

Dyna
ISSN: 0012-7353
dyna@unalmed.edu.co
Universidad Nacional de Colombia
Colombia

FERNÁNDEZ M., PATRICIA; MARTÍNEZ, VLADIMIR; VALENCIA, MARCO; CRUZ, JAVIER
Aplicaciones de los materiales compuestos de matriz metálica en el sector eléctrico y electrónico
Dyna, vol. 73, núm. 149, julio, 2006, pp. 134-140
Universidad Nacional de Colombia
Medellín, Colombia

Disponible en: http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49614912

Cómo citar el artículo
Número completo
Más información del artículo
Página de la revista en redalyc.org

Sistema de Información Científica
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

APLICACIONES DE LOS MATERIALES COMPUESTOS DE MATRIZ METÁLICA EN EL SECTOR ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO

APPLICATIONS OF METAL MATRIX COMPOSITES IN ELECTRIC AND ELECTRONIC INDUSTRIES

PATRICIA FERNÁNDEZ M.
Grupo de Investigación sobre Nuevos Materiales, Universidad Pontificia Bolivariana patricia.fernandez@upb.edu.co

VLADIMIR MARTÍNEZ
PhD. Ing. Mecánico, Universidad Pontificia Bolivariana, hadervm@upb.edu.co

MARCO VALENCIA
MSc. Ing. Metalúrgico, Escuela de Ingeniería de Antioquia, pfmaval@eia.edu.co

JAVIER CRUZ
PhD. Ing. Mecánico, Universidad Pontificia Bolivariana, luis.cruz@upb.edu.co

Recibido para revisar 20 de Junio de 2003, aceptado 4 de Agosto de 2003, versión final 20 de Abril de 2005

RESUMEN: Este artículo revisa los materiales compuestos de matriz metálica (CCM) usados en las industrias eléctrica y electrónica. Usualmente, los composites útiles en estos sectores corresponden a la familia de las aleaciones ligeras, reforzadas con fibras o partículas. Por tal motivo, la revisión está enfocada en las aleaciones Al, Ti y Mg, sus propiedades y aplicaciones.

PALABRAS CLAVES: Materiales Compuestos de Matriz metálica, Aleaciones ligeras, Industria eléctrica, Industria electrónica.

ABSTRACT: In this paper, an overview on metal matrix composites (MMC) used in the electric and electronic industries is made. Usually, the useful composites in those sectors corresponding to the light alloys family and they are reinforced with short fibers or particles. So the review is focused on Al, Ti and Mg alloys, their properties and applications.

KEYWORDS: Metal Matrix Composites, Light alloys, Electric industry, Electronic Industry.

1 INTRODUCCIÓN

Los materiales compuestos de matriz metálica (CMM) han sido destinados especialmente a aplicaciones estructurales en la industria automotriz, aeroespacial, militar, eléctrica y electrónica, las cuales usualmente exigen alta rigidez, resistencia y módulo específico. Para el caso de las aplicaciones en el sector eléctrico y electrónico, el diseño de propiedades termomecánicas y termofísicas con una máxima transferencia de calor, combinada con una mínima distorsión térmica es la clave para que estos materiales sean los candidatos ideales [1-3].

Las técnicas de producción para CMM se clasifican básicamente en cuatro tipos según el estado de la matriz durante el proceso: en estado líquido (fundición, infiltración), en estado sólido (pulvimetalurgía (PM), sinterización, prensado en caliente), en estado semisólido (compocasting) y gaseoso (deposición de vapor, atomización,

electrodeposición), éste último de poca difusión, pero bastante utilizado en la obtención de CMM para el sector electrónico [2-7]. Los porcentajes de uso de los métodos de procesado de CMM para el sector electrónico están representados por las técnicas en estado líquido con un 69% (una de las técnicas de mayor uso para la producción de CMM) y pulvimetalurgía con un 31 % [3, 6].

Se ha comprobado que según la ruta de procesamiento, los CMM tienden a poseer propiedades diferenciales. Para las rutas de mayor porcentaje de utilización, se tiene que mediante técnicas en estado líquido, donde la aleación en estado líquido entra en contacto directo con el material reforzante o se realiza una infiltración de preformas, es posible obtener CMM con baja conductividad térmica, los cuales puedes estar constituidos por Al/SiC_w, $Al/Al_2O_{3(p)}$, Al/C, Mg/C, y Ti/SiC. De igual manera, es posible obtener por rutas en estado sólido, composites de matriz de Cu o Ag reforzados con partículas de Al_2O_3, SiO_2 o BeO, los cuales presentan un modesto mejoramiento de la resistencia y una buena conductividad eléctrica. Mediante la misma ruta de procesamiento y usando como refuerzo Al_2O_3 o SiC en matrices de Al, se ha encontrado que los CMM obtenidos presentan un bajo coeficiente de expansión térmica (CET) [5], [8-11]. El manejo de estas propiedades es relevante a la hora de seleccionar un CMM para una aplicación en el sector eléctrico y electrónico.

2 MATERIALES COMPUESTOS DE MATRIZ METÁLICA (CMM)

Los CMM están constituidos por dos materiales disímiles; un metal o matriz y un reforzante que puede estar presente en fibras o partículas cerámicas o metálicas [3], [12]. una gran isotropía en el material.

Ambos componentes de un CMM difieren uno de otro en forma o composición a nivel macroscópico, exhibiendo una interfase en la zona de contacto [13].

Por otra parte, las propiedades termofísicas y termomecánicas que un CMM mostrará durante su desempeño (las cuales pueden ser caracterizadas), están intrínsecamente ligadas a la naturaleza de los microconstituyentes presentes en el composite y por la cinética de las transformaciones de fase de la matriz metálica que tienen lugar durante su solidificación y enfriamiento [11-14].

2.1 Matrices para cmm

Los materiales metálicos de uso más común en CMM son las aleaciones ligeras de Al, Ti y Mg; siendo el Al el de mayor consumo debido a su bajo costo, baja densidad, buenas propiedades mecánicas, alta resistencia a la degradación ambiental y fácil manipulación [4], [5], [16-18]. También se destaca el uso de aleaciones base Cu, al igual que se está investigando el uso de semiconductores, superaleaciones y compuestos intermetálicos. En la tabla 1 se listan las propiedades relativas entre distintos metales ligeros empleados habitualmente como matrices para CMM [18-19], [24].

2.2 Refuerzos usados en cmm

Los tipos de refuerzo se pueden clasificar en tres categorías: fibras, *whiskers* y partículas. Desde el punto de vista de propiedades mecánicas, se puede obtener una gran mejora mediante el uso de fibras continuas, reforzando en la dirección del esfuerzo aplicado; mientras que con *whiskers* y partículas se experimenta una disminución de resistencia pero se obtiene

En la tabla 2 se puede comparar el efecto que tienen los distintos tipos de refuerzo sobre las propiedades de una matriz [18], [24]. A continuación se revisan diferentes tipos de refuerzos.

TABLA 1. Propiedades relativas entre diferentes materiales ligeros empleados como matriz en composites
TABLE 1. Comparative properties between different light materials used as matrix in composites

PROPIEDADES	MATERIALES		
	Aluminio	**Magnesio**	**Titanio**
Punto de fusion (ºC)	660	650	1.660
Densidad (g/cm^3)	2,7	1,7	4,5
Conductividad Elect. (%IACS)	64	38	4
Resistividad Eléctr. (μΩcm)	2,67	4,2	42
Conductividad térmica (0-100ºC)	237	156	21,9
Coeficiente de expansión lineal (x10^{-6}K^{-1})	23,5	26	8,9
Dureza (HV)	Duro= 21 Blando= 35-48	Duro= 30-35 Blando= 35-45	Recocido= 60
Coeficiente de Poisson	0,345	0,291	0,361
Resistencia a la tracción (MPa)	Duro= 50-90 Blando= 130-195	Duro= 185 Blando= 232	Recocido= 230-460
Límite elástico (MPa)	Duro= 10-35 Blando= 110-170	Duro= 69 Blando= 100	Recocido= 140-250
Módulo Elástico (GPa)	70,6	44,7	120,2

TABLA 2. Comparativo entre propiedades de composites reforzados con fibras continuas y con whiskers
TABLE 2. Comparative properties between continuous fiber and whiskers reinforced composites

FIBRAS	MATRIZ	DENSIDAD	MODULO (GPa)		RESISTENCIA TENSIL (MPa)	
Fibras Continuas			Long.	Transv.	Long.	Transv.
Carbono de alto módulo	Al	2,33	235	----	550	70
SiC (Nicalon)	Al	2,63	135	77	780	140
α-Alumina (Dupont)	Al-Li-T6	3,20	230	150	600	46
Boro	6061-T6	2,7	225	130	1400	100
SiC (CVD)	Al	3,10	235	---	1200	---
Whiskers						
SiC	6061-T6	2,65	108	----	584	480
δ-Alumina (Saffil)	6061-T6	2,80	92		362	
SiC	2124-T6	2,67	103.4		638	

a. *Fibras Continuas:* En el caso de las fibras metálicas, los problemas de ataque químico por parte de la matriz, los posibles cambios estructurales con la temperaturaza, la posible disolución de la fibra en la matriz y la relativamente fácil oxidación de las fibras de metales refractarios (W, Mo, Nb), hacen que éste tipo de fibras sean poco empleadas. Esto ha dado pie al enorme desarrollo de las fibras cerámicas, siendo las más empleadas como refuerzo las de B, Al_2O_3 y SiC, y que entre sus numerosas ventajas se cuentan: no se disuelven en la matriz, mantienen su resistencia a altas temperaturas, tienen alto módulo de elasticidad, no se oxidan y tienen baja densidad [16].

b. *Partículas:* El uso de partículas como material reforzante, tiene una mayor acogida en los CMM, ya que asocian menores costos y permiten obtener una mayor isotropía de propiedades en el producto. Sin embargo, para tener éxito en

el CMM desarrollado, se debe tener un estricto control del tamaño y la pureza de las partículas utilizadas. Los refuerzos típicos de mayor uso en forma de partícula son los carburos (TiC, B_4C), los óxidos (SiO_2, TiO_2, ZrO_2, MgO), la mica y el nitruro de silicio (Si_3N_4). En los últimos años se han empezado a utilizar partículas de refuerzo de compuestos intermetálicos, principalmente de los sistemas Ni-Al y Fe-Al [5], [16].

c. *Fibras discontinuas*: Las fibras discontinuas utilizadas normalmente para la producción de CMM son comercializadas en diferentes diámetros (entre 3 y 5 μm). El uso de éste tipo de fibras conduce a propiedades inferiores que las fibras continuas, por lo que su costo se reduce. Los *whiskers* tienen diámetros menores a 1 μm y pueden tener una longitud de hasta 100 μm, por lo que pueden considerarse como refuerzos discontinuos. Los principales tipos de *whiskers* disponibles en el mercado son los de SiC y Si_3N_4. Aunque este tipo de refuerzo ha sido de uso frecuente, su utilización se ha visto restringida en algunos países a causa de su carácter nocivo para la salud humana [16], [24].

2.3 Interfase matriz-refuerzo

La zona de interfase es una región de composición química variable, donde tiene lugar la unión entre la matriz y el refuerzo, que asegura la transferencia de las cargas aplicadas entre ambos y condiciona las propiedades mecánicas finales de los composites [12].
Existen algunas cualidades necesarias para garantizar una unión interfacial adecuada entre la matriz y el reforzante: una buena mojabilidad del reforzante por parte de la matriz metálica, que asegure un contacto inicial para luego, en el mejor de los casos, generar la unión en la interfase una estabilidad termodinámica apropiada (ya que al interactuar estos materiales, la excesiva reactividad es uno de los mayores inconvenientes encontrados), la existencia de fuerzas de unión suficientes que garanticen la transmisión de esfuerzos de la matriz al refuerzo y que sean además estables en el tiempo bajo altas temperaturas. En el sector eléctrico y electrónico, se debe tener en cuenta que los CET de la matriz y de los refuerzos deben ser similares para limitar los efectos de los esfuerzos internos a través de la interfase, sobre todo al utilizar el compuesto a altas temperaturas [8], [18].

2.4 CMM: propiedades y comportamiento

Bajo condiciones ideales, el composite muestra un límite superior de propiedades mecánicas y físicas definido generalmente por la regla de las mezclas. Es posible sintetizar composites con una combinación de propiedades específicas de la aleación (tenacidad, conductividad eléctrica y térmica, resistencia a la temperatura, estabilidad ambiental, procesabilidad) con las propiedades específicas de los cerámicos reforzantes (dureza, alto módulo de Young, bajo coeficiente de expansión térmica). Es así como por ejemplo, un composite AlCuMgAg/SiC/60p muestra una mejora de cada una de sus propiedades, tanto mecánicas como térmicas al compararlo con la aleación base [2]. De igual modo, se han conformado CMM tipo A356/SiC/30-40, para la obtención de piezas que requieren alta transferencia de calor y alta tenacidad con baja densidad [20].

2.4.1 Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas que exhiben los CMM son consideradas superiores con respecto a los materiales que los componen de manera individual. Dicho aumento en propiedades, depende de la morfología, la fracción en volumen, el tamaño y la distribución del refuerzo en la aleación base. Además dichos factores controlan la plasticidad y los esfuerzos térmicos residuales de la matriz [16], [18], [21].

2.4.2 Propiedades térmicas

Las propiedades térmicas fundamentales a considerar en los CMM son el CET y la conductividad térmica (CT) Dependiendo de la fracción de volumen de refuerzo, su morfología y su distribución en la aleación base, se obtienen diferentes valores de ambas propiedades. Ambos pueden ser modificados por el estado de precipitación de la matriz y por el tipo de aleación de la

matriz. Es así como el CET de las aleaciones de titanio es muy similar a algunos tipos de fibras reforzantes, lo cual se considera una ventaja ya que se disminuyen los esfuerzos residuales debido a la diferencia térmica entre las fibras y la matriz [18].

Algunos investigadores conciben que en la medida en que la CT de la aleación matriz se vea disminuida con la introducción de partículas cerámicas, esto puede verse compensado si la fase cerámica que se usa como refuerzo es conductora [16], [22-23].

3 APLICACIONES DE LOS CMM EN EL SECTOR ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO

El control de la CT y del CET, permite el uso de los CMM para la fabricación de conectores eléctricos, substratos, materiales de paquetes electrónicos, placas de batería y alambres superconductores. En los últimos años, los esfuerzos se han concentrado el desarrollo de CMM reforzados con partículas, las cuales son más baratas que los refuerzos con fibra. Comúnmente, se utilizan el SiC y otras partículas cerámicas como Al_2O_3 [18].
Una aplicación de éste tipo de composite la constituye el AlSi/SiC/70 para la fabricación de módulos IGBT (Insolated Gate Bipolar Transistor) [2]. La incorporación de partículas en una matriz de Al en una fracción de volumen por encima del 70%, permite obtener como resultado un material con un bajo CET y muy alta CT, considerándose útil en aplicación de paquetes semiconductores donde la disipación de calor generado es una consideración importante para el material seleccionado [18].

3.1 Industria Eléctrica

Las aplicaciones más sobresalientes en este sector son los materiales para transformadores, conectores eléctricos, alambres superconductores, soportes de contactos eléctricos y partes de interruptores, entre otros. En la tabla 3, se listan algunas aplicaciones en el sector eléctrico de CMM con refuerzo discontinuo y a continuación se mencionan algunos avances en este sector.

3.1.1 Composites base cobre reforzados por dispersión de óxidos (DOS)

El reforzamiento por dispersión de óxidos de matrices de Cu es un método muy efectivo utilizado para la resistencia mecánica a alta temperatura del cobre sin reducir significativamente su conductividad eléctrica y térmica. El Cu reforzado por dispersión ha mostrado que mantiene sus propiedades; principalmente la resistencia mecánica cuando se sostiene a altas temperaturas, lo cual es importante en aplicaciones eléctricas a temperaturas elevadas. El Cu reforzado por dispersión con un 3 % de Al_2O_3 mantiene la conductividad por encima de 80% IACS y su resistencia mecánica se incrementa de 300 MPa a 500 MPa. Las dispersiones más utilizadas son Al_2O_3, ZrO_2, Cr_2O_3 y ThO_2. Las aplicaciones típicas de los ODS en matriz de cobre son electrodos para soldadura por resistencia, alambres de plomo, conmutadores para motores de arranque de helicóptero, hojas de relés y soportes de contacto eléctrico [24].

TABLA 3. Aplicaciones de los MMCs con refuerzo discontinuo en el sector eléctrico
TABLE 3. Applications of discontinue reinforced MMCs in electric industries

APLICACIÓN EN SECTOR ELÉCTRICO	REQUERIMIENTOS EN PROPIEDADES	SISTEMAS CON POSIBILIDAD DE APLICACIÓN
Contactos para baja tensión	Conductividad eléctrica, resistencia al desgaste, resistencia a los arcos eléctricos	Cu-Ni/$(Gr)_p$, Cu/$(Gr)_p$, Ag/$(Gr)_p$, Ag-Cu/$(Gr)_p$, Cu/$(mica)_p$
Seccionadores de distribución de energía y contactos para media tensión	Conductividad eléctrica, resistencia al desgaste, resistencia a los arcos eléctricos, resistencia en temperatura, longevidad	Cu_s/$(SiC+Gr)_p$
Seccionadores y cables eléctricos de distribución de energía de alta tensión	Conductividad eléctrica y térmica, resistencia al desgaste, resistencia a los arcos eléctricos, resistencia en temperatura, longevidad, densidad	Cu_s/$(SiC+Gr)_p$, Cu_s/$(Gr)_f$
Escobillas para motores	Conductividad eléctrica, resistencia al desgaste	Cu/(Gr)p

3.1.2 Alambres para la conducción de energía eléctrica

Los superconductores han mostrado gran potencial para el uso en cables de transmisión de potencia, cables de comunicación y aplicaciones en el campo magnético en los generadores superconductores. Sin embargo, su uso prácticamente ha sido limitado debido a la fragilidad inherente de los tipos de óxidos y los intermetálicos de los superconductores, a la baja densidad de la corriente crítica, al campo magnético crítico y a pérdidas AC.

De otra parte, la compañía Electricite de France (EDF) ha puesto bajo prueba un nuevo cable conductor de energía de aluminio con núcleo en material compuesto (ACCC) diseñado por la Composite Technology Corporation (CTC). Este cable ACCC, permitirá la transmisión por encima del doble de la potencia eléctrica de las líneas convencionales [15]. Otro ejemplo de CMM para la fabricación de cables conductores de energía ésta dado por el composite Al/Nextel 610 (Al_2O_3)/45, el cual posee propiedades de resistencia a la tensión: 1200 MPa, densidad: 3.2 g/cm^3, CET: 6.6 ppm/K y conductividad eléctrica: 34 % IACS [2].

3.1.3 Materiales compuestos basados en semiconductores

Con miras a aplicaciones en el campo de la electroquímica, la fotoquímica, la fotofísica, la fotocatálisis y la fotoelectroquímica, han entrado en desarrollo CMM basados en semiconductores cuyo desempeño depende de la magnitud de la respuesta eléctrica (corriente, voltaje) o una respuesta óptica (emisión de luz luminiscente). Estos materiales compuestos tienen una variedad de aplicaciones optoelectrónicas, que incluyen dispositivos de emisión de luz y switches ópticos, los cuales pueden ser usados en dispositivos fotovoltáicos y como sensores químicos/biológicos. Estos materiales compuestos son preparados en general por métodos de electrodeposición, y la matriz metálica puede estar constituida por Ni, Pt o Zn y los reforzantes semiconductores son el TiO_2 y el CdS (para el Ni) [19].

3.2 Industria Electrónica

Los materiales para paquetes electrónicos son requeridos para soportar estructuralmente los componentes electrónicos, proveer protección de los efectos ambientales hostiles y disipar los excesos de calor generados por los componentes electrónicos. Las propiedades mecánicas, físicas y térmicas de mayor importancia en éste tipo de aplicaciones incluyen alta rigidez, una alta CT, muy bajo CET y muy baja densidad [16], [25].

Una aplicación específica está dada por el uso de Al/SiC para semiconductores de potencia en comunicación satelital, como empaques térmicos de dispositivos microondas, en placas de base cerámicas de componentes electrónicos, en el control térmico de estaciones base de teléfonos celulares, de computadores laptop y de componentes para locomotoras eléctricas [15]. En la tabla 4 se listan algunas aplicaciones de los composites de matriz metálica en el sector electrónico y a continuación se dan algunos ejemplos del desarrollo de los CMM utilizados en este sector.

TABLA 4. Aplicaciones de los MMCs con refuerzo discontinuo en el sector electrónico
TABLE 4. Applications of discontinue reinforced MMCs in electronic industries

APLICACIÓN EN SECTOR ELECTRÓNICO	REQUERIMIENTOS EN PROPIEDADES	SISTEMAS CON POSIBILIDAD DE APLICACIÓN
Portador de microondas, encapsulado multichip	Conductividad eléctrica, Conductividad térmica, rigidez, permeabilidad relativa	$Al/(SiC)_p$
Encapsulado de microondas	Conductividad eléctrica, Conductividad térmica, rigidez, permeabilidad relativa	$Al/(SiC)_p$, Al/(Gr)p
Circuitos impresos	Conductividad térmica, rigidez, amortiguación, peso	$Al/(SiC)_p$, $Cu_s/(Gr)_w$
Disipadores de calor de circuitos impresos de baja corriente	Conductividad térmica, rigidez, amortiguación, peso	$Al/(SiC)_p$
Guías de circuitos impresos de subescalas electrónicas	Conductividad eléctrica y térmica, rigidez, resistencia a la rotura, permeabilidad relativa, peso	$Al/(SiC)_p$
Elementos estructurales	Rigidez, resistencia a la rotura, peso	$Al/(SiC)_p$

3.2.1 CMM para paquetes electrónicos

El calor es uno de los principales enemigos de todo aparato electrónico, por lo que se requiere su eliminación o disipación del sistema en la mayor medida posible. Los disipadores de calor son usados extensamente en la electrónica y han llegado a ser casi esenciales en equipos informáticos como en las unidades de procesamiento y en sistemas electrónicos de uso en aeronaves [24].

Muchos de los carburos, nitruros y óxidos de refuerzo tienen un CTE extremadamente bajo que, cuando es combinado con aluminio o magnesio; provee un material con un bajo CTE y una alta CT. En la actualidad, dentro de los CMM para aplicaciones electrónicas, se muestra que el Al y el Cu reforzado con fibras de C de alta CT son usados como disipadores de calor, y el Al reforzado con partículas de SiC son los composites más ampliamente utilizados para sustratos electrónicos [14].

El uso de los CMM en los paquetes electrónicos ha ido incrementando especialmente en la aviación, donde los altos costos pueden ser justificados por el ahorro de peso. Así, un composite Al/ SiC/40 producido por técnicas P/M es 65% más liviano que la misma pieza fabricada de Kovar. Las series de composites de aluminio reforzados con alta fracción de volumen de SiC (> 60%) desarrollados por Lanxide por su proceso PRIMEX, son típicos ejemplos de CMM útiles para aplicaciones en la industria electrónica.

3.2.2 Composites de matriz de cobre con refuerzo cerámico

Motivados por la reducción de peso y el aumento de fiabilidad del sector aeroespacial, durante los últimos años se han detectado las ventajas de los compuestos de matriz de Cu que pueden ofrecerse en numerosas aplicaciones, especialmente en las relacionadas con la disipación del calor en el equipo electrónico a bordo [26]. En este caso, es posible es el uso de un CMM de Cu con excelente CT con fibras de SiC, mejorando de ésta

manera la resistencia mecánica a alta temperatura [27]. También es posible el uso de MMC de Al/SiC/20-70, mejorando de está manera con una reducción de un 80% en peso con respecto a composites Cu/W/65 [15].
Las estructuras especialmente críticas, donde lo normal es que fallen por fatiga térmica debido a la diferencia CET, son: las estructuras ópticas, las antenas, los radiadores e intercambiadores de calor, los soportes de circuitos con exposición térmica controlada y los disipadores de calor colocados en satélites y telescopios que por costo e inaccesibilidad exigen compuestos fiables y duraderos. Esto llevó al desarrollo de un CMM de matriz de Cu con refuerzo continuo de fibras de C, Nb, SiC y monofilamentos de W. El proceso de fabricación comúnmente ha sido la unión por difusión dando como resultado un material de buenas prestaciones, pero de un alto costo.
El procesamiento de composites con refuerzo discontinuo, generalmente se hace por PM. Particularmente, en la ex Unión Soviética han sido patentados procesos por PM para productos Cu/grafito$_{(p)}$ para aplicación en contactores eléctricos. En los Estados Unidos (Metcer Technology) se han desarrollado composites de Cu/W$_{(p)}$ por PM para obtener alta resistencia mecánica sin ceder en CT para ser utilizados en soportes de circuitos electrónicos. Actualmente, en algunas universidades de EEUU, Corea, España y Francia, se encuentran en estudio composites obtenidos por fundición de matriz de Cu con refuerzos discontinuos (Al_2O_3, SiC, grafito) debido al atractivo económico que estos presentan.

2.2.3 Composites de bajo CET y alta CT

La industria de la microelectrónica y de tableros de circuitos impresos cada día es de mayor exigencia por la alta densidad que desean en paquetes de *chips* y donde la necesidad esta dada por materiales que mejoran el control térmico. Si la disipación del calor y la expansión térmica no son direccionadas apropiadamente, la trayectoria de calor entre los materiales ensamblados en una tarjeta electrónica puede conducir a altos esfuerzos de corte interfaciales y a la falla prematura del componente. Existe una amplia variedad de composites con bajo CET y alta CT disponibles, pero muchos de estos tienen altos costos de fabricación o propiedades anisotrópicas. [25].

En cuanto a una aplicación específica, se tiene el mástil de la guía de ondas de la antena del telescopio espacial Hubble fabricada en MMC 6061/C/40 mediante técnica de infiltración, no solo se constituye en el soporte estructural de la antena, sino que además permite guiar las ondas por radio señal entre la aeronave y la antena [15].

Las aleaciones de Cu se consideran materiales versátiles en aplicaciones donde se requiere alta CT, sin embargo; la disminución de la resistencia mecánica a alta temperatura y su gran expansión térmica son aspectos desventajosos de este material [28]. Es por esto que el Cu reforzado con fibras de SiC da lugar a una combinación tanto de alta CT como resistencia mecánica aún superiores a las proporcionadas por los composites base aluminio [29].

4 CONCLUSIÓN

Los materiales de matriz metálica están en una situación industrial de florecimiento y con mayores expectativas para el futuro cercano en los diversos campos de aplicación, entre ellos los sectores eléctrico y electrónico. Se espera entonces, un gran avance en estos sectores y un desarrollo de estos composites tal que se genere un crecimiento ascendente en su utilización.

Teniendo en cuenta las propiedades térmicas y eléctricas principales requeridas por los materiales para uso en la industria eléctrica y electrónica, se destaca el uso de composites en matriz de aluminio y en matriz de cobre como los de mayor avance en los sectores eléctrico y electrónico, los cuales pueden obtenerse mediante técnicas de conformado no muy costosas y con posible producción en serie. Se puede pronosticar un futuro prometedor para estas familias de composites, pues la industria se

ha concentrado en la obtención de CMM a bajo costo pero de igual manera para un alto rendimiento.

REFERENCIAS

[1] XU Zhiwu, et al. Thermal expansion behavior and performance of VLP diffusion-bonded joints of SiCp/A356 composites. Composites Science and Technology, 65, 1461–1467, 2005.

[2] BEFFORT, Oliver. Metal Matrix Composites (MMCs) Properties, Applications and Machining. EMPA. Available: http: www.empathun.ch. [citado 16 de julio de 2002]

[3] MORTENSEN, Andreas. Metal Matrix Composites in Industry: an Overview. Proceedings: MMC VIII conference, London - November, 2001.

[4] AHMAD, Zaki. Mechanical Behavior And Fabrication Characteristics Of Aluminum Metal Matrix Composite Alloys, Journal Of Reinforced Plastics And Composites, Vol. 20, No. 11. 921-944, 2001.

[5] SAHIN, Y. and ACILAR, M. Production and properties of SiCp-reinforced aluminium alloy composites. Composites: Part A 34, 709–718, 2003.

[6] SAHIN, Y. Preparation and some properties of SiC particle reinforced aluminium alloy composites. Materials and Design, 24, 671–679, 2003.

[7] NAHER, S., BRABAZON, D. and LOONEY, L. Development and assessment of a new quick quench stir caster design for the production of metal matrix composites. Journal of Materials Processing Technology, 166, 430–439, 2004.

[8] BRIAN, Ralph, YUEN, H.C. and LEE, W.B. The Processing of metal matrix composites: An overview. Journal of Materials Processing Technology, 63, 339-353, 1997.

[9] BEFFORT, Olivier. Metal matrix composites: from space to earth. Available: http://www.empa.ch/abt_126. [citado 16 de julio de 2002]

[10] RALF, B.; YUEN, H. C. and LEE, W.B. The processing of metal matrix composites: an overview. Journal of Materials Processing Technology, 63, 339 – 353, 1997.

[11] BAEZ, J.C., et al. Fourier thermal analysis of the solidification kinetics in A356/SiCp cast composites. Journal of Materials Processing Technology 153–154, 531–536, 2004.

[12] DUEÑAS Castillo, et al. Estudio de la Mojabilidad en Materiales Compuestos de Matriz Metálica. Memorias Jornadas de Investigación 1999-2000. Tomo 2, UPB, Medellín, 20001.

[13] ENGINEERED MATERIALS HANDBOOK. COMPOSITES. ASM International, Volume 1. USA. 1987

[14] KORB, G. and Neubauer, E. Thermophysical properties of metal matrix composites. MMC ASSESS EU Network. Vol. 7, 2001. Available: http://mmc-assess.tuwien.ac.at/. [citado 20 julio de 2002]

[15] REQUENA, G. Applications of metal matrix composites. MMC-Assess 2004. Available http://mmc-assess.tuwien.ac.at/3index.htm. [citado 20 julio de 2002]

[16] DA COSTA, Cesar, VELASCO L., Francisco y TORRALBA C., Jose M. Materiales compuestos de matriz metálica. Parte I: Tipos, propiedades, aplicaciones. Revista de Metalurgia, 36, Nº03, 179-192, 2000.

[17] ESTREMS A., Manuel; FAURA M., Félix and FROYEN, Ludo. Fabrication and tribological properties of Al reinforced with carbon fibres. Revista Metalurgia de Madrid, 36, 375 – 384, 2000.

[18] MALLICK, P.K. Composites Engineering Handbook, Marcel Dekker, EEUU, 1997.

[19] RAJESHWAR, K.; DE TACCONI, N. R. and CHENTHAMARAKSHAN, C. R. Semiconductor – based composite materials: preparation, properties and performance. Chemistry of Materials, 9, No. 13, 2765 – 2782, 2001.

[20] CAST METAL MATRIX COMPOSITES, Hitchiner Manufacturing Co. Inc. Technical Update 3D6. Available: http://www.hitchiner.com/. [citado 20 julio de 2002]

[21] MERLE, P. Termal treatments of age-hardenable metal-matrix composites. MMC Asses – Thematic Network. Vol. 2. p. 24.
[22] HARRIS, S. J., Cast Metal Matrix Composites, Materials Science and Technology, Vol. 4, 231-239, 1988.
[23] VALENCIA, M., et al. Obtención de SiC-b a partir de la cascarilla de arroz colombiana, Memorias IBEROMET VIII. Quito, 270-277, 2004
[24] SURESH, Subra, Mortensen, Andreas And Needleman, Alan. Fundamentals of Metal-Matrix Composites, Butterworth-Heinemann, EEUU. 1993.
[25] STOLK, J. and MANTHIRAM, A. Chemical Synthesis and characterization of low thermal expansion-high conductivity Cu-Mo and Ag-Mo Composites, Metallurgical and Materials Transactions A, Vol. 31A, 2396-2398, 2000.
[26] GARCÍA R., A. y GOÑI A., J. Composites de matriz de cobre con refuerzo cerámico. Memorias Congreso de Materiales Compuestos 95. Madrid, 145 – 151, 1995.
[27] BRENDEL, A., et al. SiC-fibre reinforced copper as heat sink material for fusion applications. Journal of Nuclear Materials. Vol. 329-333, No. 1-3 PART A, 804-808, 2004
[28] YOU J.H. and BOLT, H. Prediction of plastic deformation of fiber-reinforced copper matrix composites. Journal of Nuclear Materials 307-311, p. 74 .78, 2002.
[29] FOLTZ, John V. and BLACKMON, Charles M.: Metal Matrix Composites; Advanced Materials and Process Vol. 12, 19-23, 1998.