

Análisis de superficie de alambroón de cobre con microscopía de fuerza atómica*

Xavier Guerrero, Carlos Guerrero, Moisés Hinojosa,*
René Garza**

Resumen

Diversos factores afectan el proceso de multiestirado durante la transformación de alambroón de cobre en alambre para usos eléctricos. Uno de ellos es la calidad de su superficie, ya que irregularidades en la misma, v.g., inclusiones, alta rugosidad, fracturas, grietas, etc., provocarán reventones en la operación, con la correspondiente baja en la eficiencia del proceso. En este trabajo se compara la calidad de la superficie del alambroón de cobre de seis productores de este material, evaluando la rugosidad de las superficies mediante un microscopio de fuerza atómica. Mientras menos rugosas, mejor será la calidad de la superficie.

1. INTRODUCCIÓN

La calidad de la superficie del alambroón de cobre es uno de los problemas importantes en la operación de estirado de alambre a alta velocidad. Está bien documentado en la literatura técnica^{1,2} que para la manufactura del alambre magneto se necesita una calidad superficial del alambroón muy elevada, es decir libre de defectos y lo más lisa posible. Mientras más grande sea el calibre del alambre a fabricar, más determinante será la calidad de la superficie del alambroón.

Una metodología seguida para evaluar la calidad superficial del alambroón consiste en aplicar la norma mexicana NMX-J-215.³ Esta es una prueba de torsión en la cual una muestra de 35 cm de longitud y de diámetro nominal 8 mm se somete a torsión, 10 vueltas hacia un lado y después otras 10 en sentido contrario. Enseguida, la muestra se inspecciona visualmente en busca de grietas, levantamientos o desprendimientos en la superficie.

* Este trabajo fue presentado en la 68th Annual Convention, The Wire Association International, Cleveland OH, June 1998.

Dependiendo de los resultados de esta inspección, el alambroón de cobre se clasifica de acuerdo a la Tabla 1.

Tabla 1. Clasificación de las características superficiales en la prueba de torsión 10×10^3

GRADO	NIVEL	CARACTERÍSTICAS DE LA SUPERFICIE
1	Muy bien	Sin defectos visibles
2	Bien	Desprendimientos y grietas visibles
3	Regular	Grietas, levantamientos y desprendimientos visibles
4	Mal	Grietas, levantamientos y desprendimientos severos

La microscopía óptica y electrónica, así como la perfilometría,⁴ son técnicas que también se usan ampliamente para la clasificación de la calidad superficial del alambre o del alambroón de cobre. Sin embargo, en este trabajo se presenta otra técnica que permite la evaluación de la topografía del alambroón usando microscopía de fuerza atómica, MFA (figura 1).

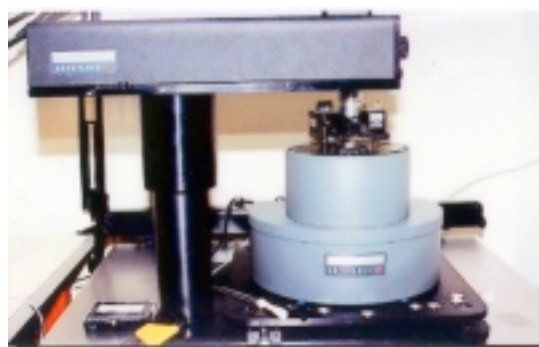


Figura 1. Microscopio de Fuerza Atómica.

* Doctorado en Ingeniería de Materiales, FIME-UANL.

** Planta Alambre Magneto, Conductores Monterrey.

Esta tcnica permite la medici3n, de manera precisa, de la rugosidad de la superficie analizada. Se pretende probar que este m3todo puede llegar a ser una herramienta poderosa en la determinaci3n no subjetiva de la calidad de la superficie del alambrcn de cobre.

2. MICROSCOPIA DE FUERZA AT3MICA

MFA es una tcnica basada en la construcci3n de im3genes digitales a partir de la medici3n de las fuerzas de atracci3n y de repulsi3n entre los 3tomos de una punta y los de la superficie a analizar. La figura 2 muestra el arreglo del MFA. La punta est3 colocada en el extremo libre de un cantilever. Las fuerzas entre la punta y la superficie de la muestra har3n que el cantilever se flexione. Un detector mide la deflexi3n a medida que la muestra se hace pasar por debajo de la punta. Dicha deflexi3n se envía como señaal de entrada a un circuito de retroalimentaci3n que mueve el escaner en donde est3 colocada la muestra hacia arriba o hacia abajo, manteniendo la deflexi3n del cantilever constante, respondiendo de esta manera a la topografía de la muestra.⁵ En este caso, la imagen se genera a partir del movimiento del escaner.

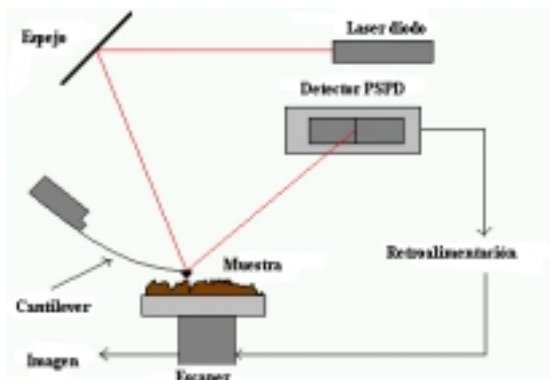


Figura 2. Diagrama esquemático del MFA.

3. EXPERIMENTACI3N

Se seleccionaron de manera aleatoria muestras de un metro de longitud de alambrcn de cobre de 8 mm de diámetro manufacturado por 6 proveedores de una compaía del ramo el3ctrico de la localidad.

Despu3s de limpiar con ultrasonido las muestras, se hicieron cortes de 35 cm en cada una de ellas para someterlas a la prueba de torsi3n. De la muestra restante se tomaron cortes transversales de 5 mm de espesor para hacer barridos de $10 \times 10 \mu\text{m}$ de la superficie, en sentido longitudinal, con el MFA.

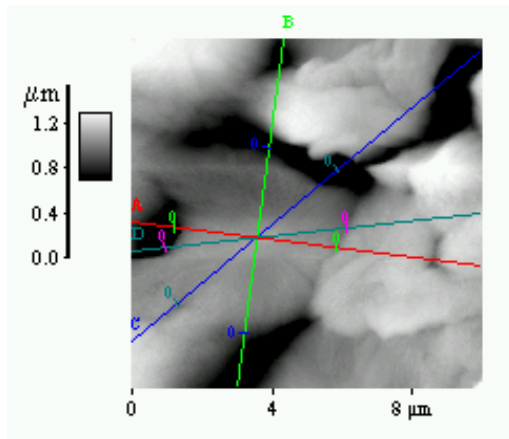
Con los perfiles de altura que el instrumento ha medido, el software del MFA calcula la rugosidad cuadrada media (root-mean-squared roughness), R_{rms} , de acuerdo a la expresi3n siguiente⁶:

$$R_{\text{rms}} = \{[\sum(Z_n - Z_{\text{av}})^2]/(n-1)\}^{1/2} \quad (1)$$

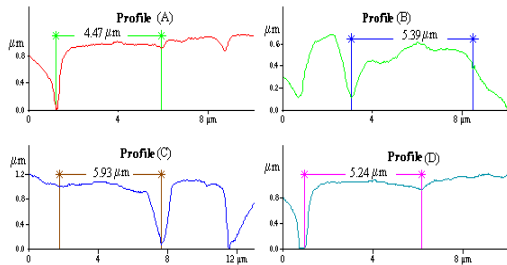
Donde Z_{av} representa la altura promedio de todo el perfil y n el n3mero total de datos medidos. Mientras m3s grande sea R_{rms} mayor ser3 la rugosidad de la superficie.

4. RESULTADOS

La figura 3 presenta una imagen t3pica, en dos dimensiones, de la superficie de un material obtenida con el MFA.⁷ En 3sta se pueden apreciar las diferentes posiciones en donde fue realizado el an3lisis de la rugosidad superficial, Fig. 3.a, generando los perfiles de alturas correspondientes, Fig. 3.b.



(a)



(b)

Figura 3. (a) Imagen 2-D típica en donde se presenta la medición de diferentes perfiles de altura en la muestra. (b) Perfiles de altura medidos.⁷

Este mismo análisis se realizó para cada una de las 6 muestras seleccionadas. En las figuras 4 a la 9 se observan imágenes 3-D de la superficie de los especímenes de alambroón de cobre sin torcer. En todos ellos se ven las crestas y valles que conforman la topografía de las muestras.

El análisis visual de dichas figuras establece que las muestras de los proveedores 4 y 5, Figs. 7 y 8, son las más irregulares. De hecho, la del proveedor

4, Fig.7, presenta hendiduras muy visibles. Aparentemente, las menos irregulares son las Figs. 5 y 6 correspondiendo éstas a los proveedores 2 y 3.

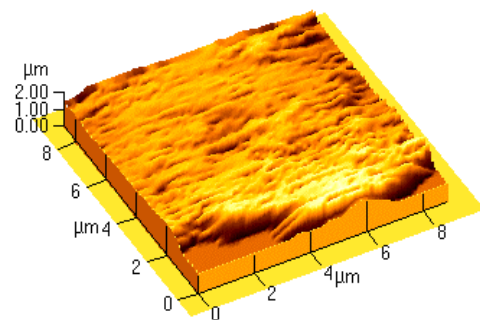


Figura 4. Superficie del alambroón de cobre proporcionado por el proveedor 1

Estos resultados cualitativos concuerdan con las mediciones de rugosidad reportadas en la Tabla 2. Para todos los casos, el barrido se realizó en una superficie de $10 \times 10 \mu\text{m}$, salvo en el caso del proveedor 4, el cual fue de $8 \times 8 \mu\text{m}$.

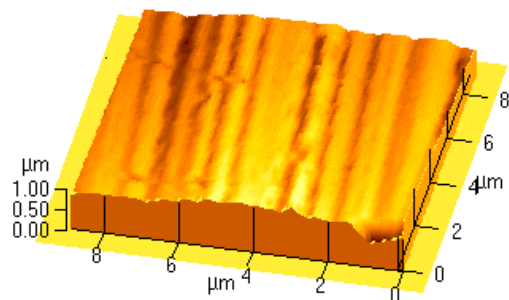


Figura 5. Superficie del alambroón de cobre proporcionado por el proveedor 2

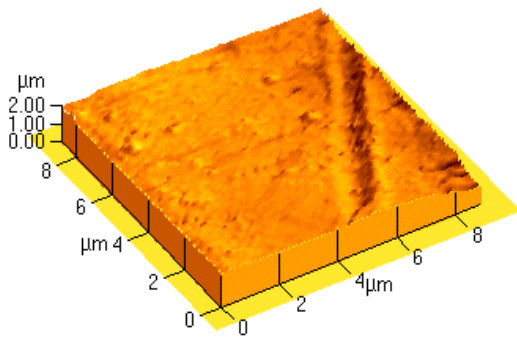


Figura 6. Superficie del alambρόn de cobre proporcionado por el proveedor 3

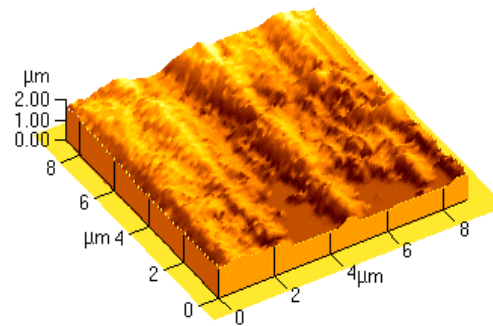


Figura 8. Superficie del alambρόn de cobre proporcionado por el proveedor 5

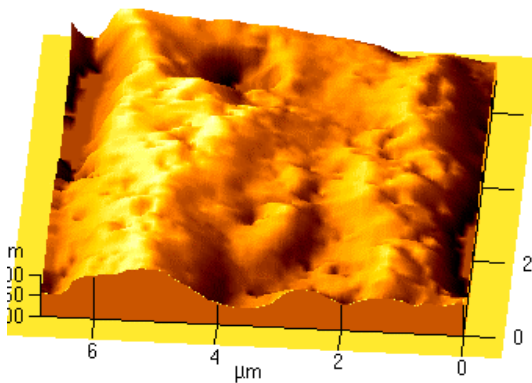


Figura 7. Superficie del alambρόn de cobre proporcionado por el proveedor 4

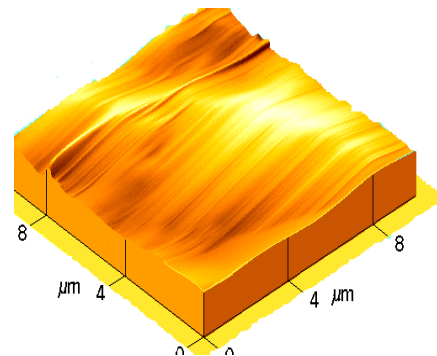


Figura 9. Superficie del alambρόn de cobre proporcionado por el proveedor 6

Analizando los resultados obtenidos se establece que, desde el punto de vista rugosidad, el proveedor que posee mejor calidad superficial es el número 2, seguido de cerca por el número 3. Los peores son los proveedores 5 y 6, situados muy lejos de los mejores.

La Tabla 3 muestra los resultados de la prueba de torsión. De nuevo, los resultados concuerdan con los obtenidos con el MFA, ya que establece como mejores opciones los materiales de los proveedores 2 y 3.

Tabla 3. Resultados de la prueba de torsión realizada en las muestras de los seis proveedores

Proveedor	Estándar	Sugerencia
1	4 (mal)	No utilizar
2	1 (muy bien)	Utilizar
3	2 (bien)	Utilizar
4	3 (regular)	No utilizar
5	4 (mal)	No utilizar
6	3 (regular)	No utilizar

5. CONCLUSIÓN

La obtención de la rugosidad cuadrática media en las superficies del alambre de cobre permite establecer, de manera cuantitativa, su calidad superficial. La evaluación de este parámetro utilizando los perfiles de alturas generados por el microscopio de fuerza atómica marcan al proveedor 2 como el mejor, siendo el proveedor 3 una segunda opción confiable. Estos mismos resultados sugieren que los materiales de los otros cuatro proveedores sean utilizados con reservas.

Los resultados obtenidos en este trabajo demuestran que el MFA puede llegar a ser una herramienta muy poderosa en la clasificación de la calidad superficial de los materiales.

Tabla 2. Mediciones de rugosidad cuadrática media en la superficie de las muestras de los seis proveedores.

Proveedor	R_{rms} (Å)
1	2,271
2	1,199
3	1,643
4	2,547
5	2,286
6	2,812

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer la valiosa ayuda aportada por Enrique López y Edgar Reyes.

REFERENCIAS

- Guerrero X., Tesis de Licenciatura, Universidad de Monterrey, Monterrey, México (1996).
- Enos S., Young S., 66th Annual Convention, The Wire Association International, Charlotte, NC USA (1996).
- Norma NMX-J-215-1994, Asociación Nac. De Normalización y Certificación del Sector Eléctrico, ANCE, México (1994).
- Baker G., Wright R. N; **Nonferrous Wire Handbook, Vol. 3**, The WAI, CT USA (1995)
- Howland R., Benatar L. **A Practical Guide to Scanning Probe Microscopy**, Park Scientific Instruments, CA USA (1995).
- User's Guide to Autoprobe CP and LS, Park Scientific Instruments, CA USA (1997).
- Reyes E., Guerrero C., a ser presentado en SPE ANTEC 2000, Orlando, FL USA (2000)