

COMPOSITES FENÓLICOS REFORZADOS CON MATERIALES CARBONOSOS: EFECTO DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA SOBRE LA FRICCIÓN DESLIZANTE CONTRA DISCOS DE FUNDICIÓN

David Vargas ¹, Alejandro Toro ², Santiago Betancourt ^{3*}

1: Ingeniero Mecánico, Universidad Pontificia Bolivariana. Medellín, Colombia.

2: Ingeniero Mecánico, Ph.D., Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia

3: Ingeniero Mecánico, Ph.D., Universidad Pontificia Bolivariana. Medellín, Colombia.

* Contacto: santiago.betancourt@upb.edu.co

RESUMEN

El presente trabajo centró su atención en estudiar las variaciones en la fuerza de fricción de materiales compuestos de matriz fenólica reforzados con fibras naturales en contacto deslizante con discos de fundición, convencionalmente empleados como discos de freno de automóviles. Se analizó el efecto de la incorporación de 2 tipos de materiales carbonosos: grafito y carbón vegetal; este último fue obtenido mediante pirólisis lenta de fibras vegetales provenientes de la vena central de la hoja de plátano, en tres tamaños. Se fabricaron materiales compuestos mediante la técnica de compresión en caliente a diferentes fracciones volumétricas, entre 5 y 30 % v/v. Se empleó un tribómetro tipo pin-disco para monitorear el comportamiento de la fuerza de fricción en función del tiempo para cada tipo de material fabricado, con condiciones de carga y velocidad constante.

Se encontró que todos los pines reforzados reportan valores de fricción inferior al reportado para la resina fenólica sin refuerzo. Adicionalmente, se determinó que existe influencia del tamaño de partícula del reforzante sobre el valor del coeficiente de fricción, lo cual está asociado a las variaciones en la mecánica de contacto del sistema compuesto.

Palabras Clave: *Materiales de fricción, Compuestos de matriz fenólica, Reforzantes carbonosos, Fricción en deslizamiento.*

ABSTRACT

This work focused on the variations of friction force between natural fiber-reinforced phenolic matrix composites and cast iron brake discs in sliding contact. The effect of the addition of 2 types of carbonaceous materials: graphite and charcoal obtained by slow pyrolysis of plant fibers (in three different sizes) was studied. The composites were fabricated by hot pressing technique using different volume fractions of carbonaceous materials between 5 and 30% v / v.

A pin-on-disc tribometer was used to evaluate the frictional forces in sliding condition with fixed load and speed. It was found that the friction coefficient was lower in the tests performed with reinforced samples when compared to reinforcement-free specimens. Additionally, it was

determined that the coefficient of friction is influenced by the size of the reinforcing particles, which is related to variations in contact pressures of the tribological pair.

Keywords: *Friction materials, Matrix compounds phenolic, Reinforcing carbonaceous, Sliding friction.*

1 INTRODUCCIÓN

Las resinas fenólicas tipo Novolacas, son polímeros termorrígidos utilizados como aglutinante de materiales compuestos gracias a su bajo costo y a que poseen una buena combinación de propiedades mecánicas como alta dureza, buena resistencia a la compresión, resistencia térmica media y una gran capacidad de fluir a través de todos los componentes para lograr una unión firme entre ellos [1- 6].

Mediante la mezcla de diversos componentes se pueden obtener materiales compuestos que satisfagan múltiples necesidades y aplicaciones, entre ellas las de fricción. Las industrias de los materiales de fricción (por ejemplo frenos y embragues), conscientes de esto, han centrado sus esfuerzos en dar respuesta a las necesidades de sus clientes adicionando componentes a sus formulaciones, los cuales pueden ser categorizados en: aglomerantes, cargas, modificadores de fricción y reforzantes [7 - 9]. Consecuencia de ello hay una amplia gama de materiales de fricción los cuales se diseñan con base en la experiencia y pruebas de ensayo y error. Algunos de ellos llegando a superar decenas de constituyentes con el fin de incrementar el desempeño bien sea térmico, mecánico o tribológico [10].

No obstante, el interés de comprender los tribosistemas en los cuales están estos materiales involucrados, ha motivado el incremento en investigaciones de los efectos de cada componente sobre la matriz, incluyendo nuevos componentes, especialmente los modificadores de fricción [11] y más recientemente el uso de materiales carbonosos de origen vegetal [12]. El presente trabajo centró su atención en estudiar las variaciones en la fuerza de fricción y en el desgaste de materiales compuestos de matriz fenólica, relacionados con el tipo de material carbonoso (grafito y carbón vegetal en diferentes proporciones y tamaños de partícula) en una condición de deslizamiento contra discos de fundición convencionalmente empleados para el frenado de vehículos comerciales.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

Se prepararon muestras de material compuesto para llevar a cabo pruebas tribológicas. Para la matriz se empleó una resina fenólica tipo Novolaca referencia 6600MC (INTERQUIM S.A.), la cual trae incorporada hexametiltetramina (HMTA) como agente de curado. Como material de refuerzo se estudiaron dos tipos de materiales carbonosos: grafito para aplicaciones metalúrgicas y carbón obtenido mediante pirólisis lenta de fibras vegetales en tres diferentes tamaños, acorde con el procedimiento reportado en [12]. Las muestras de material han sido nombradas acorde con el tipo de material y número de tamiz así: (PG para el grafito; PCF 20, PCF 40 y PCF 100 para el carbón). El tamaño de las partículas se determinó mediante tamices analíticos en un equipo RETSCH AS 200.

Para la obtención de los materiales compuestos, primero se efectuó mezcla manual en recipiente hermético por 15 minutos. Luego, resina y material carbonoso en diferentes combinaciones volumétricas (5, 10, 15, 20, 25 y 30 v/v%), fueron sometidos a compresión en caliente dentro de un molde de acero de (75 mm de diámetro interior y espesor de 3.2 mm), a una temperatura de 160 °C y presión de 200 PSI durante 15 minutos.

La evaluación del comportamiento tribológico se efectuó a partir del análisis de la fuerza de fricción y el desgaste, consecuencia del deslizamiento del material compuesto sobre la superficie de discos de freno comerciales fabricados en fundición ferrosa con las siguientes características reportadas por el fabricante: Tipo de grafito: 1-1A (hojuelas), tamaño de grano: ASTM 3-4, Microestructura: Pearlita: 90% min., Ferrita: 5% max., Cementita: 5% max., Dureza 170-217 HB. Se fabricaron pines de material compuesto de 6 mm de espesor, se empleó un tribómetro tipo pin-disco (Laboratorio de tribología y Superficies, Universidad Nacional de Colombia sede Medellín) con carga normal de 1.5 kgf y distancia recorrida de 1000 m a temperatura ambiente, sin lubricación y velocidad de deslizamiento de 1 m/s. La medición del desgaste se efectuó con base en la diferencia en la masa de los pines antes y después del ensayo empleando para ello una balanza SARTORIUS CPA225D.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Tamaño de partícula

En la Tabla 1 se presentan los resultados obtenidos para el tamaño de partícula de los materiales carbonosos estudiadas. Se encontraron tamaños promedio de grafito del orden de 100 µm y tres tamaños de partícula carbonosas (850, 420 y 150 µm).

Tabla 1. Resultados tamaño de partícula de los materiales carbonosos estudiados.

Grafito	Partículas carbonosas
105 µm	CF20 850 µm
	CF40 420 µm
	CF100 150 µm

3.1 Comportamiento tribológico.

En la Figura 1 se muestran los resultados de coeficiente de fricción (COF) promedio para cada uno de los materiales evaluados. Cada uno de los puntos representa un material compuesto cuyo reforzante, tamaño de partícula y/o composición es diferente.

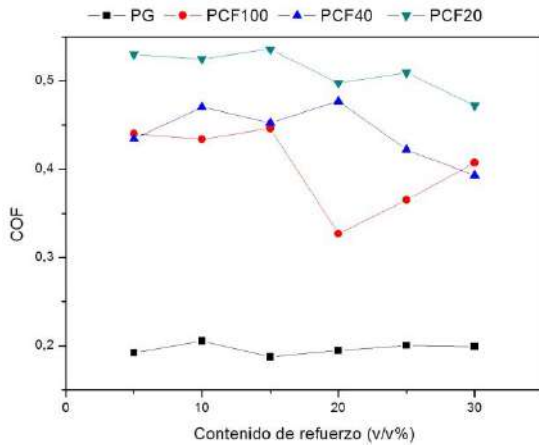


Figura 1. Coeficiente de fricción versus contenido de reforzante para cada una de las muestras de material carbonoso estudiado.

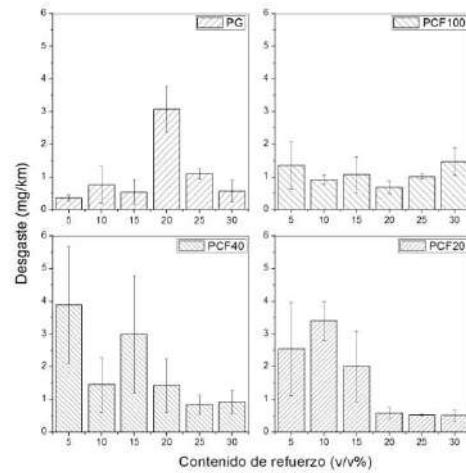


Figura 2. Tasa de desgaste según contenido de reforzante para cada una de las muestras de material carbonoso estudiado.

En lo que se refiere al efecto del tipo de reforzante y el tamaño, se puede afirmar que no se observan variaciones estadísticamente significativas en el COF como consecuencia del incremento de contenido de reforzante de grafito, alcanzando valores de 0.2. No ocurre lo mismo para los materiales con partículas carbonosas de origen vegetal, las cuales muestran variaciones en el comportamiento del coeficiente de fricción por efecto tanto del contenido de reforzante como del tamaño de la partícula.

Todas las muestras de material carbonoso de origen vegetal muestran un cambio significativo del coeficiente de fricción a valores superiores del 15 v/v %. Este resultado sugiere la existencia de un umbral de reforzante que a su vez es función del tamaño de la partícula y del contenido de reforzante. De acuerdo con lo encontrado para otros sistemas compuestos, como por ejemplo: materiales compuestos de matriz metálica (magnesio) reforzados con partículas de SiC, cuyo coeficiente de fricción se incrementa a medida que aumentaba el tamaño de partícula del reforzante [13]. No obstante, dichos autores reportan un solo contenido de reforzante.

En la Figura 2 se presentan los valores de tasa de desgaste para cada uno de los materiales compuestos estudiados. Cada gráfica de barras relaciona el contenido de reforzante con la tasa de desgaste del material según el tipo de reforzante. Con excepción de la muestra reforzada con 20 v/v% de grafito (PG), todas las muestras con este tipo de material presentan los menores valores del desgaste comparadas con aquellas en que se adicionaron las partículas carbonosas de origen

vegetal. Sin embargo, se encontró que la muestra PCF 100 presenta valores de desgaste ligeramente superiores a los del grafito

Los resultados muestran que el desgaste depende tanto del tipo de material carbonoso como del contenido de refuerzo, por lo que no es posible establecer una única tendencia del comportamiento del desgaste como consecuencia del contenido de refuerzo, como ha sido reportado por otros autores [15 -17]. Esto abre nuevas ventanas en las investigaciones relacionadas con la determinación de funciones de comportamiento del desgaste ya que se observa la influencia del tamaño de partícula, la cual ejerce un importante factor sobre el desgaste. Así pues, la presencia de partículas más grandes (PCF 40 y PCF 20) favorece el desgaste del material compuesto en contenidos de refuerzo inferiores al 15%, mientras que las muestras reforzadas con material carbonoso fino (PCF 100) muestran tasas de desgaste promedio inferiores a 1.5 mg/km. Para todos los casos, se encontraron valores de tasa de desgaste inferiores a los encontrados para la resina fenólica sin reforzar, la cual alcanzó 6 mg/km [12].

4. CONCLUSIONES

Fue identificada la influencia del tamaño de partícula del reforzante sobre el valor del coeficiente de fricción en pares compuesto de matriz fenólica - fundición gris en condición deslizante en seco. En términos generales, a medida que aumenta el tamaño de partícula el coeficiente de fricción se incrementa también no obstante, se evidencia la existencia de un umbral que es función del tamaño de la partícula y del contenido de refuerzo.

En cuanto al desgaste, también se observa una influencia del tamaño de partícula y el contenido de refuerzo. Con una tendencia a mostrar reducciones al incorporar reforzante de fibras carbonosas de origen vegetal en fracciones volumétricas del 15%.

Para todos los casos investigados (diferentes tamaños de partícula y diferentes contenidos porcentuales de reforzante), se observó que el grafito posee un mejor comportamiento como lubricante sólido, dado que permite mantener un coeficiente de fricción bajo y estable lo cual puede estar asociado a la formación de una capa fina entre ambas superficies que protege y mantiene un comportamiento estable.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores manifiestan sus agradecimientos a la empresa INTERQUIM por la donación de resina fenólica. Así mismo al proyecto: TRIBOCARBOFENOL (UPB - CIDI 711A-12/10-18).

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Mark H., "Encyclopedia of polymer science and technology: Phenolic resins", New York, Wiley-Interscience, 2007
2. Pilato L. "Phenolic resins: 100Years and still going strong", Reactive and Functional Polymers, Vol 73, No 2, 270-277, 2013.

3. Gardziella A, Pilato L, Knop A. "Phenolic Resins, Chemistry, Applications, Standardization, Safety and Ecology, 2nd edition". Heidelberg, Springer, 2000.
4. Knop A, Pilato LA. "Phenolic Resins: Chemistry Applications and Performance—Future Directions", Heidelberg, Springer, 1985.
5. Phenli U. "Phenolic Resins: Polymeric Materials Encyclopaedia", Florida, CRC Press, 1996.
6. Matsumoto A. "Phenolic Resins: Polymeric Materials Encyclopaedia", Florida, CRC Press, 1996.
7. Reghunadhan-Nair C, Bindu R, Ninan K., "Recent advances in phenolic resins", Metals Materials and Processes, Vol. 9, No 2. 179–200, 1997.
8. Österle W., Griepentrog M., Gross T., Urban I. "Chemical and microstructural changes induced by friction and wear of brakes", Wear, Vol 251, No. 1, 1469–1476, 2001
9. Mutlu I., Eldogan O., Findik F., "Tribological properties of some phenolic composites suggested for automotive brakes", Tribology International. Vol. 39, No. 4, 317-325, 2006.
10. Blau P., "Compositions, Functions, and Testing of Friction Brake Materials and their Additives", Ohio, ORNL, 2001.
11. Bijwe J., Nidhi, Majumdar N., Satapathy B.K., "Influence of modified phenolic resins on the fade and recovery behavior of friction materials", Wear , Vol. 259, No. 7-12, 1068–1078, 2005.
12. Betancourt S, Cruz L, Toro A. "Effect of the addition of carbonaceous fibers on the tribological behavior of a phenolic resin sliding against cast iron". Wear, Vol. 272, No 1, 43–49, 2011. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0043164811005333>
13. Huang, S., Jeng, Y. R., Semenov, V. I., Dai, Y. Z., "Particle Size Effects of Silicon Carbide on Wear Behavior of SiCp-Reinforced Magnesium Matrix Composites", Tribology Letters, Vol. 42, No. 1, 79-87, 2011.
14. Gurunath P., Bijwe J., "Friction and wear studies on brake-pad materials based on newly developed resin", Wear, Vol. 263, No 7 - 12, 1212-1219, 2007.
15. Friedrich K, Zhang Z, Schlarb A., "Effects of various fillers on the sliding wear of polymer composites", Composites Science and Technology, Vol. 65, No. 15, 2329-2343, 2005.
16. Unal H., Sen U, Mimaroglu A. "Dry sliding wear characteristics of some industrial polymers against steel counterface". Tribology International, Vol. 37, No 9, 727-732, 2004.
17. Xie, G. Y., Zhuang, G. S., Sui, G., & Yang, R. (2009). "Tribological behavior of PEEK/PTFE composites reinforced with potassium titanate whiskers". Wear, Vol. 268, No. 3, 424-430, 2010.