

Comportamiento microestructural del acero AISI 1340 en el cilindro del enfriador de mineral laterítico

Yunaydi Paumier-Castañeda
Dayanis Alcántara-Borges
Tomás Fernández-Columbié

Resumen

El cilindro rotatorio del enfriador de mineral laterítico es afectado por la aparición de grietas en su interior. El propósito de esta investigación fue determinar el comportamiento microestructural del acero AISI 1340, del que están contruidos los cilindros, para evaluar el efecto que sobre los mismos ejerce la temperatura del mineral. Utilizando el método de elementos finitos se modeló un tramo de 5 m a la entrada del cilindro, y se realizó el análisis microestructural en probetas tomadas a la entrada, al centro y a la salida del mismo, efectuando, además, análisis de dureza VHN y Rockwell. Se concluye que los mayores cambios microestructurales tienen lugar a la entrada del enfriador debido a las altas temperaturas con que ingresa el mineral; igualmente, la aparición de grietas se atribuye al cambio en la estructura interna del acero AISI 1340 provocado por el enfriamiento brusco del cilindro.

Palabras clave

Enfriador de mineral; cilindro rotatorio; análisis microestructural; acero AISI 1340.

Microstructural behavior of the AISI 1340 steel on ore slurry cooler's cylindrical shells

Abstract

The rotating cylinder on the ore slurry cooler is damaged due to internal cracking. The objective of this investigation is to determine the behavior of the microstructure of the AISI 1340 steel these cylinders are made of in order to evaluate the effects on the cylinders of slurry temperatures. A 5- meter section to the cylinder inlet was modeled through the finite element method. Samples from the cooler's inlet and outlet were taken to analyze the microstructure of the steel. The VHN and Rockwell hardness tests were also carried out. The investigation results indicate that most of the microstructural changes occur in the cooler's inlet due to high inlet slurry temperatures. The changes in the internal structure of the steel due to abrupt quenching of the cooler, also causes cracks to develop.

Keywords

Slurry cooler; rotating cylinder; microstructural analysis; AISI 1340 steel.

1. INTRODUCCIÓN

Los enfriadores de mineral son utilizados con el fin de disminuir la temperatura del mineral níquelífero, proveniente de los hornos de reducción. El enfriador gira en una piscina con agua transmitiendo a esta gran parte del calor que porta el mineral, lo que provoca un cambio brusco de temperatura que trae consigo la aparición de grietas, así como el desgaste progresivo en su interior por efecto de la fricción del mineral en contacto con el cuerpo del cilindro.

La fricción interna es una propiedad intrínseca de los materiales que permite determinar su capacidad para disipar energía cuando se someten a esfuerzos mecánicos oscilatorios. Esta propiedad se relaciona directamente con el número y tipo de tamaño de cristalita y el número del grano, en su comportamiento microestructural y en los movimientos que estas unidades realizan (Schaller *et al.* 2001).

Por otro lado, consideran Kragelski *et al.* (1982) que la existencia del microcorte o las deformaciones plásticas en el contacto de dos cuerpos depende del grado de penetración de las asperezas o partículas abrasivas, las cuales constituyen partículas atrapadas y representan la contribución de las partículas de tipo "tercer cuerpo". Su contribución a la fricción está relacionada con la deformación plástica porque se indentan en las superficies o ruedan entre ellas.

Alcántara *et al.* (2008), al analizar el desgaste abrasivo en los pasadores de laboreo minero, consideran que este fenómeno incrementa la dureza del material por acritud y trae cambios en el tamaño del grano de la microestructura. Por su parte, Fernández *et al.* (2008) plantean que el efecto del movimiento de estas deformaciones, que en general sobrepasan el límite elástico, combinado con la elevación de la temperatura, ocasiona instantáneamente fenómenos físicos y la pulverización de la estructura cristalina.

El desgaste es un proceso complejo que se produce en las superficies de los cuerpos debido a la fricción de otro cuerpo o medio, trayendo como consecuencia la variación de la micro y la macro geometría superficial, de la estructura y de las propiedades físico-mecánicas, con pérdida o sin pérdida del material (Caubet 1971).

Consideran Verdeja y González (1996) que 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.

En la búsqueda bibliográfica realizada no se han localizado estudios relacionados con el comportamiento microestructural del acero AISI 1340, sometido a alta temperatura y desgaste abrasivo en las condiciones de operación de la industria metalúrgica. Por ello el objetivo de esta investigación fue determinar el comportamiento microestructural del acero AISI 1340 en el cilindro rotatorio del enfriador de mineral laterítico de la empresa niquelera Comandante Ernesto Che Guevara, para evaluar el efecto de la temperatura del mineral sobre el acero.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El análisis químico del material de los enfriadores de mineral se realizó mediante un espectrómetro de emisión óptica, ESPECTROLAB 230, con electrodo de carbón bajo arco sumergido en atmósfera de argón, con el fin de verificar si el acero del cuerpo cilíndrico era efectivamente el acero al manganeso AISI 1340. La composición química del mismo se recoge en la Tabla 1.

Tabla 1. Composición química del acero AISI 1340

C	Si	Mn	P	Cr	Mo	Ni	Cu
0,25	0,48	1,26	0,026	0,05	0,02	0,02	0,07

2.1. Modelación por el método de elementos finitos (MEF)

Con el objetivo de determinar las tensiones generadas en el cilindro se realizaron cálculos mediante simulación numérica por elementos finitos. Para elaborar el modelo por el MEF se consideró el contacto entre un cilindro que trabaja a altas temperaturas sumergido en una piscina de temperatura más baja. Para la simulación se procedió de la siguiente manera:

- Se elaboró el modelo geométrico
- Se aplicaron las condiciones de fronteras y de cargas
- Se realizó el mallado para elaborar el modelo
- Se buscó la solución "*solver*" a través del software
- Se obtuvo el posprocesamiento, los esfuerzos, los desplazamientos y las respuestas en el dominio de las tensiones.

Luego se definieron los esfuerzos y los desplazamientos. Para los primeros, el sistema fijo de coordenadas cartesianas se denotó como x, y, z , o en forma indexada, x_1, x_2, x_3 . De la misma manera los segundos se denotaron como u, v, w o u_1, u_2, u_3 . Se definió x_i como las coordenadas y u_i como los desplazamientos, dentro del rango de 1 a 3.

Para realizar el análisis tenso-deformacional del material del cilindro del enfriador de mineral sometido a la acción de cargas dinámicas (altas

temperaturas y desgaste abrasivo), se empleó el software COSMOS V 4.5, este método permitió determinar los componentes y el estado deformacional en ciertos puntos característicos. Este tipo de análisis permite acotar la deformación del objeto de estudio y localizar zonas altamente solicitadas o zonas de baja sollicitación (Zienkiewicz 2000).

La simulación se realizó en función del flujo de temperatura, el flujo de calor y el gradiente de temperatura en el eje x, con el objetivo de evaluar el comportamiento de estos parámetros en toda la sección del cilindro del enfriador. En la Figura 1 se observa el modelo.

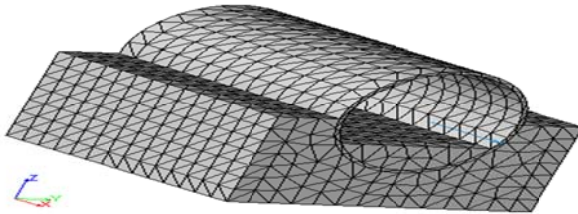


Figura 1. Modelo para el comportamiento del mallado en las condiciones de trabajo del acero 1340.

2.2. Análisis microestructural

Se analizaron probetas de 15 mm, tomadas a la entrada, al centro y a la salida del cilindro rotatorio. Para la observación de las probetas se empleó un microscopio óptico binocular NOVEL, modelo NIM-100, dotado de una cámara instalada mediante el hardware IMI.VIDEOCAPTURE.exe que refleja la fotografía en el computador. En el microscopio las probetas se montaron en un dispositivo con plastilina para asegurar la nivelación adecuada. Se observó el centro y los bordes de las probetas, con rangos de aumento de 200x para cada probeta.

2.3. Ensayos de dureza y microdureza

Para evaluar el desgaste en los distintos tramos del enfriador de mineral las probetas de la entrada y de la salida del cilindro rotatorio se sometieron a análisis de dureza, por el método HVN y por dureza Rocwell B (HRB), para una carga de 980 N y un tiempo de 15 s.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Modelación por MEF

En la Figura 2 los puntos rojos indican las tensiones máximas del proceso de transferencia de calor. Teniendo en cuenta las transformaciones alotrópicas del hierro y el máximo de temperatura (700 °C) no debían existir cambios en la estructura del material, sin embargo, aparecen estos puntos debido a las altas temperaturas, que pueden superar la recomendada para el adecuado funcionamiento del equipo.

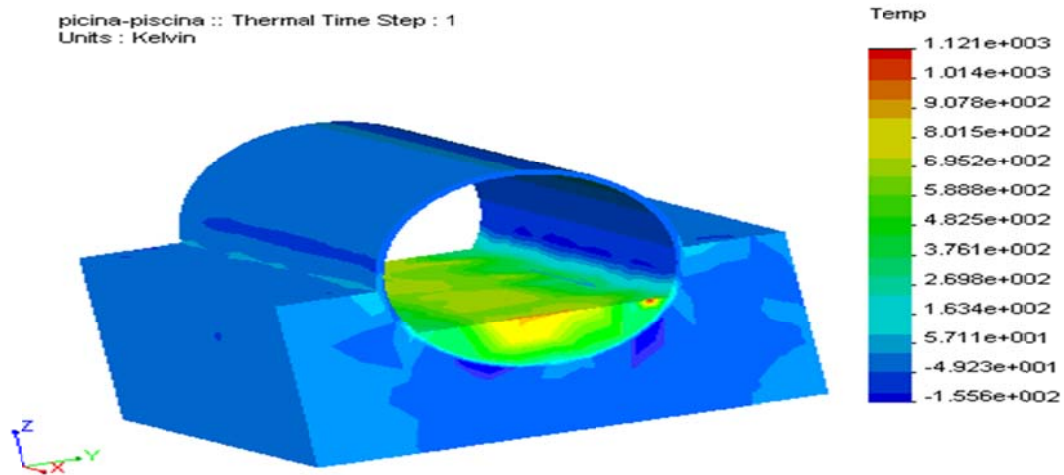


Figura 2. Comportamiento de la temperatura.

Se observa una distribución de tensiones en el área media del cilindro (Figura 3) donde el mineral ocupa, aproximadamente, un 9 % del área del cilindro. Por el concepto de disipación del calor, la temperatura se distribuye hacia la parte superior del cilindro que tiene menos contacto con el mineral.

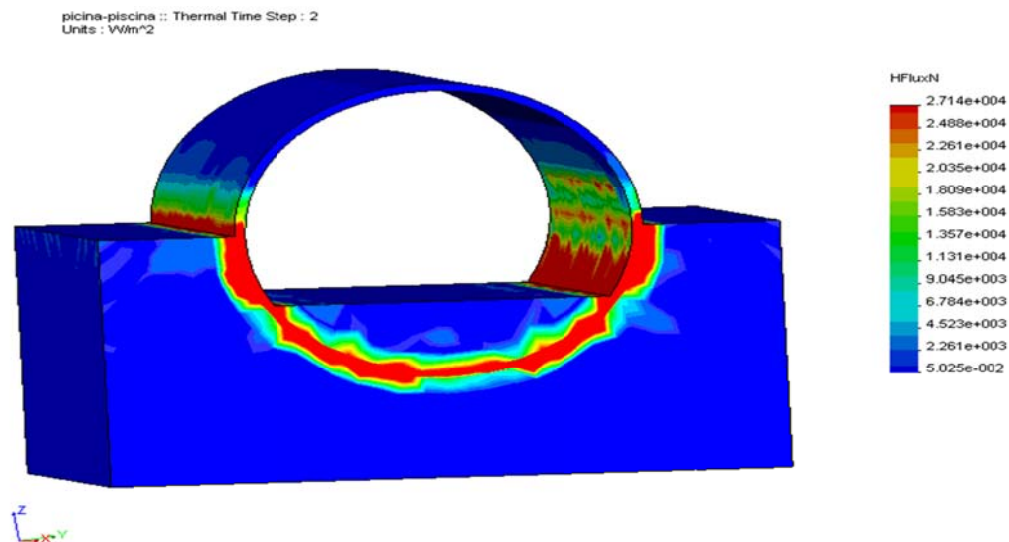


Figura 3. Comportamiento del flujo de calor.

La Figura 4 muestra el comportamiento del gradiente de temperatura en un tramo de 5 m en la entrada del enfriador, considerando que en este tramo la distribución de la temperatura y el intercambio térmico son mayores, si se tiene en cuenta que a lo largo del cilindro, en la

medida en que el mineral es transportado, la temperatura va disminuyendo hasta 250 °C.

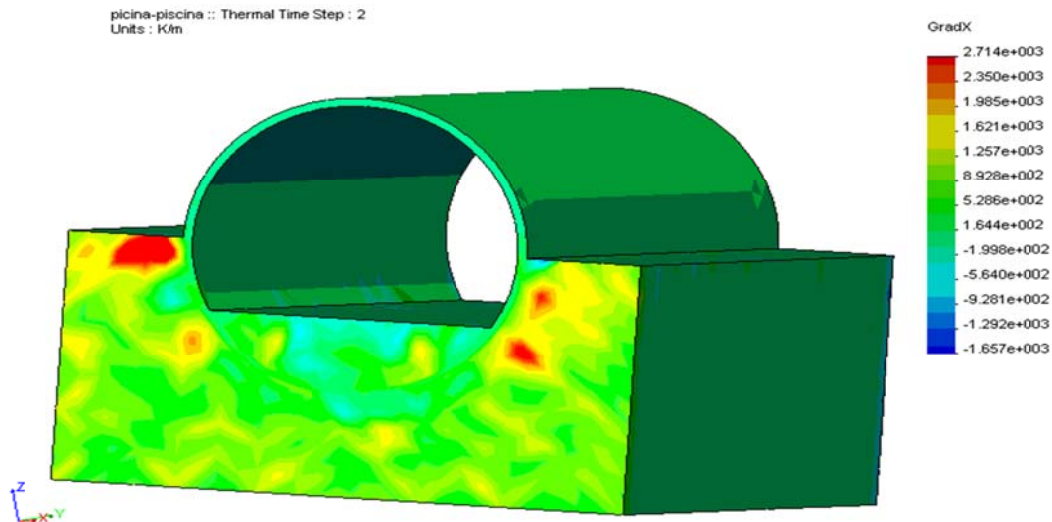


Figura 4. Comportamiento del gradiente de temperatura en el eje X.

3.2. Análisis microestructural

La Figura 5 refleja las microestructuras del centro y el borde de la probeta a la entrada del enfriador.

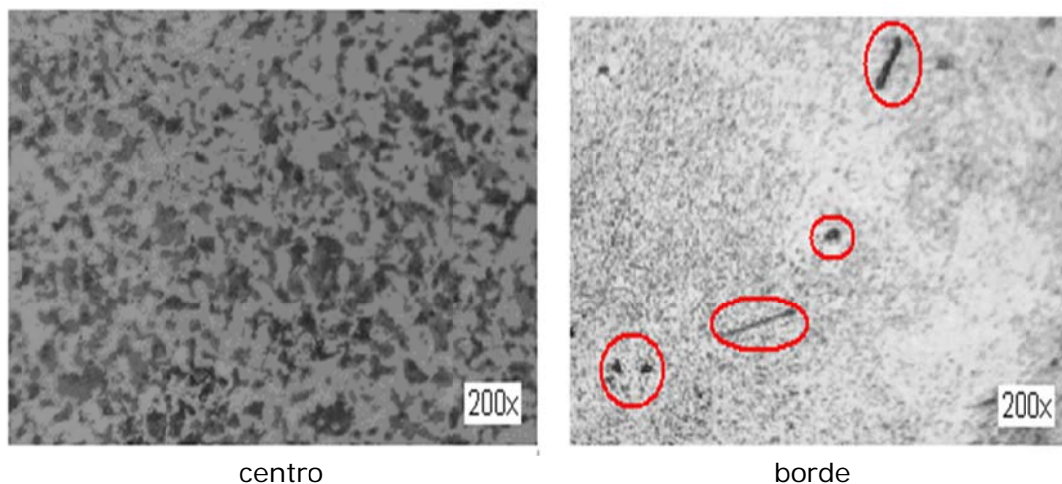


Figura 5. Microestructuras del acero AISI 1340 en el centro y el borde de las probetas.

Se pudo observar que la temperatura influye notablemente en los cambios estructurales del acero, observándose granos de perlita y ferrita de un tamaño mayor en el centro de la probeta, mientras que en el borde los granos son más pequeños. Esto se debe a la acción de las

altas temperaturas y a la fricción del mineral, revelando que existen temperaturas por encima de 727°C una estructura troostítica, típica de estos aceros después de ser sometidos a tratamiento térmico. Estos cambios estructurales favorecen la aparición de grietas, mayormente en el tramo inicial del cilindro.

Nótese, además, la presencia de inclusiones no metálicas (en los círculos rojos), reflejo del desgaste abrasivo. En la Figura 5a prácticamente no se observan cambios en la estructura, debido probablemente al espesor del material (16 mm).

En la Figura 6 se observa poco cambio en la estructura del material, conservándose prácticamente la misma disposición en la red cristalina; la distribución de los granos es homogénea, influenciado por la poca incidencia de la temperatura. Sin embargo, en ambas muestras se observan afectaciones de incrustaciones no metálicas, típicas del desgaste abrasivo.

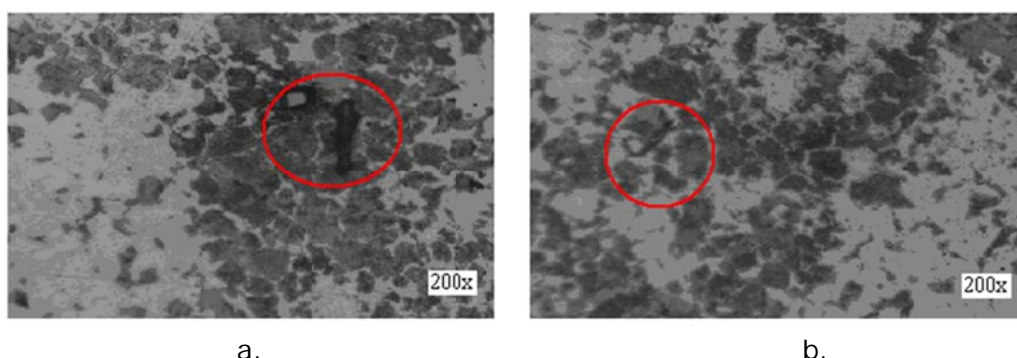


Figura 6. Microestructura del centro (a) y el borde (b) a la salida del enfriador.

3.3. Dureza y microdureza

Se encontró que las muestras de la entrada del enfriador presentan mayor dureza (Tablas 2 y 3), corroborándose una vez más que el material se endurece por efecto de las altas temperaturas con que ingresa el mineral al cilindro, lo cual evidencia que el propio proceso de trabajo provoca una modificación de la microestructura del acero. En cambio, las muestras de la salida se mantienen en el rango de valores de dureza y con la misma microestructura del acero original.

Tabla 2. Resultados de los ensayos de microdureza en las muestras de entrada

Muestra entrada (1)	VHN _{1B}	195	VHN _{2C}	132
Muestra entrada (2)	VHN _{1B}	268	VHN _{1C}	267
Muestra salida (1)	VHN _{1B}	80	VHN _{1C}	65
Muestra salida (2)	VHN _{1B}	68	VHN _{1C}	68

Tabla. 3. Resultados obtenidos en el método de dureza HRB

Muestras	Dureza Rockwell		
	HRB ₁	HRB ₂	HRB ₃
Entrada (1)	92	90	90
Entrada (2)	94	92	92
Salida (1)	65	63	65
Salida (2)	64	64	64

4. CONCLUSIONES

La simulación por MEF muestra que el mayor flujo de calor se encuentra en la parte inferior del cilindro y que el enfriamiento brusco provoca cambios en la estructura interna del acero AISI 1340.

Debido a las altas temperaturas con que llega el mineral al enfriador, los cambios microestructurales del acero son mayores a la entrada que a la salida del cilindro, lo cual explica la aparición de grietas en el tramo inicial del enfriador.

5. REFERENCIAS

- ALCÁNTARA, D.; FERNÁNDEZ, T. & RODRÍGUEZ, I. 2008: Comportamiento de las capas deformadas por rodadura en los equipos de laboreo minero. *Nexo* 21(01): 26–32. Consulta: 4 julio 2008. Disponible en: www.uni.edu.ni/Nexo.
- CAUBET, J. 1971: *Teoría y práctica industrial del rozamiento*. Editorial Reverté, Barcelona, 471–493.
- FERNÁNDEZ, T.; RODRÍGUEZ, I.; ALCÁNTARA, D. & FERNÁNDEZ, E. 2008: Procedimiento para endurecer el acero 45 mediante la deformación plástica con rodillo simple. *Ingeniería e Investigación* 28(1): 15–21.
- SCHALLER, R.; FANTOZZI, G. & GREMAUD, G. 2001: Mechanical spectroscopy Q – 1 2001. *R. Trans Tech Publications* 15(2): 437–450.
- VERDEJA, L. & GONZÁLEZ, R. 1996: El desgaste de materiales en el crisol de horno alto: conceptos generales. *Revista de minas* 13-14: 109-117.

Yunaydi Paumier Castañeda ypaumierc@ismm.edu.cu

Ingeniera metalúrgica. Departamento de Metalurgia-Química.
Instituto Superior Minero Metalúrgico,
Moa, Holguín, Cuba.

Dayanis Alcántara Borges dalcantara@ismm.edu.cu

Ingeniera mecánica. Máster en Electromecánica. Departamento de
Mecánica. Instituto Superior Minero Metalúrgico,
Moa, Holguín, Cuba.

Tomás Fernández Columbié tfernandez@ismm.edu.cu
Doctor en Ciencias Técnicas. Dpto Mecánica.
Instituto Superior Minero Metalúrgico, Moa, Holguín, Cuba.