureza de los pasadores antes de su puesta en función y después de esta, su composición química, así como para el examen micrográfico.

Para realizar el análisis metalográfico y poder resaltar los constituyentes de la estructura cristalina del material, después de pulidas las probetas se empleó reactivo químico (Nital).

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.

REFERENCIAS

Alvarez, E.N., J. Lancestremere, J.C. Mareglia y J. Barr (2004). *Fundamentos de la Tafilación*. Apuntes de Clases: Tecnología Mecánica II. Departamento de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires (UBA), Argentina.

Alvarez, L. y J. González (1993). *Máquina para el Estudio del Desgaste Abrasivo en Pares Tribológicos*. Revista Construcción de Maquinaria, Santa Clara, No. 02, pp. 69-76.

Barceinas-Sánchez, J.D.O. y A. Juárez-Hernández (2001). *Ciencia e Ingeniería de los Materiales, Capítulo 4: Propiedades, Fortalecimiento y Comportamiento de los Materiales*. Apuntes de Clases, Universidad Simón Bolívar, Venezuela.

Bayoumi, M.R. y A.K. Abdellatif (1995). *Effect of Surface Finish on Fatigue Strength*. Engineering Fracture Mechanics, Vol. 51, No. 05, pp. 861-870.

Bhushan, B. (2001). *Modern Tribology Handbook: Material Coatings, and Industrial Applications*, Vol. 2. CRC Press LLC. Florida, USA.

Chen, Z.Y. (2000). *Yield Surfaces of FCC Crystals with Crystallographic Slip and Mechanical Twinning*. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, Vol. 10, No. 01, pp. 34-39.

Clauser, H. R.(1985). *Diccionario de Materiales y Procesos de Ingeniería*. Editorial Labor, S.A. Barcelona, España.

Clayton, P. y X. Su (1996). *Surface Initiated Fatigue of Pearlitic & Bainitic Steels Under Water Lubricated Rolling/Sliding Contact*. Wear, Vol. 200, No. 1-2, pp. 63-73.

CoroKey (1996). *Guía de Aplicación de Herramientas*. Sandvik Coromant CoroKey. pp. 38-43.

Lubliner, J. (1986). *Plasticity Theory*. Chapter 02, pp. 77-86. Pearson Education, Inc. Berkeley, California, USA.

Pero-Sanz, J.A. (2000). *Ciencia e Ingeniería de Materiales. Metalurgia Física: Estructura y Propiedades*. 3ra Ed., pp. 393-502. Editorial Dossat, S.A. Madrid, España.

Verdeja, L.F. (1996). *El Desgaste de Materiales en el Crisol de Horno Alto: Conceptos Generales*. Revista de Minas, No. 13-14, pp. 109-117.



Dayanis Alcántara se graduó de Ingeniera Mecánica en el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Cuba. Profesora del Departamento de Mecánica en el mismo Instituto, de la asignatura máquinas herramienta, en la disciplina de procesos tecnológicos. Su área de investigación son los materiales.