

EFFECTO DEL REFUERZO Y DEL TRATAMIENTO TÉRMICO EN EL DESGASTE EN MATERIALES COMPUESTOS DE MATRIZ DE ALUMINIO

E. Martín, A. Forn, M.T. Baile, J.A. Picas y E. Rupérez

Departamento de Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica,
Centro de Diseño de Aleaciones Ligeras y Tratamientos de Superficie (CDAL)
Universitat Politècnica de Catalunya, Avda. Víctor Balaguer, s/n, 08800-Vilanova i la Geltrú

Resumen. Una de las aplicaciones más interesantes de los materiales compuestos de matriz metálica es en la producción de componentes que deben resistir procesos de desgaste. Cuando estos materiales se encuentran sometidos a fricción, puede producirse una distribución de tensiones que genere grietas de fatiga.

Este trabajo muestra el efecto de las partículas de refuerzo en la resistencia al desgaste. Se observa como los materiales compuestos base 2124 y 2009 manifiestan una mejora de la resistencia al desgaste respecto a la aleación 2124 no reforzada. Esta mejora, sin embargo, no depende solo de la cantidad de partículas de refuerzo, siendo el tamaño de las mismas un factor muy importante, lo que está de acuerdo con el comportamiento mecánico general de estos materiales.

Abstract. One of the most interesting applications in the metal matrix composites is in the production of components that they should resist waste processes. When these materials are subjected to friction, it can take place a distribution of tensions that it generates cracks of fatigue.

This work describes the particle reinforcement effect on the wear resistance. It showed that SiC particle-reinforced 2124 and 2009 composites exhibited an improved wear resistance in comparison to the unreinforced 2124 alloy. However, this improvement doesn't only depend on the quantity of reinforcement, but also of the size of the same one, who is in accordance with the MMC mechanical behaviour.

1. INTRODUCCIÓN

Las aleaciones de aluminio reforzadas con partículas discontinuas muestran en general un incremento de la resistencia mecánica. Propiedades como el módulo elástico o el límite elástico se incrementan de forma proporcional con el contenido del refuerzo cerámico. Otras propiedades como la ductilidad macroscópica o la resistencia a fatiga dependen más de la adherencia entre la matriz y las partículas, así como del tamaño de las mismas [1-2].

Las propiedades tribológicas de estos materiales también han sido objeto de numerosos estudios [3-6], no siendo sus resultados siempre coincidentes. Ello es debido a que tanto la velocidad de desgaste como los mecanismos implicados en el mismo dependen, no sólo de la cantidad de las partículas de refuerzo, sino también de otros factores como el proceso de obtención de los materiales y de fabricación de los componentes, de la naturaleza de la interfase matriz-refuerzo, del tamaño de las partículas, etc.

En este trabajo se analiza el efecto de las partículas, en los mecanismos de fractura por desgaste, en dos aleaciones de la serie 2xxx, reforzadas con partículas discontinuas de SiC.

2. MATERIALES

La aleación 2124 T4 reforzada con un 17% en volumen de partículas discontinuas de SiC (2124 MMC), y con un tamaño medio de las partículas del orden de la micra, fue obtenida mediante procesos de pulvimetalurgia y forja. Fue suministrada por AC y seleccionada por Aerospaiale para la fabricación del conector de palas de helicóptero, en substitución del mismo componente forjado con la aleación de titanio Ti6Al4V. Con esta substitución se ha conseguido una reducción de peso del 61 %.

La aleación 2009 reforzada con un 25% en volumen de partículas discontinuas de SiC (2009 MMC), y con un tamaño medio de las partículas de 3,3 micras, fue obtenida también mediante procesos de pulvimetalurgia y forja por DWA y seleccionada por Eurocopter para la fabricación del eje de dirección de un helicóptero. Con esta substitución se ha conseguido un incremento de la tolerancia a daño del 16%.

La composición química nominal de las matrices de los materiales analizados se indica en la tabla 1. En la tabla 2 se indican varias características de los materiales estudiados.

Tabla 1. Composición química de la matriz en % en peso

Material	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
2124	0,20	0,30	3,8 - 4,9	0,30 - 0,9	1,2 - 1,8	0,10	0,25	0,15
2009	0,25	0,05	3,2-4,4	-	1,0-1,6	-	0,10	-

Tabla 2. Información de los materiales analizados.

Material	HBW	E /GPa	R _{0,2} /MPa	Rm /MPa	A /%
2124 T4	112	75	358	497	22
2124/SiC/17p T4	169	99	404	602	7
2009/SiC/25p	143	113	422	619	3,7

La microestructura de estos materiales se puede observar en las figuras 1 y 2.

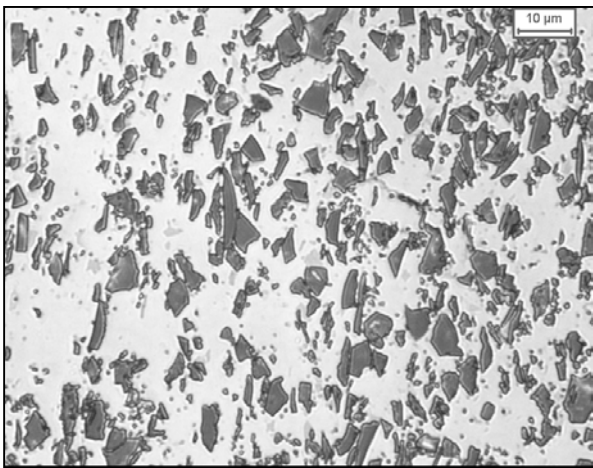


Fig. 1. Microestructura del material 2009 MMC

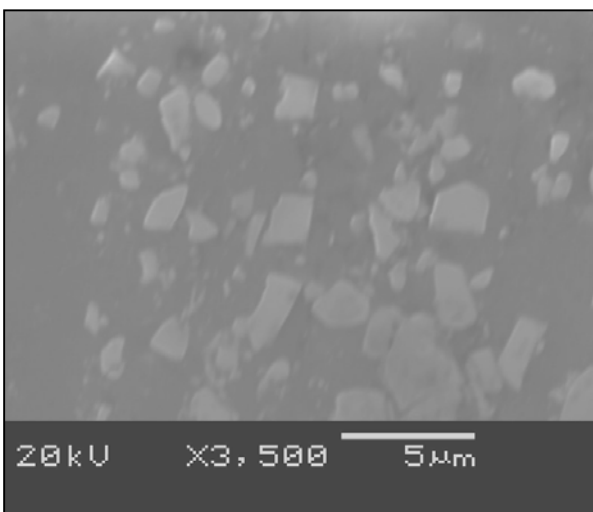


Fig. 2. Microestructura del material 2124 MMC T4

3. TÉCNICAS EXPERIMENTALES

Para el estudio de las propiedades tribológicas se han realizado ensayos de fricción empleando un tribómetro pin-on-disc CSEM, acondicionado con una unidad de control de humedad y temperatura. Los ensayos se efectuaron con una velocidad lineal constante de 5 cm/s y con una carga aplicada de 20 N, empleando como pin una bola de WC-6%Co de 6 mm de diámetro, una rugosidad Ra de 0,02 mm, una dureza de 1600 HV0,3, un módulo de Young de 630 GPa y un coeficiente de Poisson de 0,21. Como discos se utilizaron los materiales estudiados, para ello se mecanizaron discos de 30 mm de diámetro por 6 mm de altura. Las condiciones ambientales se ajustaron a una humedad relativa del 75% y una temperatura de 25 °C. Todos los ensayos se realizaron sin lubricación.

La rugosidad de las muestras y el canal de desgaste en las mismas se evaluaron con un rugosímetro-perfilómetro Taylor-Hobson. Para la determinación de la velocidad de desgaste se midió la superficie transversal del canal de desgaste cada 5000 vueltas.

Una vez realizados los ensayos tribológicos, las muestras se seccionaron transversalmente y se montaron probetas metalográficas para el estudio de las zonas de desgaste mediante microscopía electrónica.

4. RESULTADOS EXPERIMENTALES Y DISCUSIÓN

La figura 3 muestra la superficie transversal de desgaste acumulado para los distintos tipos de materiales, en μm², en función del n° de vueltas. Se puede comprobar como, para una misma carga aplicada de 20 N, el desgaste es mayor en la aleación no reforzada que en los materiales compuestos. Este resultado es coherente con otros estudios realizados en cuanto a que el refuerzo con partículas duras mejora el comportamiento al desgaste.

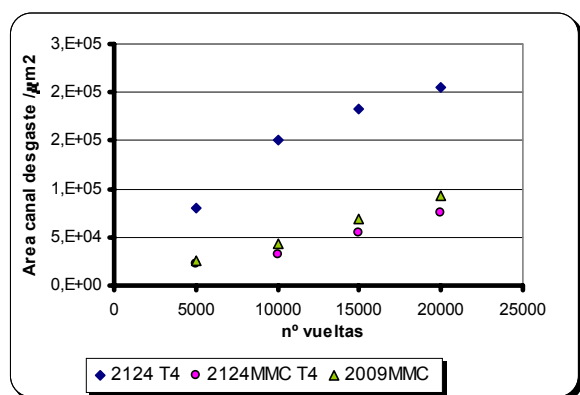


Fig. 3. Desgaste frente al n° de vueltas para los materiales estudiados.

Esta gráfica, si bien pone de manifiesto el incremento de la resistencia al desgaste con la incorporación de refuerzo cerámico, no está de acuerdo con el hecho de que esta resistencia sea directamente proporcional únicamente al contenido del mismo. Se puede observar como el desgaste es mayor en el material 2009 a pesar de que el contenido en SiC sea superior al 2124.

Si tenemos en cuenta que la aleación 2009 está diseñada para conseguir una mayor resistencia al daño (tenacidad a fractura, resistencia a fatiga) que la 2124, estos resultados muestran que el papel de las partículas de SiC no responde plenamente a la conocida ley de masas, y que parámetros como la morfología, tamaño de partículas y adherencia en la interfase tienen una elevada importancia en el comportamiento al desgaste de estos materiales. Igualmente hay que tener en cuenta el distinto estado metalúrgico de los materiales compuestos. Así, mientras el 2124 MMC tiene un tratamiento T4, el 2009 MMC no tiene tratamiento térmico alguno; esta circunstancia explica la baja dureza del 2009 MMC respecto al 2124 MMC a pesar del mayor contenido de refuerzo del primero.

La figura 4 muestra la relación entre dureza y resistencia al desgaste de estos materiales. Se puede comprobar cómo los materiales de mayor dureza exhiben también una mayor resistencia al desgaste, lo que está de acuerdo con las distintas teorías del desgaste adhesivo.

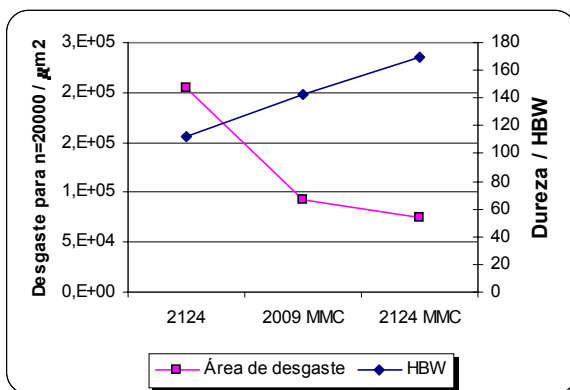


Fig. 4. Desgaste frente a la dureza para los materiales estudiados

Las partículas actúan inicialmente como fases de elevada dureza, soportando una gran proporción de carga aplicada y, en consecuencia, protegiendo a la matriz del desgaste. Este fenómeno comporta un incremento de la resistencia al desgaste de los materiales compuestos, y es tanto más efectivo cuanto mayor sea la adhesión entre la matriz y el refuerzo. Sin embargo, la capacidad de refuerzo efectivo depende también del tamaño de las partículas. Está demostrado [1-2] que las partículas grandes son susceptibles a la fractura antes que las partículas pequeñas, ello comporta la generación de grietas en el material y la incorporación de las partículas fragmentadas al proceso

abrasivo de desgaste, con lo que la resistencia al desgaste disminuye.

Esta fragmentación de partículas, así como la delaminación de la matriz, está asociada a procesos de fatiga. La capacidad de deformación plástica y de endurecimiento por deformación de los materiales afecta también a esta resistencia.

Si observamos las superficies transversales de los canales de desgaste (figuras 5 a 7), podemos apreciar que en todos ellos existe una capa en la que es bien visible una zona de deformación plástica.

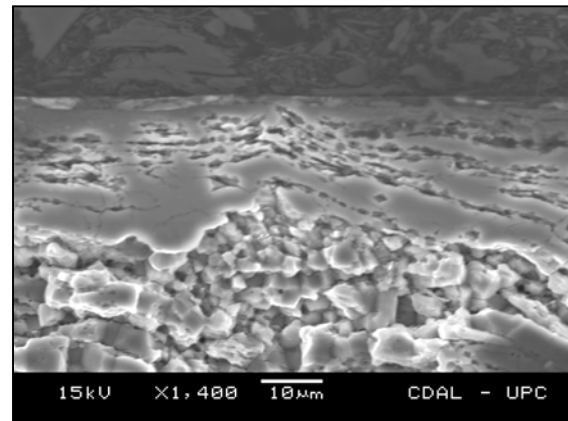


Fig. 5. Sección transversal del canal de desgaste del material 2124 T4.

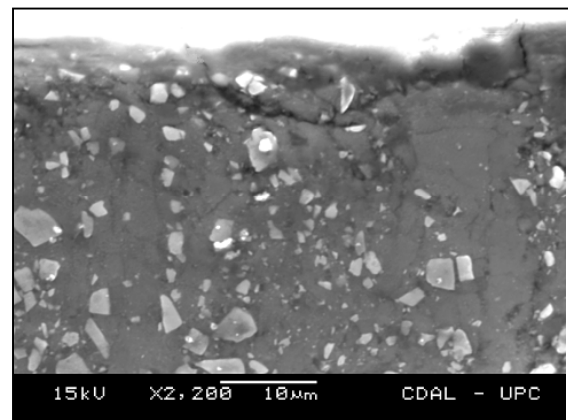


Fig. 6. Sección transversal del canal de desgaste del material 2124 MMC T4.

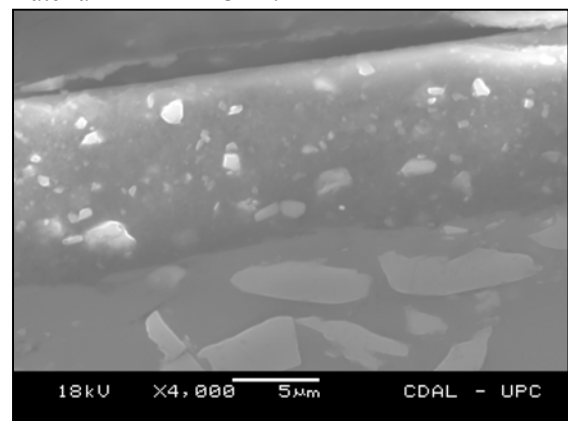


Fig. 7. Sección transversal del canal de desgaste del material 2009 MMC.

La zona media de deformación plástica es de unas 20 micras para el material no reforzado 2124 T4, de unas 5 micras para el 2124 MMC T4 y de unas 10 micras para el 2009 MMC.

Cuando sobre la superficie del material se aplica una carga suficiente, la fase continua se deforma plásticamente, imponiendo una transferencia de carga a las partículas de refuerzo si existe una buena adhesión entre ambas fases, esta transferencia de carga puede llegar a causar la fractura de las partículas si las tensiones locales son lo suficientemente elevada.

Otra posible causa de la formación de micro grietas podría ser la decohesión de las partículas o incluso la incubación de microgrietas en la matriz, en zonas próximas a las partículas de refuerzo [2]. Estos diferentes mecanismos provocarían la formación de microgrietas que progresivamente irían creciendo hasta alcanzar la superficie de la muestra, desprendiéndose zonas de material que originarían un incremento del desgaste.

La relativamente baja resistencia mecánica del material no tratado 2009 MMC implica una gran plasticidad en la superficie y la existencia de mecanismos de desgaste adhesivo importantes. Al mismo tiempo, el elevado tamaño de las partículas de refuerzo en este material y la buena adhesión entre éstas y la matriz comporta la rotura de las mismas y su incorporación al fenómeno de desgaste abrasivo. Esta fragmentación del refuerzo no se observa en el 2124 MMC T4 dado el pequeño tamaño del mismo y la zona plástica es sensiblemente inferior gracias al tratamiento térmico de envejecimiento natural al que ha sido sometido.

El coeficiente de fricción de los materiales compuestos es más elevado que el de la aleación no reforzada (Figuras 8-10). Este coeficiente se incrementa con la longitud de deslizamiento, mostrando una variabilidad importante. Ello podría ser debido a episodios alternantes de arranque de partículas con otros en los que no se produciría este fenómeno. La inicial disminución de este parámetro para la aleación no reforzada podría deberse a la mayor incidencia en la misma del fenómeno de endurecimiento por deformación plástica.

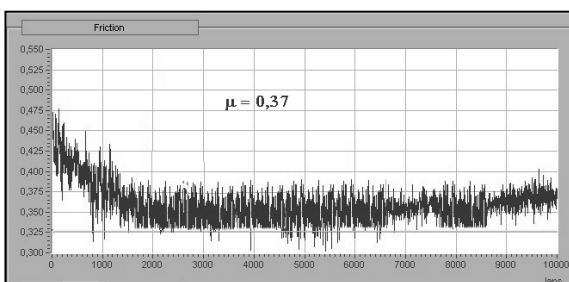


Fig.8. Coeficiente de fricción del material 2124 T4.

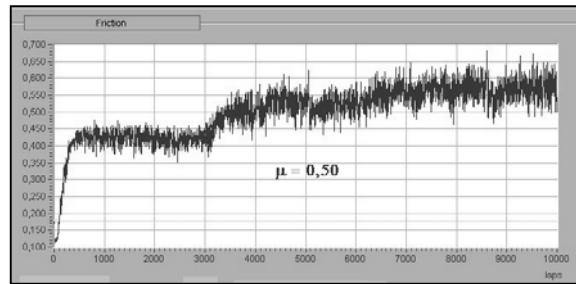


Fig.9. Coeficiente de fricción del material 2124 MMC T4.

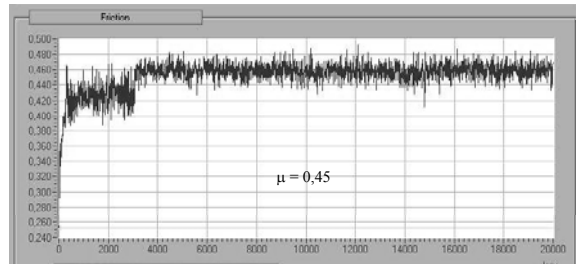


Fig.10. Coeficiente de fricción del material 2009 MMC

5. CONCLUSIONES

Los materiales estudiados han mostrado una gran variabilidad en el comportamiento tribológico sin lubricación. Las principales conclusiones de este trabajo son:

1. La incorporación de partículas discontinuas de SiC a las aleaciones de aluminio mejora la resistencia al desgaste de las mismas
2. Las partículas refuerzo incrementan el coeficiente de fricción de forma paralela al incremento de dureza.
3. El mecanismo de desgaste fundamental en los materiales reforzados es el abrasivo, siendo el adhesivo para la aleación no reforzada.
4. En los materiales reforzados, el tratamiento de envejecimiento ha supuesto un incremento de la resistencia al desgaste y del coeficiente de fricción superior al efecto que comporta la incorporación de partículas de SiC.
5. Un mecanismo adicional de fractura en la matriz ha sido el de la fractura previa de las partículas de refuerzo de gran tamaño.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer al Ministerio de Ciencia y Tecnología la ayuda recibida a través de los proyectos CICYT MAT2001-1732-C02-01/02 y DPI2002-04581-C02-01.

REFERENCIAS

- [1] E. Martín, A. Forn y R. Nogué "Strain hardening behaviour and temperature effect of 2124 aluminium alloy reinforced with SiCp", *Proced. Of Int. Conf. on Advanced Materials Processing Technologies*, Leganés, pp. 1485-1490 (2001)
- [2] A. Forn y E. Martín, "Mecanismos de generación y propagación de grietas en materiales compuestos base aluminio". *Anales de Mecánica de la Fractura*, 19, pp 229-234 (2002).
- [3] A. Martín, J. Rodríguez y J. Llorca. "Comportamiento frente al desgaste de materiales compuestos de matriz de aluminio". *Anales de Mecánica de la Fractura*, 15, pp 460-465 (1998)
- [4] Y. Sahin, "Tribological behavior and wear surface analysis of metal-matrix composites", *J. of Mat. Sci.*, 34, pp 875-880, (1999).
- [5] M. Gui, S.B. Kang y J.M. Lee, "Dry sliding wear behavior of spray deposited AlCuMn alloy and AlCuMn/SiCp composite", *J. of Mat. Sci.*, 35, pp 4749-4762, (2000).
- [6] E. Martín, A. Forn y J.A. Picas, "Tribología de materiales compuestos base aluminio", *Proc. VIII Congreso Nacional de Propiedades Mecánicas de Sólidos*, Gandia, pp 864-874 (2002).
- [7] D. Bialo, J.Zhou, J. Duszczuk, "The tribological characteristics of the Al-20Si-3Cu-1Mg alloy reinforced with Al₂O₃ particles in relation to the hardness of a mating steel", *J.Mat.Sci.*, 35, pp 5497-5501 (2000).