

REDUCCIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DE UN RESIDUO PELIGROSO DE LA INDUSTRIA DEL COBRE

Juan Solórzano¹, Juan Perea¹, Edward Toro^{2*}, Oscar Vanegas³

1: Estudiante X semestre de Ingeniería de Materiales, Universidad de San Buenaventura Seccional Cali. Santiago de Cali, Colombia

2: Doctor en Ingeniería con énfasis en Materiales, Universidad de San Buenaventura Seccional Cali. Santiago de Cali, Colombia

3: Maestro en Ingeniería con énfasis en Materiales, Universidad de San Buenaventura Seccional Cali. Santiago de Cali, Colombia

* Contacto: eftoro@usbcali.edu.co

RESUMEN

Este estudio busca disminuir el impacto ambiental de residuos peligrosos procedentes de la industria de la fundición del cobre, a través de la "Pulvimetalurgia", que sustituye parcialmente polvos comerciales con geometría redondeada (PGR), por irregular (PGI), para usarlo como producto auto-lubricado. Para esto, el residuo fue tratado con un proceso de molienda en un molino de bolas (Retsch, pm-400) durante 3 horas, y tratado térmicamente en un horno (Electric-Multiple-Unit-Furnace, Hevi-Duty-Electric-Co, Type-123-8) de atmósfera reductora con gas de hidrógeno de ultra-alta pureza a 400°C aproximadamente. El diseño del experimento aplicado fue unifactorial, donde se estableció la varianza entre los tratamientos y la confiabilidad de los ensayos. Las condiciones de las pruebas fueron: mezclado de PGR (Sigma-Aldrich. Pureza 99.5%) con PGI (99%) en una relación 1:1 a 80 R.P.M; el lubricante utilizado fue estearato de zinc; el conformado de las probetas fue en forma de disco de diámetro=1.2cm y espesor=4mm, con una presión de compactación de 150MPa; la sinterización fue a 870°C con una variación de 15°C/minuto sin atmósfera de sinterización, el efecto a 20, 40 y 60 minutos se ve reflejado en las propiedades finales del producto: dureza, desgaste, porosidad y absorción del lubricante. Los resultados determinaron que: el tiempo de sinterización es inversamente proporcional a la dureza y tamaño de los poros, este último favorece la absorción del lubricante a períodos cortos, y directamente proporcional a la ductilidad. Finalmente al utilizar 50% de PGI en el producto auto-lubricante, se reduce el impacto ambiental de las industrias del cobre, generando un producto sostenible similar al producto comercial.

Palabras Clave: *Pulvimetalurgia, Producto Sostenible, Residuo Peligroso.*

ABSTRACT

This study aims to decrease the environmental impact of hazardous waste from the copper industry, through the "Powder Metallurgy", which partially replaces commercial powders with rounded geometry (PRG) by irregular (PIG), for use as self-lubricating product. For this, the residue was treated with a comminution process in a ball mill (Retsch PM-400) for 3 hours, and heat treated on reducing atmosphere furnace (Electric-Multiple-Unit-Furnace, Hevi-Duty, Electric-Co, Type 123-8) with ultra-high purity hydrogen to 400°C approximately. The

experimental design applied was unifactorial, which established the variance between treatments and the reliability of the tests. The test conditions were: mixed PRG (Sigma-Aldrich. Purity 99.5%) with PIG (99%) in a 1:1 ratio at 80 RPM, the lubricant used was zinc stearate; the shaping of the samples was disks with diameter=1.2cm and thickness=4mm, compaction pressure was 150MPa, and the sintering was doing at 870 ° C with a rate of 15°C/minute without sintering atmosphere, the effect of 20, 40 and 60 min was reflected in the final product properties: hardness, wear, lubricant absorption and porosity. The results showed: the sintering time is inversely proportional to the hardness and size of the pores; the latter improves the absorption of lubricant in short periods, and is directly proportional to the ductility. Finally, using 50% PIG in the auto-lubricant product is reduced the environmental impact of copper industries, generating a sustainable product similar to the commercial product.

Keywords: *Hazardous Waste, Powder Metallurgy, Sustainable Product.*

1. INTRODUCCIÓN

La industria del cobre en Colombia tiene una producción media anual de 8.000 toneladas, de las cuales aproximadamente 10% son residuos (800 toneladas), conocidos como escoria de cobre. De acuerdo con el Decreto 4741 de 2005 en Colombia, este residuo es considerado peligroso debido a los riesgos ambientales y de salud que provoca. Algunos de los efectos asociados a este residuo son enfermedades respiratorias, función pulmonar deficiente, y la muerte prematura de las personas con enfermedades respiratorias y cardíacas; en la vegetación afecta el crecimiento y desarrollo de las plantas debido al daño tóxico que afecta el proceso de fotosíntesis. También afecta a las fuentes hídricas por cambios en los niveles de pH y cambiando así la condición natural de los ríos y lagos. El objetivo del proyecto es mitigar el efecto de los residuos utilizando los siguientes recursos: la formación y la importancia ambiental del programa de Ingeniería de Materiales, el equipo de asesoramiento específicamente sobre el uso de los residuos y la metalurgia de polvos, y el deseo de los estudiantes para hacer una contribución al medio ambiente. El proyecto consiste en un estudio técnico, en el que los parámetros de trabajo se optimizaron y el prototipo fue desarrollado.

La piezas a realizar son cojinetes, los cuales soportan y giran en el árbol transmisor de momento giratorio de una máquina, estas piezas estas sometidas a esfuerzos de cizalla, y la falla de estas en servicio son generalmente generadas por desgaste del material, debido a la falta de mantenimiento y lubricación de la pieza, por medio de la pulvimetalurgia (P/M), se pueden fabricar piezas con poros en el interior del material, y depositar en estos lubricante, con el fin de disminuir el desgaste.

2. METODOLOGÍA

Se realizará un proceso de selección de materiales de trabajo donde se utilizarán dos polvos metálicos de cobre de diferente naturaleza, uno comercial y otro preparado en el laboratorio. El polvo preparado en el laboratorio será obtenido a partir de un subproducto de la industria del cobre por medio de la reacción sólido-gas entre los óxidos de cobre presentes en la escoria e hidrogeno. Luego seguirán los procesos pulvimetalúrgicos de mezclado de polvos, compactado y sinterizado. Por último se realizarán medidas de dureza, absorción de lubricante, porosidad abierta y desgaste a las probetas elaboradas, esto siguiendo un diseño experimental unifactorial

con una confiabilidad del 95% de los resultados obtenidos, tomando como factor principal el tiempo de sinterizado, con tres diferentes niveles, tres tratamientos, y con la siguientes hipótesis a probar: H_0 : no existe diferencia significativas entre los tratamientos (Tiempo de sinterización), H_a : si existe diferencia significativa entre los tratamientos.

3. RESULTADOS OBTENIDOS

3.1 Pruebas SEM: Con las pruebas SEM realizadas se pueden examinar la morfología de las muestras con las cuales se desarrolló el proyecto.

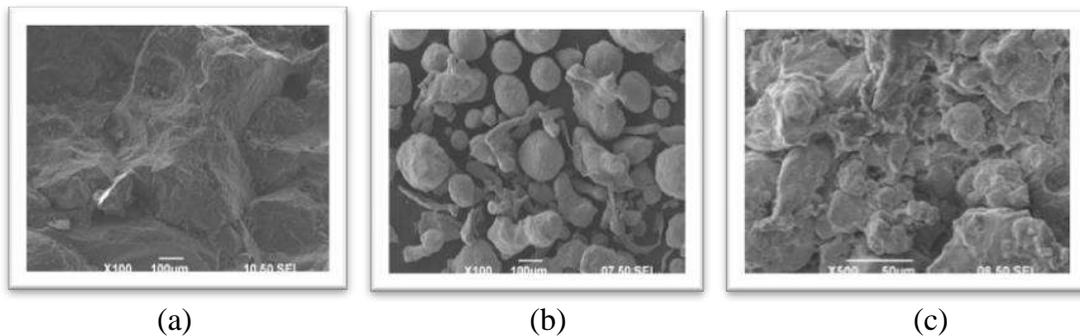


Figura 1. Imágenes SEM (a) Escoria de cobre, (b) Polvos de Cobre y (c) Polvos de cobre compactados

3.2 Dureza: se empleó un equipo de Dureza Rokwell marca Wilson y el ensayo fue realizado según la norma ASTM E18-03. En la tabla 1 se observa que las durezas de la aleación disminuyen con el tiempo de sinterización, esto se debe a que a mayor tiempo de sinterizado se genera un mayor movimiento entre las partículas y difusión de átomos, lo que crea un mayor cuello entre las partículas y formen planos de deslizamiento en el material, y no se creen dislocaciones o imperfecciones que es lo que ayuda a tener una mayor dureza.

Tabla 1. Prueba de dureza de cada tipo de sinterización

Probeta	Dureza(HRH)
1	69
2	63
3	60

En la tabla 2 se puede observar el análisis de varianza $F = 31,79 > F_a$ entonces los tratamientos tienen diferencias significativas.

Tabla 2. Análisis de varianza para la dureza vs tiempo sinterizado

Fuente de Variación	Grados de libertad	Sumatorias de cuadrados	Cuadrados medios	Distribución F	Significancia
Tiempo sinterizado	2	134,222	67,111	31,79	0,001
Error	6	12,667	2,111		
Total	8	146,889			

Para confirmar la hipótesis H_a fue empleado la prueba de tukey con un 95,0% de confianza. Donde se muestra en la tabla 3 que los tratamientos de 20min y 40min no tienen diferencias y los tratamientos de 20min y 60min si existen desigualdades.

Tabla 3. Método de Tukey para análisis de la varianza de la dureza.

Tiempo sinterizado	N	Media	Agrupación
60	3	69,0	A
40	3	69,0	B
20	3	69,0	B

3.3 Absorción del lubricante y Porosidad: se busca conocer qué cantidad de lubricante penetra en las probetas, para esto deben tener una porosidad abierta, ya que el lubricante se debe incorporar dentro del material; esto se hizo según la norma ASTM B 328 – 96. Con un aceite SAE 40. En la figura 2 se observa que la porosidad disminuye con el tiempo de sinterización, donde a medida que aumenta el tiempo de sinterizado disminuye el tamaño de los poros en el material, como se observa en la figura 3 donde por medio de un estudio metalográfico se observa que la probeta 1 presenta poros de un dimensión de 300 μm o más, la probeta 2 poros entre 300 μm -150 μm , y la probeta 3 poros de un tamaño menor a 150 μm . La forma irregular de los poros se debe en gran parte a que una fracción de los polvos tenía geometría irregular.

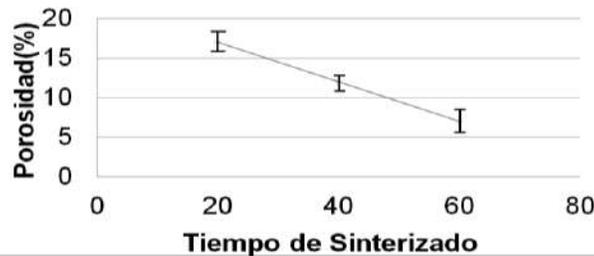


Figura 2. Porosidad para diferentes tiempos de sinterizado

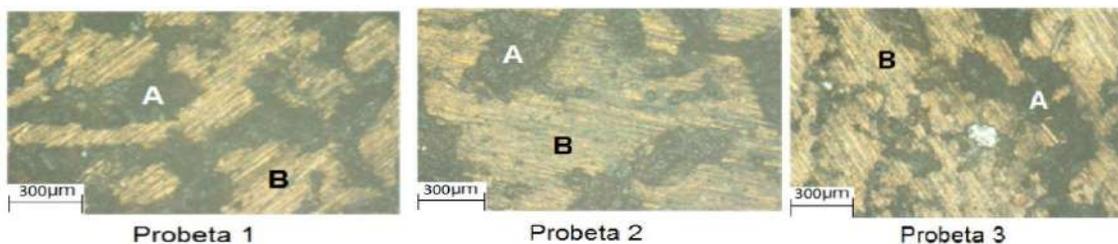


Figura 3. Imágenes microscópicas de las probetas (aumento de 10x); A: poros; B: matriz de cobre.

En la tabla 4 se puede observar el análisis de varianza. $F = 171,10 > F_a$ entonces los tratamientos tienen diferencias significativas.

Tabla 4. Análisis de varianza para la Fracción poros vs tiempo sinterizado.

Fuente de Variación	Grados de libertad	Sumatorias de cuadrados	Cuadrados medios	Distribución F	Significancia
Tiempo sinterizado	2	164,641	82,320	171,10	0,000
Error	6	2,887	0,481		
Total	8	167,528			

Para confirmar la hipótesis H_a fue empleado la prueba de tukey con un 95,0% de confianza. Donde se muestra en la tabla 5 que los tratamientos de 20min y 40min no tienen diferencias y los tratamientos de 20min y 60min si existen desigualdades.

Tabla 5. Método de Tukey para análisis de varianza de la fracción de poros.

Tiempo sinterizado	N	Media	Agrupación
60	3	17,6	A
40	3	12,3	B
20	3	7,1	C

3.4 Desgaste: en esta prueba se utilizó un taladro de banco simulando la prueba de pin-on disk. Los parámetros de la prueba de desgaste fueron: Carga en pin de 1,290 Kg, 300 Revoluciones por minuto a un Tiempo de 3 min. La figura 4 muestra que con el aumento en el tiempo de sinterizado la pérdida porcentual de masa en el material es mayor, ya que se disminuye el tamaño de los poros en el material y hay una absorción menor de lubricante, lo que conlleva a un mayor desgaste.

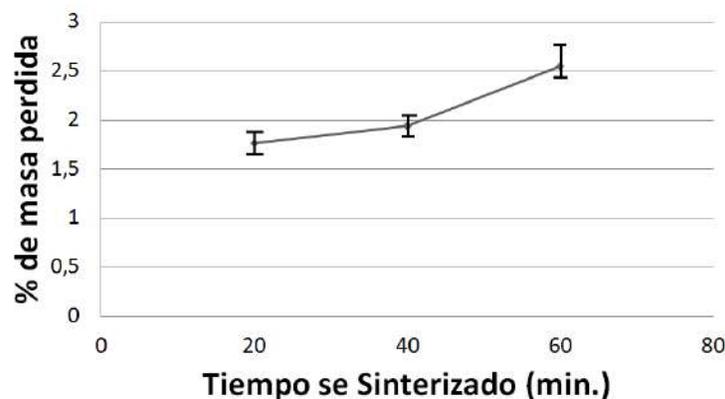


Figura 4. Porcentaje masa perdida para diferentes tiempos de sinterizado.

En la tabla 6 se puede observar el análisis de varianza = $16,68 > F_a$ entonces los tratamientos tienen diferencias significativas.

Tabla 6. Análisis de varianza para el Desgaste vs tiempo sinterizado

Fuente de Variación	Grados de libertad	Sumatorias de cuadrados	Cuadrados medios	Distribución F	Significancia
Tiempo sinterizado	2	1,00016	0,50008	16,68	0,004
Error	6	0,17987	0,02998		
Total	8	1,18002			

Para confirmar la hipótesis H_a fue empleado la prueba de tukey con un 95,0% de confianza. Donde se observa que los tratamientos de 20min y 40min no tienen diferencias y los tratamientos de 20min y 60min si existen desigualdades.

4. CONCLUSIONES

Los resultados determinaron que a mayor tiempo de sinterización se genera un aumento en la densidad del material, una disminución de dureza, un tamaño de los poros en el material más reducido, desfavoreciendo la absorción del material y por último un incremento en el desgaste del material. El diseño de experimentos unifactorial pudo determinar que los tratamientos de tiempo de sinterizado a 20min y 40min, no tienen diferencias para las variables respuesta: densidad, dureza y desgaste; Al no ser significativas se deduce que la variación es mínima y es equivalente tomar una u otra. Pero para la variable respuesta absorción de lubricante y porosidad abierta los tratamientos tienen diferencias significativas, por adquirir un tamaño de poro diferente para cada tiempo de sinterizado. Se puede lograr la fabricación de bujes auto-lubricados los cuales tienen un costo menor debido a la inclusión de partículas de cobre recicladas, lo cual tiene un impacto ambiental alto ya que se utiliza un subproducto y esto conlleva a una menor cantidad de materia prima virgen, la cual necesita energía para su obtención.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Amador, Diego. Obtención de aceros pulvimetalúrgicos de baja aleación mediante polvos aleados mecánicamente: Optimización, estudio y comparación con la vía convencional. Leganés, 2003, 218 p. Tesis doctoral (Doctor). Universidad Carlos III de Madrid. Departamento de Ciencia de Materiales.
2. Archana, Sarita Kumari. Hydrogen reduction of copper bleed solution from an Indian copper smelter for producing high purity copper powders. *Metal Extraction and Forming Division, National Metallurgical Laboratory, Jamshedpur-831007, India* Received 6 January 2006; received in revised form 18 May 2006; accepted 29 May 2006 Available online 20 July 2006.