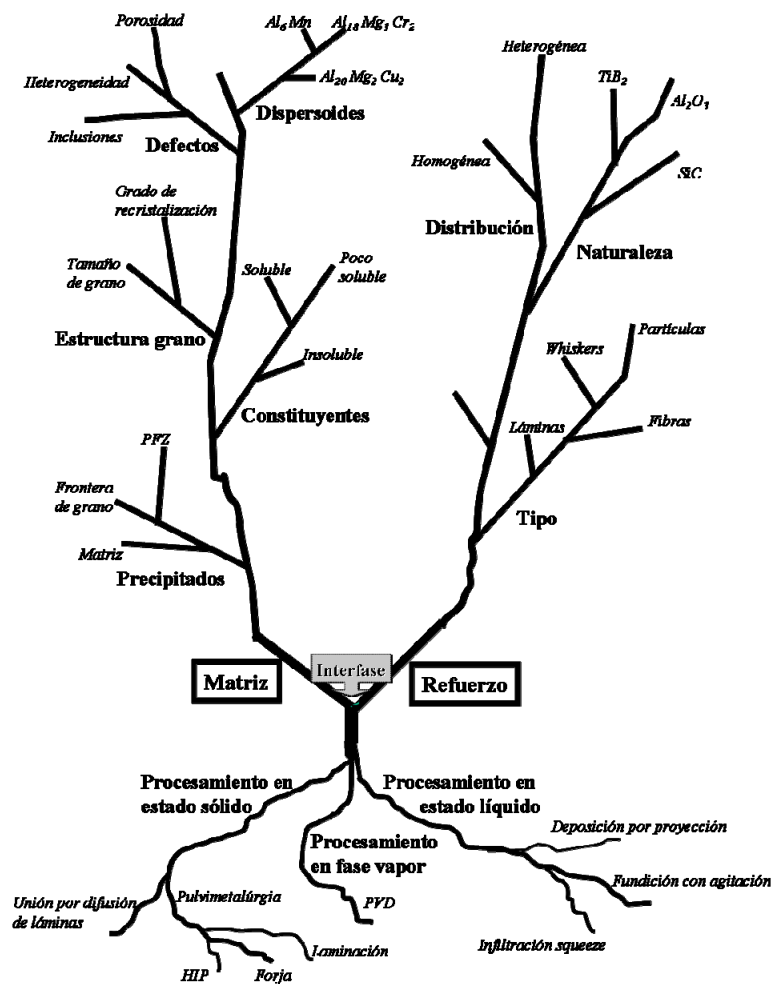


ADVERTIMENT. La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del servei TDX (www.tesisenxarxa.net) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual únicament per a usos privats emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei TDX. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

ADVERTENCIA. La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del servicio TDR (www.tesisenred.net) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual únicamente para usos privados enmarcados en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio TDR. No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

WARNING. On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the TDX (www.tesisenxarxa.net) service has been authorized by the titular of the intellectual property rights only for private uses placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized neither its spreading and availability from a site foreign to the TDX service. Introducing its content in a window or frame foreign to the TDX service is not authorized (framing). This rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author

EFFECTO DE LA MICROESTRUCTURA EN LAS PROPIEDADES DE MATERIALES COMPUESTOS BASE ALUMINIO



Enrique Martín Fuentes

TESIS DOCTORAL

EFECTO DE LA MICROESTRUCTURA EN LAS PROPIEDADES DE MATERIALES COMPUESTOS BASE ALUMINIO

Enrique Martín Fuentes

Memoria de Tesis presentada para optar
al grado de Doctor en Ingeniería
por la Universitat Politècnica de Catalunya.

Dirigida por el Dr. Antonio Forn Alonso

Departamento de Ciencia de los Materiales e Ingeniería
Metalúrgica
Centro de Diseño de Aleaciones Ligeras y Tratamientos de
Superficie
Escuela Politécnica Superior de Ingeniería de Vilanova i la Geltrú
Universitat Politècnica de Catalunya

Septiembre de 2007



Departament de Ciència dels
Materials i Enginyeria Metal·lúrgica

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA



Capítulo 6

CONCLUSIONES GENERALES

6.1. CONCLUSIONES

- 1 La conformación de materiales reforzados con SiC, por pulvimetalurgia y forja, permite obtener componentes con mayor integridad estructural y homogeneidad que mediante procesos de moldeo. Sin embargo, estos últimos son más económicos, y pueden ser una alternativa si se reduce la porosidad.
- 2 La incorporación de partículas de SiC a las aleaciones de aluminio acelera los procesos de envejecimiento y afina la microestructura. Este último efecto es más evidente en los productos moldeados.
- 3 La adición de partículas de refuerzo a las aleaciones de aluminio incrementa la resistencia a la tracción y el módulo elástico, disminuyendo la ductilidad. Este incremento es mayor cuanto más homogénea sea la distribución del refuerzo, y se justifica por el incremento de la densidad de dislocaciones en la matriz y el mecanismo de transferencia de carga.
- 4 La capacidad de endurecimiento por deformación es menor en los materiales compuestos que en las aleaciones no reforzadas, en todas las etapas de la deformación.
- 5 Los mecanismos de transferencia de carga y la capacidad de endurecimiento por deformación disminuyen al aumentar la temperatura. Esto produce una disminución más lenta de la resistencia mecánica al aumentar la temperatura que en el caso de las aleaciones no reforzadas.
- 6 Para el material A2124/SiC/17p el tratamiento T4 proporciona mejores características mecánicas que el tratamiento T6. Ello se justifica por diferentes fenómenos: relajación de tensiones por deslizamiento en bordes de grano en materiales de grano pequeño, mayor capacidad de endurecimiento por envejecimiento de la matriz en estado T4 frente al estado T6, y menor velocidad de incremento de daño por deformación.

- 7** La resistencia a fatiga de los materiales compuestos aumenta con respecto a las aleaciones monolíticas. Se justifica en régimen de fatiga: a elevado número de ciclos por el incremento del módulo elástico, y a bajo número de ciclos por el incremento de la resistencia mecánica.

- 8** Los mecanismos de daño para los materiales reforzados con partículas pequeñas han sido: fractura dúctil de la matriz y decohesión matriz-refuerzo. Sin embargo, para materiales reforzados con partículas grandes y porosidad abundante son: fractura de partículas y fractura frágil de la matriz. El incremento de la resistencia de la matriz aumenta la probabilidad de fractura en las partículas de refuerzo.

- 9** Las constantes y los exponentes de la ecuación de Paris para los materiales estudiados indican que los materiales reforzados tienen una mayor resistencia a la nucleación de grietas, y una mayor velocidad de crecimiento de las mismas.

- 10** La resistencia a fatiga de los materiales de fundición está controlada por la velocidad de propagación de grietas, generadas rápidamente en la porosidad existente. En los materiales sinterizados y forjados el control depende de la velocidad de nucleación de grietas, en los aglomerados de partículas de refuerzo o en los precipitados intermetálicos.

- 11** Una distribución irregular de las partículas de refuerzo disminuye la velocidad de propagación de grietas de fatiga al incrementar la rugosidad de la superficie de fractura. Un refuerzo de tamaño pequeño aumenta la resistencia a la fatiga mediante el mecanismo de puenteo de grietas.

- 12** La incorporación de partículas de SiC a las aleaciones de aluminio aumenta la resistencia al desgaste y el coeficiente de fricción de estos materiales. El aumento es proporcional a la dureza del material.

- 13** El mecanismo principal de desgaste para las aleaciones no reforzadas es el de desgaste adhesivo, mientras que para los materiales compuestos es el de desgaste abrasivo. Partículas de refuerzo pequeñas y/o distribuidas de forma homogénea proporcionan una mayor resistencia al desgaste, haciéndose más evidente este incremento con el número de ciclos.

- 14** Los materiales estudiados presentan un potencial de picadura más noble en medio aireado que en medio desaireado, siendo la resistencia a la corrosión de los materiales compuestos inferior a la de las respectivas aleaciones no reforzadas.

- 15** En los materiales A359 y A359/SiC/20p las picaduras avanzan a través del microconstituyente eutéctico, debido a la presencia de silicio y de compuestos intermetálicos en estas regiones. En los materiales A2124 y A2124/SiC/17p el avance de las picaduras se desarrolla en torno a las partículas de SiC, debido a los compuestos intermetálicos precipitados y a las tensiones residuales en estas zonas.

- 16** Las partículas de SiC no actúan como cátodo en el proceso de corrosión. La influencia del refuerzo en la corrosión se limita a favorecer la precipitación de compuestos intermetálicos y a la generación de tensiones en las interfases matriz/refuerzo

6.2. NUEVOS PROYECTOS Y PROPUESTAS.

Este trabajo ha contribuido al desarrollo de los siguientes proyectos:

- Proyecto CICYT DPI2002-04581-C02-01: *Nuevos materiales base aluminio para moldes de inyección de plásticos*. Proyecto desarrollado en colaboración con la Fundación ASCAMM. Se ha analizado la posibilidad de utilizar estos materiales para la fabricación de moldes para la inyección de plásticos.
- Proyectos CICYT MAT2004-06716-C02-01 y CICYT MAT2004-06716-C02-02: *Nano-recubrimientos resistentes al desgaste y a la corrosión en aleaciones de aluminio*. Proyectos desarrollados en colaboración con el CENIM-CSIC. En ellos se analiza el comportamiento a la corrosión y al desgaste de estos materiales compuestos.

La presente tesis, y los proyectos mencionados, han mostrado la necesidad de proseguir la investigación en este terreno y, en concreto, se proponen los siguientes campos de actuación:

1 Comportamiento a la Corrosión:

Analizar el efecto de tratamientos de retrogresión y reenvjecimiento en la corrosión intergranular.

Realizar estudios de curvas de polarización para determinar el potencial de repasivación.

Realizar estudios combinados para determinar la resistencia a la corrosión bajo tensiones.

2 Procesos de unión:

Realizar estudios para determinar la soldabilidad de estos materiales. Incidir en los procesos de soldadura por fricción tipo *friction stir welding*.

3 *Reciclado:*

Estudiar posibles métodos para reciclar estos materiales: utilización de métodos clásicos como la fusión o la metalurgia de polvos.

4 *Refuerzos localizados:*

Analizar la utilización de los materiales compuestos en componentes híbridos, con refuerzos selectivos, introduciéndolos únicamente en las zonas del componente que así lo requiera la funcionalidad.

Capítulo 7
BIBLIOGRAFIA

7. BIBLIOGRAFÍA

- Refer. Autor/es, Título. Revista/Libro, **Vol/Ciudad**, (Año), pp.
-
- [AAI00] Ahmad, Z., Aleem, B.J.A., *Corrosión resistance of a new Al 6013-20 SiC(p) in salt spray chamber*. J.Mater.Eng.Perf., **9**, (2000), 338-343.
- [ACP94] Andreoni, L., Casé, M., Pomesano, G., *Cuaderni della colata a pressione delle leghe di alluminio: 2. Fenomeni chimico-fisici del processo di pressofusione*. Ed. Edimet Spa, **Brescia**, (1994)
- [AGB99] Al-Rubaie, K.S., Goldenstein, H., Biasoli, J.D., *Three-body abrasion of Al-SiC composites*. Wear, **225-229**, (1999), 163-173
- [Ahm01] Ahmad, Z., *Mechanical behavior and fabrication characteristics of aluminum metal matrix composites alloys*. J.Reinf.Plastics and Compos., **20(11)**, (2001), 921-943
- [AHZ02] Abbadi, M., Hähner, P., Zegloul, A., *On the characteristics of Portevin-Le Chatelier bands in aluminum alloy 5182 under stress-controlled and strain-controlled tensile testing*. Mater.Sci.Eng. A **A337**, (2002), 194-201
- [Aik97] Aikin, R.M., *The mechanical properties of in-situ composites*. JOM, **49(8)**, (1997), 35-39
- [AKT99] Angers, R., Krishnadev, M.R., Tremblay, R., Corriveau, J.-F., Dubé, D., *Characterization of SiCp/2024 aluminium alloy composites prepared by mechanical processing in a low energy ball mill*. Mater.Sci.Eng. A, **A262**, (1999), 39340
- [ALM04] Akhlaghi, F., Lajevardi, A., Maghnaki, H.H., *Effects of casting temperature on the microstructure and wear resistance of compocast A356/SiC composites*. J.Mater.Proc.Tech., **155-156**, (2004), 1874-1880
- [AMM01] Abis, S., Massazza, M., Mengucci, P., Riontino, G., *Early ageing mechanism in a high-copper AlCuMg alloy*. Scripta Mater., **45**, (2001), 685-691
- [Ans00] ANSI, *ANSI H35.1 2000: Alloy and Temper Designation Systems for Aluminum*, Aluminum Association, (2001)
- [Arc53] Archard, J.F., *Contact and Rubbing of Flat Surfaces*. J. Appl.Phys., **24(8)**, (1953), 981-988
-

- Refer. Autor/es, Título. Revista/Libro, **Vol/Ciudad**, (Año), pp.
-
- [Arr94] Arroyave, C., *La corrosión en los materiales compuestos de matriz metálica*. Rev. Metal., **30 (6)**, (1994), 365-377
- [ASM01] ASM internacional, *ASM Handbook, Volume 21, Composites*. Ed. Daniel B. Miracle and Steven L. Donaldson, **Materials Park**, (2001)
- [ASM91] ASM International, *ASM Handbook, Volume 4, Heat Treating*. ASM, **Metals Park**, (1991)
- [ASM92] ASM International, *ASM Handbook, Volume 3, Alloy Phase Diagrams*. Ed. H. Baker, **Materials Park**, (1992)
- [ASM92b] ASM International, *ASM Handbook, Volume 13, Corrosion*. ASM, **Metals Park**, (1992)
- [ASM93] ASM International, *Aluminum and Aluminum Alloys*. Ed. J.R. Davis, **Materials Park**, (1993)
- [Ast98] Asthana, R., *Processing effects on the engineering properties of cast metal-matrix composites*. Ad.Perf.Mater., **5**, (1998), 213-255
- [AWK98] Askew, J.R.; Wilde, J.F.; Khan, T.I., *Transient liquid phase bonding of 2124 aluminium metal matrix composite*. Mat.Sci.Tech, **14 (9)**, (1998), 920-924
- [AYB99] Al-Rubaie, K.S., Yoshimura, H.N., Biasoli, J.D., *Two-body abrasive wear of Al-SiC composites*. Wear, **233-235**, (1999), 444-454
- [Bai05] Baile Puig, M^a T., *Estudio de la conformación de componentes aluminio-silicio en estado semisólido*. Tesis Doctoral, **UPC**, (2005)
- [Bar00] Barrena Pérez, M^a I., *Soldadura por fusión de materiales compuestos de matriz de aluminio*. Tesis Doctoral, **UCM**, (2000)
- [BBD00] Barbucci, A., Bruzzone, G., Delucchi, M., Panizza, M., Cerisola, G., *Breakdown of passivity of aluminium alloys by intermetallic phases in neutral chloride solution*. Intermetallics, **8**, (2000), 305-312
- [BBM02] Bhanu P., V.V., Bhat, B.V.R., Mahajan, Y.R., Ramakrishnan, P., *Structure-property correlation in discontinuously reinforced aluminium matrix composites as a function of relative particle size ratio*. Mater.Sci.Eng. A, **A337**, (2002), 179-186

7. BIBLIOGRAFÍA

- Refer. Autor/es, Título. Revista/Libro, **Vol/Ciudad**, (Año), pp.
-
- [BBr98] Brandes, E.A., Brook, G.B., *Smithells Light Metals Handbook*. Butterworth-Heinemann, **Oxford**, (1998)
- [BBu04] Birbilis, N., Buchheit, R.G., *Corrosion damage accumulation on high strength Al-alloys: Some advances in understanding the role of intermetallics*. Corrosion & Materials, **29(6)**, (2004), S4-S8
- [BBu05] Birbilis, N., Buchheit, R.G., *Electrochemical Characteristics of Intermetallic Phases in Aluminum Alloys*. J. Electrochem. Soc., **152(4)**, (2005), B140-B151
- [BCC01] Bindumadhavan, P.N., Chia, T.K., Chandrasekaran, M., Wah, H.K., Lam, L.N., Prabhakar, O., *Effect of particle-porosity clusters on tribological behavior of cast aluminum alloy A356-SiCp metal matrix composites*. Mater. Sci. Eng. A, **A315**, (2001), 217-226
- [BCC05] Business Communications Co., Inc., *Metal Matrix Composites in the 21st Century: Markets and Opportunities*. Ed. BCC Research, (2005)
- [Bhu01] Bhushan, B., *Modern tribology handbook*. CRC Press LLC, **Boca Raton**, (2001)
- [BLD03] Babcsán, N., Leitmeier, D., Degischer, H.P., *Foamability of particle reinforced aluminum melt*. Mat.-wiss.u.Werkst., **34**, (2003), 22-29
- [BMc04] Bruzzi, M.S., McHugh, P.E., *Micromechanical investigation of the fatigue crack growth behaviour of Al-SiC MMCs*. Int.J.Fat., **26**, (2004), 795-804
- [BMC99] Buffière, J.-Y., Maire, E., Cloetens, P., Lormand, G., Fougères, R., *Characterization of internal damage in a MMCp using X-ray synchrotron phase contrast microtomography*. Acta Mater., **47(5)**, (1999), 1613-1625
- [BMe82] Bhansali, K.J., Mehrabian, R., *Abrasive wear of aluminum-matrix composites*. J. Metals, **34**, (1982), 30-34
- [BMO01] Bruzzi, M.S., McHugh, P.E., O'Rourke, F., Linder, T., *Micromechanical modelling of the static and cyclic loading of an Al 2124-SiC MMC*. Int.J.Plast., **17**, (2001), 565-599
-

- Refer. Autor/es, Título. Revista/Libro, **Vol/Ciudad**, (Año), pp.
-
- [BMV95] Badini, C., Marino, F., Verné, E., Guo, X.B., *Aging investigation on 2024/SiC composite and 2024 alloy*. Metall.Sci.Tech., **13(1)**, (1995), 28-38
- [BNK01] Blucher, J.T., Nasurawa, U., Katsumata, M., Nemeth, A. *Continuous manufacturing of fiber-reinforced metal matrix composite wire technology and product characteristics*. Composites Part A, **A 32**, (2001), 1759-1766
- [BOD03] Berdin, C., Ouglova, A., Djafari, V., Doglione, R., *Secondary foundry alloy damage and particle fracture*. Mater.Sci.Eng. A, **A357**, (2003), 328-336
- [BPG00] Boselli, J., Pitcher, P.D., Gregson, P.J., Sinclair, I., *Numerical modelling of particle distribution effects on fatigue in Al-SiCp composites*. Mater.Sci.Forum, **331-337**, (2000), 1433-1438
- [BPH99] Barnes, S., Pashby, I.R., Hashim, A.B., *Effect of heat treatment on the drilling performance of aluminium/SiC MMC*. Appl.Comp.Mater., **6**, (1999), 121-138
- [BPT01] Bastidas, J.M., Polo, J.L., Torres, C.L., Cano, E., *A study on the stability of AISI 316L stainless steel pitting corrosion through its transfer function*. Corr.Sci., **43**, (2001), 269-281.
- [BSH02] Barter, S.A., Sharp, P.K., Holden, G., Clark, G., *Initiation and early growth of fatigue cracks in an aerospace aluminium alloy*. Fat.Frac.Eng.Mater.Str., **25**, (2002), 111-125
- [BSJ01] Buffière, J-Y., Savelli, S., Jouneau, P.H., Maire, E., Fougères, R., *Experimental study of porosity and its relation to fatigue mechanism of model Al-Si7-Mg0.3 cast alloys*. Mater.Sci.Eng. A, **A316**, (2001), 115-126
- [BSJ02] Bengtsson B., D., Svensson, J-E., Johansson. L.-G. *Carbon dioxide; the unknown factor in the atmospheric corrosion of aluminium?. Proc. 15th International Corrosion Congress, Granada, (2002)*

7. BIBLIOGRAFÍA

- Refer. Autor/es, Título. Revista/Libro, **Vol/Ciudad**, (Año), pp.
-
- [BSN98] Berkeley, D.W., Sallam, H.E.M., Nayeb-Hashemi, H.
The effect of pH on the mechanism of corrosion and stress corrosion and degradation of mechanical properties of 6061 & nextel440 fiber-reinforced 6061 comp. Corr.Sci., **40(2/3)**, (1998), 141-153
- [BZD00] Bialo, D., Zhou, J., Duszczyc, J., *The tribological characteristics of the Al-20Si-3Cu-1Mg alloy reinforced with Al₂O₃ particles in relation to the hardness of a mating steel.* J.Mater.Sci., **35**, (2000), 5497-5501
- [Cac95] Cáceres, C.H., *On the effect of macroporosity on the tensile properties of the Al-7%Si-0,4%Mg casting alloy.* Scripta Metall.Mater., **32(11)**, (1995), 1851-1856
- [CAJ98] Chawla, N., Andres, C., Jones, J.W., Allison, J.E., *Effect of SiC volume fraction and particle size on the fatigue resistance of a 2080 Al/SiCp composite.* Metall. Mater. Trans. A, **29A (11)**, (1998), 2843-2854
- [Cay00] Cayron, C., *TEM study of interfacial reactions and precipitation mechanism in Al₂O₃ short fiber or high volume fraction SiC particle reinforced Al-4Cu-1Mg-0.5Ag squeeze*, Tesis Doctoral 2246 EPF Lausanne, (2000)
- [CCa03] Cao, X., Campbell, J., *The nucleation of Fe-rich phases on oxide films in Al-11.5Si-0.4Mg cast alloys.*, Metall. Mater.Trans. A, **34A**, (2003), 1409-1420
- [CCh00] Chen, C.-Y., Chao, C.-G., *Effect of particle-size distribution on the properties of high-volume-fraction SiCp-Al-based composites.* Metall.Mater.Trans. A, **31A**, (2000), 2351-2359
- [CFG01] Carrado, A; Fiori, F; Girardin, E; Pirling, T; Powell, P; Rustichelli, F., *Neutron diffraction measurements of residual stresses in metal matrix composite samples.* Radiat.Physics & Chem., **61(3-6)**, (2001), 575 - 577
- [Cha87] Chawla, K.K., *Composite Materials: Science and Engineering*, Springer-Verlag, **New York**, (1977)
- [CHS00] Chawla, N., Habel, U., Shen, Y.L., Andres, C., Jones, J.W., Allison, J.E., *The effect of matrix microstructure on the tensile and fatigue behavior of SiC particle-reinforced 2080 Al matrix composites.* Metall.Mater.Trans. A, **31A(2)**, (2000), 531-540
-

- Refer. Autor/es, Título. Revista/Libro, **Vol/Ciudad**, (Año), pp.
-
- [CJG95] Coverdale, R.T., Jennings, H.M., Garboczi, E.J., *An improved model for simulating impedance spectroscopy*. Comput. Mater. Sci., **3**, (1995), 465-474
- [CLa04] Chakrabarti, D.J., Laughlin, D.E., *Phase relation and precipitation in Al-Mg-Si alloys with Cu additions*. Prog. Mater. Sci., **49**, (2004), 389-410
- [Cly89] Clyne, T.W., *A simple development of the shear lag theory appropriate for composites with a relatively small modulus mismatch*. Mater. Sci. Eng. A, **A122(2)**, (1989), 183-192.
- [CMB05] Connoley, T., McHugh, P.E., Bruzzi, M., *A review of deformation and fatigue of metals at small size scales*. Fat. Frac. Eng. Mater. Str., **28**, (2005), 1119-1152.
- [CNS89] Christman, T., Needleman, A., Suresh, S., *An experimental and numerical study of deformation in metal-ceramic composites*. Acta Metall., **37**, (1989), 3029-3050
- [Con96] Conde del Campo, A., *Estudio electroquímico del proceso de corrosión de las aleaciones Al-Li de interés aeroespacial*. Tesis Doctoral, **CENIM**, (1996)
- [CÖn96] Cöcen, Ü., Önel, K., *The production of Al-Si alloy-SiCp composites via compocasting: some microstructural aspects*. Mater. Sci. Eng. A, **A221**, (1996), 187-191.
- [COO97] Cöcen, Ü., Önel, K., Özdemir, I., *Microstructures and age hardenability of Al-5%Si-0.2%Mg based composites reinforced with particulate SiC*. Comp. Sci. Tech., **57**, (1997), 801-808.
- [CSe96] Cáceres, C.H., Selling B.I., *Casting defects and the tensile properties of an Al-Si-Mg alloy*. Mater. Sci. Eng. A, **A220**, (1996), 109-116
- [CTM01] Chen, Z.Z., Tokaji, K., Minagi, A., *Particle size dependence of fatigue crack propagation in SiC particulate-reinforced aluminium alloy composites*. J. Mater. Sci., **36**, (2001), 4893-4902.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Refer. Autor/es, Título. Revista/Libro, **Vol/Ciudad**, (Año), pp.
-
- [CWS02] Chawla, N., Williams, J.J., Saha, R., *Mechanical behavior and microstructure characterization of sinter-forged SiC particle reinforced aluminum matrix composites*. J. Light Metals, **2**, (2002), 215-227.
- [Dav99] Davis, J.R., *Corrosion of aluminum and aluminum alloys*. ASM International, **Materials Park, OH**, (1999).
- [DBG99] Derrien, K., Baptiste, D., Guedra-Degeorges, D., Foulquier, J., *Multiscale modeling of the damaged plastic behavior and failure of Al/SiCp composites*. J. Mater. Eng. Perf., **15**, (1999), 667-685.
- [DGG00] Ducret, D., Guerjouma, R. El, Guy, P., R'Mili, M., Baboux, J.C., Merle, P., *Characterisation of anisotropic elastic constants of continuous alumina fibre reinforced aluminium matrix composites processed by pressure infiltration*. Composites Part A, **A 31**, (2000), 45-55.
- [DGS97] Deuis, R.L., Green, L., Subramanian, C., Yellup, J.M. *Influence of the reinforcement phase on the corrosion of aluminium composite coating*. J. Mater. Sci. Let., **16**, (1997), 440-444.
- [DGT06] Dikici, B., Gavali, M., Tekmen, C., *Corrosion behavior of an artificially aged (T6) Al-Si-Mg-based metal matrix composite*. J. Compos. Mater., **40(14)**, (2006), 1259-1269.
- [DHi05] Ding, H., Hihara, L.H., *Localized Corrosion Currents and pH Profile over B4C, SiC, and Al2O3 Reinforced 6092 Aluminum Composite*. J. Electrochem. Soc., **152(4)**, (2005), B161-B167.
- [Die86] Dieter, G.E., *Mechanical Metallurgy*, Ed. McGraw-Hill, **New York**, (1986).
- [DKK98] Dlubek, G., Krause, H., Krause, S., Unger, R., Heyroth, W., *Positron lifetime studies of descomposition in engineering and laboratory 2024 (Al-Cu-Mg) and 7075 (Al-Zn-Cu-Mg) alloys.*, Phys. Stat. Sol., **169**, (1998), 39427.
- [DLa00] Del Castillo, L., Lavernia, E.J., *Microstructure and mechanical behavior of spray-deposited Al-Cu-Mg(-Mg-Mn) alloys*. Metall. Mater. Trans. A, **31A**, (2000), 2287-2298.
-

- Refer. Autor/es, Título. Revista/Libro, **Vol/Ciudad**, (Año), pp.
-
- [DMD01] Das, S., Mondal, D.P., Dixit, G., *Correlation of abrasive wear with microstructure and mechanical properties of pressure die-cast aluminum hard-particle composite*. Metall. Mater. Trans. A, **32A**, (2001), 633-642.
- [DMS02] Das, S., Mondal, D.P., Sawla, S., Dixit, S., *High stress abrasive wear mechanism of LM13-SiC composite under varying experimental conditions*. Metall. Mater. Trans. A, **33A**, (2002), 3031-3044.
- [Dod99] Department of Defense, *Composite Materials Handbook. Volume 4. Metal Matrix Composites. MIL-HDBK-17-4*, Ed. Department of Defense, **Philadelphia**, (1999).
- [DPS03] Deryugin, Y.Y., Panin, V.E., Schmauder, S., Soppa, E. *The effects of macrolocalization of deformation in Al-based composites with Al₂O₃ inclusions*. Fat. Fract. Eng. Mater. Str., **26**, (2003), 295-304.
- [DSu97] Dutta, B., Surappa, M.K., *Microstructure evolution during multidirectional solidification of Al-Cu-SiC composites*. Composites Part A, **29A**, (1997), 565-573.
- [Dut95] Dutta, I., *Creep and thermal cycling of continuous fiber reinforced metal-matrix composites*. Key Eng. Mater., **104-107**, (1995), 673-690.
- [DVT02] Da Costa, C.E., Velasco, F., Torralba, J.M., *Mechanical, intergranular corrosion, and wear behavior of aluminum-matrix composite materials reinforced with nickel aluminides*. Metall. Mater. Trans. A, **33A**, (2002), 3541-3553.
- [DWA05] Dobrzanski, L.A., Włodarczyk, A., Adamiak, M., *Structure, properties and corrosion resistance of PM composite materials based on EN AW-2124 aluminum alloy reinforced with the Al₂O₃ ceramic particles*. J. Mater. Proc. Tech., **162-163**, (2005), 27-32.
- [DWS99] Dorner, A., Wielage, B., Schürer, C., *Improvement of the corrosion resistance of C/Al-composites by diamond-like carbon coatings*. Thin Solid Films, **355-356**, (1999), 214-218.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Refer. Autor/es, Título. Revista/Libro, **Vol/Ciudad**, (Año), pp.
-
- [EII04] Effenberg, G., Ilyenko, S., *Landolt-Börnstein - Group IV Physical Chemistry. Subvolume A1/2004. Ternary Alloy Systems - Phase Diagrams, Crystallographic and Thermodynamic*. Ed. Springer. **Berlin /Heidelberg**. (2004).
- [ERe97] Ejiiofor, J.U., Reddy, R.G., *Developments in the processing and properties of particulate Al-Si composites*. JOM, **11**, (1997), 31-37.
- [Esc97] Escalera Rodríguez, M^a D., *Soldadura de materiales compuestos de matriz de aluminio. Soldadura por difusión y soldadura fuerte*. Tesis Doctoral, **UCM**, (1997).
- [Esh57] Eshelby, J.D., *The determination of the elastic field of an ellipsoidal inclusion, and related problems*. Proc. Roy. Soc. London, Ser. A., **214**, (1957), 376-396.
- [Eva81] Evans, U.R., *An introduction to metallic corrosion*. Arnolf Ed., **London**, (1981).
- [FBB00] Forn, A., Bastidas, J.M., Baile, M.T., Torres, C.L., Polo, J.L., *Pitting corrosion of aluminium alloys components obtained by thixocasting*. Proc. Eurocorr 2000, **London**, (2000).
- [FBG04] Fernández, R., Bruno, G., González-Doncel, G., *Correlation between residual stresses and the strength differential effect in PM 6061Al-15 vol% SiCw composites: experiments, models and predictions*. Acta Mater., **52**, (2004), 5471-5483.
- [FBK04] Ferrarini, C.F., Bolfarini, C., Kiminami, C.S., Botta F., W.J., *Microstructure and mechanical properties of spray deposited hypoeutectic Al-Si alloy*. Mater. Sci. Eng. A, **A375-377**, (2004), 577-580.
- [FBR03] Forn, A., Baile, M.T., Rupérez, E., *Spinel effect on the mechanical properties of metal matrix composite AA6061/(Al₂O₃)p*. J. Mater. Proc. Tech., **143-144**, (2003), 58-61.
- [FEE00] Farhenholtz, W., Ellerbt, D.T., Ewsuk, K.G., Loehman, R.E., *Forming Al₂O₃-Al composites with controlled compositions by reactive metal penetration of dense aluminosilicate preforms*. J. Am. Ceram. Soc., **83(5)**, (2000), 1293-1295.
-

- Refer. Autor/es, Título. Revista/Libro, **Vol/Ciudad**, (Año), pp.
-
- [FFe85] Feliu, S., Feliu, V., *Modelado e identificación de procesos de corrosión: Análisis de la respuesta a señales eléctricas*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, **Madrid**, (1985).
- [FLC01] Fleury, E., Lee, S.M., Choi, G., Kim, W.T., Kim, D.H., *Comparison of Al-Cu-Fe quasicrystalline particle reinforced Al composites fabricated by conventional casting and extrusion*. J.Mater.Sci., **36**, (2001), 963-970.
- [FMN00] Forn, A., Martín, E. Nogué, R., *Influencia del proceso de fabricación en las propiedades del material compuesto A359+20%SiCp*. VIII Cong. Trat. Term. Superf., **Barcelona**, (2000), 447-454.
- [FPX00] Fan, Z., Pengfei, S., Xiaocui, L., Guoding, Z., *Residual strain during low temperature fluctuation in some silicon carbide reinforced aluminum composites*. J.Mater.Sci.Let., **19**, (2000), 1709-1710.
- [Fra98] Frankel, G.S., *Pitting corrosion of metals; a summary of the critical factors*. J.Electrochem.Soc., **145(6)**, (1998), 2186-2198.
- [FSC98] Flores, A., Sukiennik, M., Castillejos, A.H., Acosta, F.A., Escobedo, J.C., *A kinetic study on the nucleation and growth of the Al₈FeMnSi₂ intermetallic compound for aluminum scrap purification*. Intermetallics, **6**, (1998), 217-227.
- [FWJ02] Fras, E., Wierzbinski, S., Janas, A., Lopez, H.F., *Strength and plastic flow in "in situ" TiC reinforced aluminum composites*. Metall.Mater.Trans. A, **33A**, (2002), 3831-3838.
- [FXP01] Fan, Z., Xiaocui, L., Pengfei, S., Guoding, Z., *Deformation behavior below 0.2% offset yield stress in some SiCp/Al composites and their matrix alloys*. J.Mater.Sci.Let., **20**, (2001), 285-287.
- [FZS99] Fan, T., Zhang, D., Shi, Z., Wu, R., Shibayangai, T., Naka, M., Mori, H. *The effect of Si upon the interfacial reaction characteristics in SiCp/Al-Si system composites during multiple-remelting*. J.Mater.Sci., **34**, (1999), 5175-5180.
- [Gar94] Garrard, W.N., *Corrosion Behavior of Aluminum-Lithium alloys*. Corrosion, **50(3)**, (1994), 215-225.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Refer. Autor/es, Título. Revista/Libro, **Vol/Ciudad**, (Año), pp.
-
- [GBD94] Griffin, A.J., Brotzen, F.R., Dunn, C.F., *Impedance-Spectroscopy response of aluminum-copper-silicon alloys*. J. Electrochem. Soc., **141(12)**, (1994), 3473-3477.
- [GCG97] Goñi, J., Coletto, J., García, A., Palacios, J.K., Castro, M.C., Coupard, D., Arriaran, J., *Microstructure-properties relationship of AS9U3/SiCp composites formed by sand and permanent mold casting*. Key Eng. Mater., **127-131**, (1997), 487-494.
- [GCh04] Ganesh, V.V., Chawla, N., *Effect of reinforcement particle orientation anisotropy on the tensile and fatigue behavior of metal matrix composites*. Metall. Mater. Trans. A, **35A**, (2004), 53-61.
- [GCI90] Gruzleski, J.E., Closset, B.M., *The treatment of liquid aluminum-silicon alloys*. The American Foundrymen's Society, **Des Plaines**, (1990).
- [GDC06] Ghosh, K.S., Das, K., Chatterjee, U.K., *Electrochemical behaviour of retrogresses and reaged (RRA) 8090 and 1441 Al-Li-Cu-Mg-Zr alloys*. J. Appl. Electrochem., **36**, (2006), 1057-1068.
- [GKi98] Geni, M., Kikuchi, M., *Damage analysis of aluminum matrix composite considering non-uniform distribution of SiC particles*. Acta Mater., **46(9)**, (1998), 3125-3133.
- [GOM00] Goto, H., Omori, S., *Tribological characteristics of particle and chopped fiber-reinforced Al-Si alloy matrix composites*. Tribology Trans., **43**, (2000), 57-65.
- [Gon89] González Fernández, J.A., *Control de la corrosión: estudio y medida por técnicas electroquímicas*. CSIC, **Madrid**, (1989).
- [GOU01] Goto, H., Omori, S., Uchijo, K., *Wear behavior of Al-Si alloy impregnated graphite composite*. Tribology Trans., **44**, (2001), 551-558.
- [GSa06] Gupta, N., Satyanarayana, K.G., *The Solidification Processing of Metal-Matrix Composites: The Rohatgi Symposium*. JOM, **58(11)**, (2006), 92-94.
- [GSD99] Goswami, R.K., Sikand, R., Dhar, A., Grover, O.P., Jindal, U.C., Gupta, A.K., *Extrusion characteristics of aluminium alloy/SiCp metal matrix composites*. Mat. Sci. Tech, **15(4)**, (1999), 443-454.
-

- Refer. Autor/es, Título. Revista/Libro, **Vol/Ciudad**, (Año), pp.
-
- [GSQ97] Gupta, M., Surappa, M.K., Qin, S., *Effect of interfacial characteristics on the failure-mechanism mode of a SiC reinforced Al based metal-matrix composite*. J. Mater. Proc. Tech., **67**, (1997), 94-99.
- [GSu95] Gupta, M., Surappa, M.K., *Processing-microstructure-mechanical properties of Al based metal matrix composites synthesized using casting route*. Key Eng. Mater., **104-107**, (1995), 259-274.
- [GTu94] Griffiths, A.J., Turnbull, A., *An investigation of the electrochemical polarisation behaviour of 6061 aluminium metal matrix composites*. Corr. Sci., **36(1)**, (1994), 23-35.
- [Gwa91] Geiger, A.L., Walker, J.A., *The Processing and Properties of Discontinuously Reinforced Aluminum Composites*. JOM, **43(8)**, (1991), 8-15.
- [GWW00] Gui, M.-C., Wang, D.-B., Wu, J.-J., Yuan, G.-J., Li, C.-G. *Microstructure and mechanical properties of cast (Al-Si)/SiCp composites produced by liquid and semisolid double stirring process*. Mater. Sci. Tech., **16**, (2000), 556-563.
- [GYH00] Gall, K., Yang, N., Horstemeyer, M., McDowell, D.L., Fan, J., *The influence of modified intermetallics and Si particles on fatigue crack paths in a cast A356 Al alloy*. Fat. Fract. Eng. Mater. Str., **23**, (2000), 159-172.
- [GYL04] Gao, Y.X., Yi, J.Z., Lee, P.D., Lindley, T.C., *The effect of porosity on the fatigue life of cast aluminium-silicon alloys*. Fat. Fract. Eng. Mater. Str., **27**, (2004), 559-570.
- [Har98] Harrigan Jr, W.C., *Commercial processing of metal matrix composites*. Mater. Sci. Eng. A, **A244**, (1998), 75-79.
- [Hat93] Hatch, J.E., *Aluminum. Properties and physical metallurgy*. ASM, **Ohio**, (1993).
- [HBa95] Howell, G.J., Ball, A., *Dry sliding wear of particulate-reinforced aluminium alloys against automobile friction materials*. Wear, **181-183**, (1995), 379-390.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Refer. Autor/es, Título. Revista/Libro, **Vol/Ciudad**, (Año), pp.
-
- [HDT95] Hottebart, P., Degallaix, S., Tissier, J.C., Darsy, E., *Tensile and fatigue damage mechanism in a cast Al-SiCp metal matrix composite*. Proc. Conf. Micromechanics and Mechanics of Damage, **4**, (1995), 107-112.
- [Her95] Hertzberg, R.W., *Deformation and fracture mechanics of engineering materials*. John Wiley & Sons, **New York**, (1995).
- [HHe03] Hunt, W.H., Herling, D., *Cost-effective composites*. JOM, **55(4)**, (2003), 6-7.
- [HHE95] Huda, M.D., Hashmi, M.S.J., El-Baradie, M.A., *MMCs: Materials, Manufacturing and Mechanical Properties*. Key Eng. Mater., **104-107**, (1995), 37-64.
- [HKH03] Hong, S.-J., Kim, H.-M., Huh, D., Suryanarayana, C., Chun, B.S., *Effect of clustering on the mechanical properties of SiC particulate-reinforced aluminum alloy 2024 metal matrix composites*. Mater. Sci. Eng. A, **A347**, (2003), 198-204.
- [HLA92] Hihara, L.H., Latanision, R.M., *Galvanic-Corrosion of Aluminum Matrix Composites*. Corrosion, **48(7)**, (1992), 546-552.
- [HLH01] Hu, H.M., Lavernia, E.J., Harrigan, W.C., Kajuch, J., Nutt, S.R., *Microstructural investigation on B4C/Al-7093 composite*. Mater. Sci. Eng., **A297**, (2001), 94-104.
- [HLH01b] Hashim, J., Looney, L., Hashmi, M.S.J., *The wettability of SiC particles by molten aluminium alloys*. J. Mater. Proc. Tech., **119**, (2001), 324-328.
- [HLH02] Hausmann, J., Leyens, C., Hemptenmacher, J., Kaysser, W.A., *Optimisation of the fatigue resistance of metal matrix composites*. Adv. Eng. Mater., **4(7)**, (2002), 497-500.
- [HLH02b] Hashim, J., Looney, L., Hashmi, M.S.J., *Particle distribution in cast metal matrix composites - Part 1*. J. Mater. Proc. Tech., **123**, (2002), 251-257.
- [HLH99] Hashim, J., Looney, L., Hashmi, M.S.J., *Metal matrix composites: production by the stir casting method*. J. Mater. Proc. Tech., **92-93**, (1999), 1-7.
-

- Refer. Autor/es, Título. Revista/Libro, **Vol/Ciudad**, (Año), pp.
-
- [HMa00] Hadianfard, M.J., Mai, Y.-W., *Low cycle fatigue behaviour of particulate reinforced metal matrix composites*. J.Mater.Sci., **35**, (2000), 1715-1723.
- [HMH00] Hu, Q., McColl, I.R., Harris, S.J., Waterhouse, R.B. *The role of debris in the fretting wear of a SiC reinforced aluminium alloy matrix composite*. Wear, **245**, (2000), 10-21.
- [HMW78] Hayden, H.W., Moffat, W.G., Wulff, J., *Propiedades mecánicas*. Ed. Limusa, **México**, (1978).
- [Hun00] Hunt Jr., W.H., *Aluminum Metal Matrix Composites Today*. Mater.Sci. Forum, **331-337**, (2000), 71-84.
- [HWS95] Han, N.L., Wang, Z.G., Sun, L., *Effect of reinforcement size on low cycle fatigue behavior of SiC particle reinforced aluminum matrix composites*. Scripta Metall.Mater., **33 (5)**, (1995), 781-787.
- [JCC00] Jin, Z., Cassada, W.A., Cady, C.M., Gray III, G.T. *Mechanical response of AA7075 aluminum alloy over a wide range of temperatures and strain rates*. Mater.Sci.Forum, **331-337**, (2000), 527-532.
- [JKD95] Jiang, J., Kampus, Z., Dodd, B., *A study on the cold plastic formability and fracture behaviour of particle reinforced metal matrix composites*. Key Eng.Mater., **104-107**, (1995), 665-672.
- [JRR01] Joshi, S.S., Ramakrishnan, N., Ramakrishnan, P., *Micro-structural analysis of chip formation during orthogonal machining of Al/SiCp composites*. J.Eng. Mater.Tech., **123**, (2001), 315-321.
- [JZW02] Janssen, M., Zuidema, J., Wanhill, R.J.H., *Fracture Mechanics*. Delft University Press, **Delft**, (2002)
- [KBu97] Kolman, D.G., Butt, D.P., *Corrosion behavior of a novel SiC/Al₂O₃/Al composites exposed to chloride environments*. J.Electrochem.Soc., **144(11)**, (1997), 3785-3791.
- [Kev03] Kevorkijan, V., *Engineering wear-resistant surfaces in automotive aluminum*. JOM, **55(2)**, (2003), 32-33.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Refer. Autor/es, Título. Revista/Libro, **Vol/Ciudad**, (Año), pp.
-
- [Kev97] Kevorkijan, V., *An ideal reinforcement for structural composites*. Amer. Ceramic Soc. Bull., **76(12)**, (1997), 61-67.
- [KFi86] Kurz, W., Fisher, D.J., *Fundamentals of solidification*. Ed. Trans Tech Publications, **Switzerland**, (1986).
- [Kla99] Klansky, J., *Image analysis of aluminium alloys*. Adv. Mater. Proc., **156**, (1999), 23-26.
- [KSJ03] Kevorkijan, V. Smolar, T., Jelen, M., *Fabrication of Mg-AZ80/SiC Composite Bars by Pressureless and Pressure-Assisted Infiltration*. Amer. Ceramic Soc. Bull., **82(7)**, (2003), 9201-9208.
- [KSk00] Kiourtsidis, G.E., Skolianos, S.M., *Stress corrosion behavior of aluminum alloy 2024/silicon carbide particles (SiCp) metal matrix composites*. Corrosión, **56(6)**, (2000), 646-653.
- [KSK99] Kim, S.S., Shin, K.S., Kim, N.J., *Tensile behavior of rapidly solidified Al-Li-Zr and Al-Li-Cu-Mg-Zr alloys at 293 and 77 K*. Metall. Mater. Trans. A, **30A**, (1999), 2254-2258.
- [KZW96] Kiser, M.T., Zok, F.W., Wilkinson, D.S., *Plastic flow and fracture of a particulate metal matrix composite*. Acta Mater., **44(9)**, (1996), 3465-3476.
- [LAS00] Lee, J.C., Ahn, J.P., Shi, Z., Kim, Y., Lee, H.I., *Modification of the interface in SiC/Al composites*. Metall. Mater. Trans. A, **31A**, (2000), 2361-2368.
- [LAS01] Lee, J.-C., Ahn, J.-P., Shi, Z., Shim, J.-H., Lee, H.-I., *Methodology to design the interfaces in SiC/Al composites*. Metall. Mater. Trans. A, **32^a**, (2001), 1541-1550.
- [LCI93] Lucas, K.A., Clarke, H., *Corrosion of aluminium-based metal matrix composites*. Ed. Research Studies Press LTD. **Taunton (England)**, (1993).
- [LCI98] Lorentzen, T., Clarke, A.P., *Thermomechanical induced residual strains in Al/SiCp metal-matrix composites*. Comp. Sci. Tech., **58**, (1998), 345-353.
-

- Refer. Autor/es, Título. Revista/Libro, **Vol/Ciudad**, (Año), pp.
-
- [LGo98] Llorca, J., González, C., *Microstructural factors controlling the strength and ductility of particle-reinforced metal-matrix composites*. J. Mech. Phys. Solids, **46(1)**, (1998), 1-28.
- [LGW00] Laden, K., Guérin, J.D., Watremez, M., Bricout, J.P., *Frictional characteristic of Al-SiC composite brake disc*. Tribology Let., **8**, (2000), 237-247.
- [LLL98] Lin, C.B., Leu, C.E., Lee, E.C., *Manufacturing and recycling of A380Al/SiCp composites*. J. Mater. Eng. Perf., **7**, (1998), 239-246.
- [Llo02] Llorca, J., *Fatigue of particle and whisker reinforced metal matrix composites*. Prog. Mater. Sci., **47**, (2002), 283-353.
- [Llo89] Lloyd, D.J., *Solidification behavior of particulate reinforced aluminium/SiC composites*. Comp. Sci. Tech., **35**, (1989), 159-179.
- [Llo94] Lloyd, D.J., *Particle Reinforced Aluminium and Magnesium Matrix Composites*. Int. Mat. Rev., **39**, (1994), 1-23.
- [Llo96] Llorca, J., *A numerical analysis of the damage mechanisms in metal-matrix composites under cyclic deformation*. Comput. Mater. Sci., **7**, (1996), 118-122.
- [LLS00] Lee, J.C., Lee, H.-I., Shin, D.-S., *Alloy design and processing of thixoformable wrought Al alloy composites reinforced with SiC*. Proc. 7th Int. Conf. Comp. Eng., Denver (USA), (2000), 597-604.
- [LMa81] Lorenz, W J; Mansfeld, F., *Determination of corrosion rates by electrochemical DC and AC methods*. Corr. Sci., **21(9/10)**, (1981), 647-672.
- [LMa85] Lorenz, W J; Mansfeld, F., *Interface and Interphase Corrosion Inhibition*. Proc. 6th Europ. Symp. Corr. Inhib., Ferrara (Italia), (1985), 23-40.
- [LMc99] Landis, C.M., McMeeking, R.M., *A shear-lag model for a broken fiber embedded in a composite with a ductile matrix*. Comp. Sci. Tech., **59**, (1999), 447-457.
- [LPH05] Lee, Y-L., Pan, J., Hathaway, R.B., Barkey, M.E., *Fatigue testing and analysis*. Elsevier Butterworth-Heinemann, **Burlington**, (2005).
-

7. BIBLIOGRAFÍA

- Refer. Autor/es, Título. Revista/Libro, **Vol/Ciudad**, (Año), pp.
-
- [LSe99] Lorenzi, L., Sereni, S., *Automotive applications of metal matrix composites (MMC)*. Proc. Int. School Adv. Mater. Sci. And Techn., **Jesi (Italia)**, (1999), 171-177.
- [LSK01] Lee, K.B., Sim, H.S., Kim, S.H., Han, K.H., Kwon, H., *Fabrication and characteristics of AA6061/SiCp composites by pressureless infiltration technique*. J. Mater. Sci., **36**, (2001), 3179-3188.
- [LSS03a] Li, Z., Samuel, M., Samuel, F.H., Ravindran, C., Valtierra, S., *Effect of alloying elements on the segregation and dissolution of CuAl₂ phase in Al-Si-Cu 319 alloys*. J. Mater. Sci., **38**, (2003), 1203-1218.
- [LSS03b] Li, Z., Samuel, M., Samuel, F.H., Doty, H.W., Valtierra, S., *Influence of oxides on porosity formation in Sr-treated Al-Si casting alloys*. J. Mater. Sci., **38**, (2003), 1255-1267.
- [LSW00] Li, Z., Schmauder, S., Wanner, A., *Influence of elastic inclusion morphology and matrix hardening behavior on Bauschinger effect in metal matrix composites*. Metall. Mater. Trans. A, **31A**, (2000), 2943-2948.
- [LSW95] Lianxi, H., Shoujing, L., Wencan, H., Wang, Z.R., *Development of the technique of extrusion directly following infiltration for the manufacturing of metal-matrix composites*. J. Mater. Proc. Tech., **49**, (1995), 287-294.
- [LWi95] Lewis, C.A., Withers, P.J., *Weibull modelling of particle cracking in metal matrix composites*. Acta Metall. Mater., **43(10)**, (1995), 3685-3699.
- [LZP95] Lavernia, E.J., Zhang, J., Perez, R.J., *Damping behavior and mechanisms in particulate reinforced metal matrix composites processed using spray atomization and deposition*. Key Eng. Mater., **104-107**, (1995), 691-728.
- [MAK00] Muratoglu, M., Aksoy, M., *The effects of temperature on wear behaviours of Al-Cu alloy and Al-Cu/SiC composite*. Mater. Sci. Eng. A, **A282**, (2000), 91-99.
- [MAN01] Mazhar, A.A., Arab, S.T., Noor, E.A., *The role of chloride ions and pH in the corrosion and pitting of Al-Si alloys*. J. Appl. Electrochem., **31**, (2001), 1131-1140.
-

- Refer. Autor/es, Título. Revista/Libro, **Vol/Ciudad**, (Año), pp.
-
- [Man95] Mansfeld, F., *Use of electrochemical impedance spectroscopy for the study of corrosion protection by polymer coatings*. J. Appl. Electrochem., **25**, (1995), 187-202.
- [Maz99] Mazon, A.A., *Effect of deformation temperature on the mechanical behavior and deformation of Al-Al₂O₃ metal matrix composites*. J. Mater. Eng. Perf., **8 (4)**, (1999), 487-495.
- [MBG00] Martín, N., Badía, J.M^a, Gracia, A., Antoranz, J.M., Tarín, P., *Estudio de la influencia del tratamiento térmico en el conformado de chapas de aleaciones de aluminio de alta resistencia*. VIII Cong. Trat. Term. Superf., **Barcelona**, (2000), 149-157.
- [MBG02] Metikos-Hukovic, M., Babic, R., Grubac, Z., *The study of aluminium corrosion in acidic solution with nontoxic inhibitors*. J. Appl. Electrochem., **32**, (2002), 35-41.
- [McC95] McCafferty, E., *The electrode kinetics of pit initiation on aluminium*. Corr. Sci., **37(3)**, (1995), 481-492.
- [MCG90] McIntyre, J.F., Conrad, R.K., Golledge, S.L., *Technical Note: The effect of heat treatment on the pitting behavior of SiCw/AA2124*. Corrosion, **46(11)**, (1990), 902-905.
- [MCP04] Mora, N., Cano, E., Polo, J.L., Puente, J.M., Bastidas, J.M., *Corrosion protection properties of cerium layers formed on tinplate*. Corr. Sci., **46**, (2004), 563-578.
- [MFI96] Mortensen, A.; Fleming, M.C., *Solidification of binary hypoeutectic alloy matrix composite casting*. Metall. Mater. Trans. A, **27A(3)**, (1996), 595-609.
- [MFN03] Martín, E., Forn, A., Nogué, R., *Strain hardening behaviour and temperature effect on Al-2124/SiCp*. J. Mater. Proc. Tech., **143-144**, (2003), 1-4.
- [MGr95] Midling, O.T., Grong, O., *Processing and properties of particle reinforced Al-Si MMCs*. Key Eng. Mater., **104-107**, (1995), 329-354.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Refer. Autor/es, Título. Revista/Libro, **Vol/Ciudad**, (Año), pp.
-
- [MGS00] Manoharan, M., Gupta, M., Saravanaranganathan, D.
Application of model for work hardening behaviour of SiC reinforced magnesium based metal matrix composites. Mater.Sci.Tech., **16(6)**, (2000), 670-674.
- [MGU97] Manoharan, M., Gupta, M., *A comparative study on the work hardening behavior of an underaged and an overaged SiC reinforced aluminum metal-matrix composite.* Mater.Res.Bull., **1997**, (1997), 231-238.
- [MHH97] McColl, I.R., Harris, S.J., Hu, Q., Spurr, G.J., Wood, P.A.
Influence of surface and heat treatment on the fretting wear of an aluminium alloy reinforced with SiC particles. Wear, **203-204**, (1997), 507-515.
- [MHS96] McColl, I.R., Harris, S.J., Spurr, G.J., *Fretting wear of a fine particulate reinforced aluminium alloy matrix composite against a medium carbon steel.* Wear, **197**, (1996), 179-191.
- [MHU99] Maruyama, B., Hunt, W.H., *Discontinuously reinforced aluminum: current status and future direction.* JOM, **51(11)**, (1999), 59-61.
- [Mir01] Miracle, D.B., *Metal Matrix Composites for Space Systems: Current Uses and Future Opportunities.* Proc.Symp.TMS 2001 Fall Meeting., **Indianapolis**, (2001), 1-21.
- [Mit04] Mitchell, B.S., *An Introduction to Materials Engineering and Science.* John Wiley & Sons, **Hoboken NJ**, (2004).
- [MML95] Martín, A., Martínez, M.A., Llorca, J., *Influencia de la temperatura en el deterioro por fricción de materiales compuestos de matriz metálica.* An.Mec.Fract., **12**, (1995), 284-289.
- [MMo04] Miserez, A., Mortensen, A., *Fracture of aluminium reinforced with densely packed ceramic particles: influence of matrix hardening.* Acta Mater., **52**, (2004), 5331-5345.
- [MND04] McDonald, S.D., Nogita, K., Dahle, A.K., *Eutectic nucleation in Al-Si alloys.* Acta Mater., **52**, (2004), 4273-4280.
- [Moo86] Moore, J.J., *Metalurgia Química.* Ed. Alhambra Universidad, **Madrid**, (1986).
-

- Refer. Autor/es, Título. Revista/Libro, **Vol/Ciudad**, (Año), pp.
-
- [MPa00] Majumdar, B.S., Pandey, A.B., *Deformation and fracture of a particle-reinforced aluminum alloy composite: Part II. Modeling.* Metall. Mater. Trans. A, **31^a**, (2000), 937-950.
- [MRI97] Mason, J.J., Ritchie, R.O., *Fatigue crack growth resistance in SiC particulate and whisker reinforced P/M 2124 aluminum matrix composites.* Mater. Sci. Eng. A, **A231**, (1997), 170-182.
- [MRL98] Martín, A., Rodríguez, J., Llorca, J., *Comportamiento frente al desgaste de materiales compuestos de matriz metálica.* An. Mec. Fract., **15**, (1998), 460-465.
- [MRM96] Manzano-Ramírez, A., Ruiz, F., Magallanes-Castañeda, A., *Observaciones microestructurales en el composite Al-SiC-15p obtenido por el procedimiento de compocolado.* Rev. Metal., **32 (6)**, (1996), 359-368.
- [MTD00] Murty, B.S., Thakur, S.K., Dhindaw, B.K., *On the infiltration behavior of Al, Al-Li, and Mg melts through SiCp bed.* Metall. Mater. Trans. A, **31A**, (2000), 319-325.
- [Mur02] Murakami, Y., *Metal Fatigue: Effects of small defects and nonmetallic inclusions.* Elsevier, **Amsterdam**, (2002).
- [MWE97] Maire, E., Wilkinson, D.S., Embury, J.D., Fougères, R., *Role of damage on the flow and fracture of particulate reinforced alloys and metal matrix composites.* Acta Mater., **45(12)**, (1997), 5261-5274.
- [NCI96] Nan, C.-W., Clarke, D.R., *The influence of particle size and particle fracture on the elastic/plastic deformation of metal matrix composites.* Acta Mater., **44(9)**, (1996), 3801-3811.
- [NDS99] Nagarajan, S., Dutta, B., Surappa, M.K., *The effect of SiC particles on the size and morphology of eutectic silicon in cast A356/SiCp composites.* Comp. Sci. Tech., **59**, (1999), 897-902.
- [NDu01] Nagarajan, R., Dutta, I., *A novel approach for optimizing the fracture toughness of precipitation-hardenable Al-SiCp composites.* Metall. Mater. Trans. A, **32A (2)**, (2001), 433-436.
-

7. BIBLIOGRAFÍA

- Refer. Autor/es, Título. Revista/Libro, **Vol/Ciudad**, (Año), pp.
-
- [NEt00] Nakai, M., Eto, T., *New aspects of development of high strength aluminum alloys for aerospace applications*. Mater. Sci. Eng. A, **A285**, (2000), 62-68.
- [NFT00] Niinomi, M., Fukunaga, K., Takeda, J., *Friction wear of commercial aluminum alloys*. Mater. Sci. Forum, **331-337**, (2000), 1519-1524.
- [NIK99] Nishida, Y.; Izawa, N.; Kuramasu, Y., *Recycling of aluminum matrix composites*. Phys. Metall. Mater. Sci., **30A(3A)**, (1999), 839-846.
- [NPr86] Nardone, V.C., Prewo, K.M., *On the strength of discontinuous silicon-carbide reinforced aluminum composites*. Scripta Metall., **20**, (1986), 43-48.
- [NRa95] Nunes, P.C.R., Ramanathan, L.V., *Corrosion behavior of alumina-aluminum and silicon carbide-aluminum metal-matrix composites*. Corrosion, **51(8)**, (1995), 610-617.
- [NTH97] Noble, B., Trowsdale, A.J., Harris, S.J., *Low-temperature interface reaction in aluminium-silicon carbide particulate composites produced by mechanical alloying*. J. Mater. Sci., **32**, (1997), 5969-5978.
- [OCK01] Ourdjini, A., Chew, K.C., Khoo, B.T., *Settling of silicon carbide particles in cast metal matrix composites*. J. Mater. Proc. Tech., **116**, (2001), 72-76.
- [Oll01] Oller, S., *Fractura mecánica. Un enfoque global*. Ed. CIMNE, **Barcelona**, (2001).
- [PBR96] Prangnell, P.B., Barnes, S.J., Roberts, S.M., Withers, P.J., *The effect of particle distribution on damage formation in particulate reinforced metal matrix composites deformed in compression*. Mater. Sci. Eng. A, **A220**, (1996), 41-56.
- [PBR97] Prangnell, P.B., Barnes, S.J., Roberts, S.M., Withers, P.J., *The effect of clustering on damage formation in particulate reinforced metal MMCs deformed in compression*. Key Eng. Mater., **127-131**, (1997), 937-944.
- [PCh05] Poole, W.J., Charras, N., *An experimental study on the effect of damage on the stress-strain behaviour for Al-Si model composites*. Mater. Sci. Eng. A, **406 (1/2)**, (2005), 300-308.
-

- Refer. Autor/es, Título. Revista/Libro, **Vol/Ciudad**, (Año), pp.
-
- [PCQ06] Peng, K., Chen, W., Qian, K., *Study on dynamic strain aging phenomenon of 3004 aluminum alloy*. Mater. Sci. Eng. A, **A415**, (2006), 53-58.
- [PEa92] Porter, D.A., Easterling, K.E., *Phase transformations in metals and alloys 2nd edition*. Ed. Chapman & Hall, **London**, (1992).
- [Per92] Pero-Sanz, J.A., *Ciencia e Ingeniería de Materiales*. Ed. Dossat, **Madrid**, (1992).
- [Pic00] Picas, J.A., *Optimización y caracterización de la aleación 2Ti-0,2Pd para aplicaciones clínicas*. Tesis Doctoral, **UPC**, (2000).
- [PKM00] Pech-Canul, M.I., Katz, R.N., Makhlof, M.M., *Optimum parameters for wetting silicon carbide by aluminum alloys*. Metall. Mater. Trans. A, **31^a**, (2000), 565-573.
- [PLI94] Poza, P., Llorca, J., *Mecanismos de rotura en materiales compuestos de matriz de aluminio reforzados con partículas metálicas*. An. Mec. Fract., **11**, (1994), 346-353.
- [PLI95] Poza, P., Llorca, J., *Influencia de la temperatura en los mecanismos de rotura de materiales compuestos de matriz de aluminio*. An. Mec. Fract., **12**, (1995), 296-301.
- [PLI99] Poza, P., Llorca, J., *Mechanical behavior of Al-Li/SiC composites: Part I. Microstructure and tensile deformation*. Metall. Mater. Trans. A, **30^a**, (1999), 845-855.
- [PLI99b] Poza, P., Llorca, J., *Mechanical behavior of Al-Li/SiC composites: Part II. Cyclic deformation*. Metall. Mater. Trans. A, **30A**, (1999), 857-867.
- [PMA06] Pardo, A., Merino, M.C., Arrabal, R., Feliu Jr, S., Viejo, F., Carboneras, M., *Enhanced corrosion resistance of A3xxx.x/SiCp composites in chloride media by La surface treatments*. Electrochimica Acta, **51**, (2006), 4367-4378.
- [PMM05] Pardo, A., Merino, M.C., Merino, S., Viejo, F., Carboneras, M., Arrabal, R., *Influence of reinforcement proportion and matrix composition on pitting corrosion behaviour of cast aluminium matrix composites (A3xx.x/SiCp)*. Corr. Sci., **47**, (2005), 1750-1764.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Refer. Autor/es, Título. Revista/Libro, **Vol/Ciudad**, (Año), pp.
-
- [Pol95] Polmear, I.J., *Light alloys. Metallurgy of the light metals*. Arnold, **London**, (1995).
- [Pos03] Posmyk, A., *Influence of material properties on the wear of composite coatings*. *Wear*, **254**, (2003), 399-407.
- [PSL98] Pitcher, P.D.; Shakesheff, A.J.; Lord, J.D., *Aluminium based metal matrix composites for improved elevated temperature performance*. *Mat. Sci. Tech*, **14 (9)**, (1998), 1015-1023.
- [Rap99] Rapoport, A., *Some applications of metal matrix materials in the aeronautical industry*. *Proc. Int. School Adv. Mater. Sci. And Techn., Jesi (Italia)*, (1999), 163-170.
- [Raw01] Rawal, S., *Metal-matrix composites for space applications*. *JOM*, **4**, (2001), 14-17.
- [Rob00] Roberge, P.R., *Handbook of Corrosion Engineering*. McGraw-Hill, **New York, NY**, (2000).
- [Roh95] Rohatgi, P.K., *Future directions in solidification of metal matrix composites*. *Key Eng. Mater.*, **104-107**, (1995), 293-312.
- [Ros06] Rosso, M., *Ceramic and metal matrix composites: Routes and properties*. *J. Mater. Proc. Tech.*, **175**, (2006), 364-375.
- [RPI97] Riemelmoser, F.O., Pippan, R., *Crack closure: A concept of fatigue crack growth under examination*. *Scripta Metall. Mater.*, **20(11)**, (1997), 1529-1540.
- [RPV95] Ravinder Reddy, R., Prakash, O.M., Venugopal Reddy, P., *The effect of porosity on elastic moduli of YBa₂Cu₃O₇ high T_c superconductors*. *Appl. Supercond.*, **3(4)**, (1995), 215-222.
- [RRH99] Reich, L., Ringer, S.P., Hono, K., *Origin of the initial rapid age-hardening in an Al-1.7Mg-1.1Cu alloy*. *Phil. Mag. Lett.*, **79**, (1999), 639-648.
- [RTB99] Roatta, A., Turner, P.A., Bertinetti, M.A., Bolmaro, R.E. *Influence of the localized initial plastic deformation on the effective thermomechanical response of metal-matrix composites*. *Metall. Mater. Trans. A*, **30A(11)**, (1999), 2875-2884.
-

- Refer. Autor/es, Título. Revista/Libro, **Vol/Ciudad**, (Año), pp.
-
- [RTK05] Rohatgi, P.K., Thakkar, R.B., Kim, J.K., Daoud, A., *Scatter and statistical analysis of tensile properties of cast SiC reinforced A359 alloys*. Mater. Sci. Eng. A, **A398**, (2005), 1-14.
- [RWK02] Rodríguez-Castro, R., Wetherhold, R.C., Kelestemur, M.H., *MicrOtructure and mechanical behavior of functionally graded Al A359/SiCp composite*. Mater. Sci. Eng. A, **A323**, (2002), 445-456.
- [SAI01] Shackelford, J.F., Alexander, W., *Materials Science and Engineering Handbook 3rd Ed.*. CRC Press, **Boca Ratón**, (2001).
- [Sar90] Sarkar, A.D., *Desgaste de metales*. Ed. Limusa, **México**, (1990).
- [SAS03] Srivatsan, T.S., Al-Hajri, M., Smith, C., Petraroli, M. *The tensile response and fracture behavior of 2009 aluminum alloy metal matrix composite*. Mater. Sci. Eng. A, **A346 (1)**, (2003), 91-100.
- [SBi99] Smallman, R.E., Bishop, R.J., *Modern Physical Metallurgy and Materials Engineering*. Butterworth-Heinemann, **Oxford**, (1999).
- [SBL95] Subramanian, K.N., Bieler, T.R., Lucas, J.P., *Mechanical shaping of metal matrix composites*. Key Eng. Mater., **104-104**, (1995), 175-214.
- [SDM01] Saraswathi, Y.L., Das, S., Mondal, D.P., *A comparative study of corrosión behavior of Al/SiCp composite with cast iron*. Corrosión, **57(7)**, (2001), 643-653.
- [SGr97] Sinclair, I., Gregson, J., *Structural performance of discontinuous metal matrix composites*. Mat. Sci. Tech, **13**, (1997), 709-726.
- [SGS95] Samuel, A.M., Gotmare, A., Samuel, F.H., *Effect of solidification rate and metal feedability on porosity and SiC/Al₂O₃ particle distribution in an Al-Si-Mg (359) alloy*. Comp. Mater. Sci., **53**, (1995), 301-315.
- [Sha03] Sahin, Y., *Preparation and some properties of SiC particle reinforced aluminium alloy composites*. Mater. Des., **24**, (2003), 671-679.
- [Sha04] Shaocheng Ji, *Generalized means as an approach for predicting Young's moduli of multiphase materials*. Mater. Sci. Eng. A, **A366**, (2004), 195-201.
-

7. BIBLIOGRAFÍA

- Refer. Autor/es, Título. Revista/Libro, **Vol/Ciudad**, (Año), pp.
-
- [SJB94] Shreir, L.L.; Jarman, R.A.; Burstein, G.T., *Corrosion (3rd Edition) Volumes 1-2*. Butterworth-Heinemann, **Oxford**, (1994).
- [SLH03] Shorowordi, K.M., Laoui, T., Haseeb, A.S.M.A., Celis, J.P., Froyen, L., *Microstructure and interface characteristics of B4C, SiC and Al2O3 reinforced Al matrix composites: a comparative study*. J. Mater. Proc. Tech., **142**, (2003), 738-743.
- [SLW06] Svenningsen, G., Larsen, M.H., Walmsley, J.C., Nordlien, J.H., Nisancioglu, K., *Effect of artificial aging on intergranular corrosion of extruded AlMgSi alloy with small Cu content*. Corr. Sci., **48**, (2006), 1528-1543.
- [SMH00] Sritharan, T., Murali, S., Hing, P., *Synthesis of aluminium-iron-silicon intermetallics by reaction of elemental powders*. Mater. Sci. Eng. A, **A286**, (2000), 209-217.
- [Smi98a] Smith, G.W., *Precipitation kinetics in solutionized aluminum alloy 2124: Determination by scanning and isothermal calorimetry*. Thermochim. Acta, **317**, (1998), 7-23.
- [Smi98b] Smith, G.W., *Precipitation kinetics in solutionized aluminum alloy 2124: II. Effect of prior Guinier-Preston zone formation*. Thermochim. Acta, **323**, (1998), 123-130.
- [SMN93] Suresh, S., Mortensen, A., Needleman, A., *Fundamentals of Metal Matrix Composites*. Butterworth-Heinemann, **Boston**, (1993).
- [SMS99] Smith, T., Maier, H.J., Sehitoglu, H., Fleury, E., Allison, J., *Modeling high-temperature stress-strain behavior of cast aluminum alloys*. Metall. Mater. Trans. A, **30A**, (1999), 133-146.
- [Sne65] Sneddon, I.N., *The relation between load and penetration in the axisymmetric Boussinesq problem for a punch of arbitrary profile*. Int. J. Eng. Sci., **3**, (1965), 47-57.
- [SOS98] Samuel, F.H., Ouellet, P., Samuel, A.M., Doty, H.W. *Effect of Mg and Sr additions on the formation of intermetallics in Al-6 wt pct Si-3.5 wt pct Cu-(0.45) to (0.8) wt pct Fe 319 -type alloys*. Metall. Mater. Trans. A, **29^a**, (1998), 2871-2884.
-

- Refer. Autor/es, Título. Revista/Libro, **Vol/Ciudad**, (Año), pp.
-
- [SPa06] Sherif, E.M., Park, S-M., *Effects of 1,4-naphthoquinone on aluminum corrosion in 0.50 M sodium chloride solutions*. *Electrochimica Acta*, **51**, (2006), 1313-1321.
- [SPr95] Srivatsan, T.S., Prakash, A., *The quasi-static fracture behavior of an aluminum alloy metal-matrix composite*. *Comp.Sci.Tech.*, **53**, (1995), 307-315.
- [SRa95] Sannino, A.P.; Rack, H.J., *Effect of reinforcement size on age hardening of PM 2009 Al-Si 20 vol% particulate composites*. *J.Mater.Sci.*, **30**, (1995), 4316-4322.
- [SSa95] Samuel, F.H., Samuel, A.M., *Heat-treatment parameters for a 359/Al₂O₃/10p composite modified with 0.07 wt% strontium*. *Comp.Sci.Tech.*, **53**, (1995), 85-98.
- [SSa95b] Samuel, A.M., Samuel, F.H., *Foundry aspects of particulate reinforced aluminum MMCs: Factors controlling composite quality*. *Key Eng.Mater.*, **104-104**, (1995), 65-98.
- [SSC98] Seleznev, M.L., Seleznev, I.L., Cornie, J.A., Argon, A.S., Mason, R.P., *Effect of composition, particle size, and heat treatment on the mechanical properties of Al-4.5 wt% Cu based alumina particulate reinforced composite*. *Proced. SAE Int.Cong.Expos.*, Detroit (USA), (1998), 1-6.
- [SSF98] Styles, C.M.; Sinclair, I., Foster, K., Gregson, P.J., *Workhardening effects in SiC particle reinforced aluminum alloys*. *Mat.Sci.Tech.*, **14**, (1998), 1053-1057.
- [SSL95] Srivatsan, T.S., Sudarshan, T.S., Lavernia, E.J., *Processing of discontinuously-reinforced metal matrix composites by rapid solidification*. *Prog.Mater.Sci.*, **39**, (1995), 317-409.
- [STi01] Staley, J.T., Tiryakioglu, M., *The use of TTP curves and quench factor analysis for property prediction in aluminium alloys*. *Conf. Proc. Materials Solutions*, Indianapolis (USA), (2001), 6-15.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Refer. Autor/es, Título. Revista/Libro, **Vol/Ciudad**, (Año), pp.
-
- [SUM99] Salazar, J.M.G., Ureña, A., Manzanedo, S., Barrena, M.I., *Corrosión behaviour of AA6061 and 7005 reinforced with Al₂O₃ particles in aerated 3.5% chloride solutions: potentiodynamic measurements and microstructure*. *Corr.Sci.*, **41**, (1999), 529-545.
- [Sur03] Surappa, M.K., *Aluminum matrix composites: challenges and oportunities*. *Sadhana*, **28**, (2003), 319-334.
- [Sur97] Surappa, M.K., *Microstructure evolution during solidification of DRMMCs (discontinuously reinforced metal matrix composites): state of the art*. *J.Mater. Proc. Tech.*, **63**, (1997), 325-333.
- [Sur98] Suresh, S., *Fatigue of materials*. Cambridge University Press, **Cambridge**, (1998).
- [SWS99] Starink, M.J., Wang, P., Sinclair, I., Gregson P.J., *Microstructure and strengthening of Al-Li-Cu-Mg alloys and MMC: II. Modelling of yield strength*. *Acta Mater.*, **47**, (1999), 3855-3868.
- [Szk99] Szklarska-Smiallowska, Z., *Pitting corrosion of aluminium*. *Corr.Sci.*, **41**, (1999), 1743-1767.
- [Tai94] Tait, Stephen W., *An Introduction to Electrochemical Corrosion Testing for Practicing Engineers and Scientists*. Pair O Docs Professionals L.L.C., **Madison WI**, (1994).
- [TCV03] Torralba, J.M., Costa, C.E. da, Velasco, F., *P/M aluminum matrix composites: an overview*. *J.Mater. Proc. Tech.*, **133**, (2003), 203-206.
- [TFL99] Tandon, K.N., Feng, Z.C., Li, X.Y., *Wear behavior of SiC particulate reinforved aluminum composites sliding againts steel balls under dry and lubricant conditions*. *Tribology Let.*, **6**, (1999), 113-122.
- [TGC99] Tham, L.M.; Gupta, M.; Cheng, L., *Influence of processing parameters during disintigrated melt deposition on near net shape synthesis of aluminium based Materials*. *Mat.Sci.Tech.*, **15 (10)**, (1999), 1139-1146.
- [THa98] Takuda, H., Hatta, N., *Numerical analysis of the formability of an aluminum 2024 alloy sheet and its laminates with steel sheets*. *Metall.Mater.Trans. A*, **29A**, (1998), 2829-2834.
-

- Refer. Autor/es, Título. Revista/Libro, **Vol/Ciudad**, (Año), pp.
-
- [TLa00] Tjong, S.C.; Lau, K.C., *Dry sliding wear of TiB₂ particle reinforced aluminium alloy composites*. Mater.Sci. Tech., **16(1)**, (2000), 99-102.
- [TMa00] Tjong, S.J.; Ma, Z.Y., *Microstructural and mechanical characteristics of in situ metal matrix composites*. Mater.Sci.Eng., **29**, (2000), 49-113.
- [TMC83] Trzaskoma, P.P., McCafferty, E., Crowe, C.R., *Corrosion Behavior of SiC/Al metal matrix composites*. J.Electrochem. Soc., **130(9)**, (1983), 1804-1809.
- [TMu04] Tosun, G., Muratoglu, M., *The drilling of an Al/SiCp metal-matrix composites. Part I: microstructure*. Comp.Sci.Tech., **64**, (2004), 299-308.
- [TNH96] Trowsdale, A.J., Noble, B., Harris, S.J., Gibbins, I.S.R., Thompson, G.E., Wood, G.C., *The influence of silicon carbide reinforcement on the pitting behaviour of aluminium*. Corr.Sci., **38(2)**, (1996), 177-191.
- [TPB00] Tabernig, B., Pippan, R., Bruzzi, M., McHugh, P., Foulquier, J., Rapoport, A., Fedrigoni, G.P., Powell, P., Cook, R., Forn, A., Martín, E., Fiori, F., Rustichelli, F., *Modelling of in-service fatigue performance of particle reinforced aluminium alloys*. Proc.Int.Conf. Eng.Int.Soc. (Fatigue 2000), **Cambridge**, (2000), 93-100.
- [TSG06] Tewari, A., Spowart, J.E., Gokhale, A.M., Mishra, R.S., Miracle, D.B., *Characterization of the effects of friction stir processing on microstructural changes in DRA composites*. Mater.Sci.Eng. A, **A 428**, (2006), 80-90.
- [TSK99] Tokaji, K., Shiota, H., Kobaayashi, K., *Effect of particle size on fatigue behaviour in SiC particulate-reinforced aluminium alloy composites*. Fat. Fract. Eng. Mater., **22**, (1999), 281-288.
- [TXL01] Tan, M., Xin, Q., Li, Z., Zong, B.Y., *Influence of SiC and Al₂O₃ particulate reinforcements and heat treatments on mechanical properties and damage evolution of Al-2618 MMC*. J.Mater.Sci., **36(8)**, (2001), 2045-2053.
-

7. BIBLIOGRAFÍA

- Refer. Autor/es, Título. Revista/Libro, **Vol/Ciudad**, (Año), pp.
-
- [UGG99] Ureña, A., Gómez de Salazar, J.M., Gil, L., Escalera, M.D., Baldonado, J.L., *Scanning and transmission electron microscopy study of the microstructural changes occurring in aluminium matrix composites reinforced with SiC particles*. J. Microscopy, **196(2)**, (1999), 124-136.
- [UMR04] Ureña, A., Martínez, E.E., Rodrigo, P., Gil, L., *Oxidation treatment for SiC particles used as reinforcement in aluminium matrix composites*. Comp. Sci. Tech., **64**, (2004), 1843-1854.
- [URG01] Ureña, A., Rodrigo, P., Gil, L., Escalera, M.D., Baldonado, J.L., *Interfacial reactions in an Al-Cu-Mg (2009)/SiCw composite during liquid processing. Part I. Casting*. J. Mater. Sci., **36**, (2001), 419-428.
- [Var02] Varin, R.A., *Intermetallic-reinforced light-metal matrix in-situ composites*. Metall. Mater. Trans. A, **33A**, (2002), 193-201.
- [Ver87] Verhoeven, J.D., *Fundamentos de Metalurgia Física*. Ed. Limusa, **México**, (1987).
- [VRS97] Vybornov, M., Rogl, P., Sommer, F., *On the thermodynamic stability and solid solution behavior of the phases π_5 -Fe₂Al₇Si and π_6 -Fe₂Al₉Si₂*. J. Alloys Compounds, **247**, (1997), 154-157.
- [VVA91] Vyletel, G. M., Van Aken, D. C., Allison, J. E., *Effect of microstructure on the cyclic response and fatigue behavior of an XDTM aluminum metal matrix composite*. Scripta Metall. Mater., **25 (10)**, (1991), 2405-2410.
- [Wal86] Walter, G.W., *A review of impedance plot methods used for corrosion performance analysis of painted metals*. Corr. Sci., **226(9)**, (1986), 681-703.
- [Wan95] Wang, Z., *Fatigue of particulate ceramics reinforced metal matrix composites*. Key Eng. Mater., **104-107**, (1995), 765-790.
- [Web80] Webster, P.D., *Fundamentals of Foundry Technology*. Ed. Portcullis Press, **Redhill**, (1980).
- [WFL99] Wang, L.M., Flower, H.M., Lindley, T.C., *Precipitation of the omega phase in 2024 and 2124 aluminium alloy*. Scripta Mater., **41(4)**, (1999), 391-396.
-

- Refer. Autor/es, Título. Revista/Libro, **Vol/Ciudad**, (Año), pp.
-
- [WLa92] Wu, Y., Lavernia, E.J., *Strengthening behavior of particulate reinforced MMCs*. Scripta Metall. Mater., **27**, (1992), 173-178.
- [WLH99] Wang, R.-Y., Lu, W.-H., Hogan, L.M., *Growth morphology of primary silicon in cast Al-Si alloys and the mechanism of concentric growth*. J. Crystal Growth, **207**, (1999), 43-54.
- [WLS95] Wang, Z.G., Li, S., Sun, L., *Fatigue and fracture behaviors of discontinuously reinforced aluminum matrix composites*. Key Eng. Mater., **104-107**, (1995), 729-748.
- [WPS02] Williams, J.J., Piotrowski, G., Saha, R., Chawla, N., *Effect of overaging and particle size on tensile deformation and fracture of particle-reinforced aluminum matrix composites*. Metall. Mater. Trans. A, **33A (12)**, (2002), 3861-3869.
- [WZC04] Wu, G., Zhang, Q., Chen, G., Jiang, L., Xiu, Z., *Properties of high reinforcement-content aluminum matrix composite for electronic packages*. J. Mater. Sci.: Mater. Electron., **14(1)**, (2004), 9-12.
- [XTB03] Xian-Qing, X., Tong-Xiang, F., Bing-He, S., Di, Z., Sakata, T., Mori, H., Okabe, T., *Dry sliding friction and wear behavior of woodceramics/Al-Si composites*. Mater. Sci. Eng. A, **A342**, (2003), 287-293.
- [Yan03] Yang, L.J., *Wear coefficient equation for aluminium-based matrix composites against steel disc*. Wear, **255**, (2003), 579-592.
- [YCC98] Ye, Z., Cheng, H.S., Chang, N.S., *Wear characteristics of particle-reinforced aluminum matrix composites in lubricated reciprocating contacts*. Tribology Trans., **41**, (1998), 359-367.
- [Yen97] Yen, B.K., *The effect of humidity on friction and wear of an aluminium-silicon eutectic alloy*. J. Mater. Sci., **32**, (1997), 821-828.
- [YKa05] Yaghmaee, M.S., Kaptay, G., *On the stability range of SiC ternary liquid Al-Si-Mg alloy*. Mater. Sci. Forum, **473-474**, (2005), 415-420.
- [YKP00] Yu, Y.B., Kim, S.S., Park, M.W., *Tensile ductility of powder metallurgy processed Al-5vol.%Al₃Nb composites with different prior aluminum powder sizes at elevated temperatures*. J. Mater. Sci. Lett., **19**, (2000), 1025-1028.
-

7. BIBLIOGRAFÍA

- Refer. Autor/es, Título. Revista/Libro, **Vol/Ciudad**, (Año), pp.
-
- [YMZ06] Yi, H., Ma, N., Zhang, Y., Li, X., Wang, H., *Effective elastic moduli of Al-Si composites reinforced in situ with TiB₂ particles*. Scripta Mater., **54**, (2006), 1093-1097.
- [YZe00] Yanming, Q., Zehua, Z., *Tool wear and its mechanism for cutting SiC particle-reinforced aluminium matrix composites*. J. Mater. Proc. Tech., **100**, (2000), 194-199.
- [ZAI93] Zhang, J., Alpast, A. T., *Wear regimes and transitions in Al₂O₃ particulate-reinforced aluminum alloys*. Mater. Sci. Eng. A, **A161**, (1993), 273-284.
- [ZFr03] Zhang, W., Frankel, G. S., *Transition between pitting and intergranular corrosion in AA2024*. Electrochimica Acta, **48**, (2003), 1193-1210.
- [ZLD01] Zhou, Y. C., Long, S. G., Duan, Z. P., Hashida, T., *Thermal damage in particulate-reinforced metal matrix composites*. J. Eng. Mater. Tech., **123**, (2001), 251-260.
- [ZWR03] Zheng, B. Q., Wu, B., Reddy, G., *In-situ processing of Al alloy composites*. Adv. Eng. Mater., **5(3)**, (2003), 167-172.
- [ZXu97] Zhou, W., Xu, Z. M., *Casting of SiC reinforced metal matrix composites*. J. Mater. Proc. tech., **63**, (1997), 358-363.

Capítulo 8

PUBLICACIONES DERIVADAS DE ESTA TESIS

8.1. PUBLICACIONES EN REVISTAS.

1. J. M. Bastidas, A. Forn, J. A. Lopez Caballero, E. Martín, M. T. Baile, *Corrosion mechanism of A-359-T6 aluminium alloy reinforced with SiC in chloride solution*. J. Electrochem. Soc., (pendiente de publicación).
2. A. Forn, J. M. Bastidas, J. A. Lopez Caballero, E. Martín, M. T. Baile, *Effect of thermal treatment on corrosion behaviour of 2124/SiC aluminium matrix composite in 3,5% NaCl.*, J. Appl. Electrochem., (pendiente de publicación).
3. J. M. Bastidas, A. Forn, E. Martín, M. T. Baile, J. A. Lopez Caballero. *Comportamiento frente a la corrosión de la aleación de aluminio 2124 reforzada con partículas de carburo de silicio*. Deformación metálica. **291**, (2006), 32-37.
4. J. A. Picas, A. Forn, R. Rilla y E. Martín. *Mejora de la resistencia al desgaste de aleaciones de aluminio mediante recubrimientos obtenidos por proyección térmica HVOF*. Revista de Metalurgia Madrid. **Vol. Extr.** , (2005), 197-201.
5. J. A. Picas, A. Forn, R. Rilla, E. Martín. *HVOF thermal sprayed coatings on aluminium alloys and aluminium matrix composites*. Surface & Coatings Technology, **200**, (2005). 1178-1181.
6. E. Martín, A. Forn, M^a.T. Baile, J.A. Picas y E. Rupérez. *Efecto del refuerzo y del tratamiento térmico en el desgaste en materiales compuestos de matriz de aluminio*. Anales de Mecánica de la Fractura. **20**, (2003), 344-348.
7. E. Martín, A. Forn, R. Nogué. *Strain hardening behaviour and temperature effect on Al-2124/SiCp*. Journal of Materials Processing Technology. **143-144**, (2003), 1-4.

8. A. Forn, E. Martín. *Mecanismos de generación y propagación de grietas en materiales compuestos base aluminio*. Anales de Mecánica de la Fractura. **19**, (2002), 229-234.
9. R.Nogué, E.Martín, A.Forn. *Evaluación mediante corrientes inducidas de las variaciones estructurales en materiales compuestos de matriz metálica*. Anales de ingeniería mecánica. **2**, (1998), 572-577.

8.2. PUBLICACIONES EN CONGRESOS.

10. A. Forn, E. Martín, J.A. Picas, E. Rupérez, E. Espinosa. *Efecto de la microestructura en el comportamiento tribológico de materiales compuestos base aluminio*. IX Congreso Nacional de Materiales. Vigo (España). (2006).
11. E. Martín, A. Forn, M.T. Baile, J.A. Picas. *Influence of Heat Treatments on Mechanical Properties of 2124 Aluminium Matrix Composites*. International Conference on Innovative Solutions for the Advancement of the Transport Industry. San Sebastián (España), (2006).
12. J.A.López-Caballero, A. Forn, M.T. Baile, E. Martín, J.M. Bastidas. *Corrosion behaviour of A2124 aluminium alloy reinforced with silicon carbide particles*. 16 th Internacional Corrosion Congress (16th ICC). Pequín (China). (2005).
13. J.A.López-Caballero, A. Forn, E. Martín, M.T. Baile, J.M. Bastidas. *Corrosion behaviour of A359 aluminium alloy reinforced with silicon carbide particles*. European Corrosion Congress (EUROCORR 2005). Lisboa (Portugal). (2005).
14. J.A. López-Caballero, E. Martín, M.T. Baile, A. Forn y J.M. Bastidas. *Comportamiento frente a la corrosión del material 2124 reforzado con partículas de SiC*. XLIV Congreso Sociedad Española de Cerámica y Vidrio. Vigo, (2004).
15. E. Martín, A. Forn. *Resistencia y flujo plástico del material compuesto 2124/SiC/17p*. XXI Encuentro del Grupo Español de Fractura. Punta Umbría, (2004).
16. J. A. Picas, A. Forn, R. Rilla and E. Martín. *HVOF thermal sprayed coatings on aluminium alloys and aluminium matrix composites*. Ninth International Conference on Plasma Surface Engineering. Garmisch-Partenkirchen (Germany). (2004).

17. A. Forn, E. Martín, M^o. T. Baile, J. M. Bastidas. *Resistencia a la corrosión de las aleaciones de Aluminio de fundición y de forja reforzadas con partículas cerámicas*. V Congreso de corrosión de la NACE región Latinoamérica. VIII Congreso iberoamericano de corrosión y protección. (V LATINCORR). Santiago de Chile (Chile), (2003).
18. J.A. Picas, A. Forn, R. Rilla, E. Martín. *Mejora de la resistencia al desgaste de aleaciones de aluminio mediante recubrimientos obtenidos por proyección térmica HVOF*. IX Congreso de Ciencia y Tecnología Metalúrgicas. (CTM 2003). Madrid, (2003).
19. A. Forn, E. Martín, M^a T. Baile, E. Rupérez. *The influence of heat treatments on aluminium matrix composites mechanical properties*. Tenth Annual International Conference on Composites / NANO Engineering. (ICCE-10). Nueva Orleans, Luisiana (EEUU), (2003).
20. A. Forn, E. Rupérez, E. Martín, M.T. Baile. *Efecto del refuerzo en los tratamientos de envejecimiento en materiales compuestos base aluminio*. IX Congreso Nacional de Tratamientos Térmicos y de Superficie (TRATERMAT). San Sebastián, (2003).
21. E. Martín A. Forn, J.A. Picas. *Tribología de materiales compuestos base aluminio*. 8^o Congreso Nacional de Propiedades Mecánicas. Gandia, (2002).
22. A. Forn, E. Martín. *Mecanismos de propagación y generación de grietas en materiales compuestos base aluminio*. XIX Encuentro del Grupo Español de Fractura. Girona, (2002).
23. A. Forn, E. Martín, M.T. Baile, J.M. Bastidas. *Corrosion behaviour of AA 2124 and AA 359 reinforced with SiC particles*.

- 15th International Corrosion Congress. Granada (España), (2002).
24. A. Forn, E. Martín, R. Nogué. *Strain hardening behaviour and temperature effect on Al-2124/SiCp*. International Conference on Advances in Materials and Processing Technologies. Madrid (España), (2001).
25. A. Forn, E. Martín, R. Nogué. *Influencia del proceso de conformación en las propiedades del material compuesto A359 + 20% SiCp*. 8º Congreso Nacional de Tratamientos Térmicos y de Superficies. Barcelona, (2000).
26. B. Tabernig, R. Pippan, M. Bruzzi, P. McHugh, J. Foulquier, A. Rapoport, G.P. Fedrigoni, P.M. Powell, R. Cook, A. Forn, E. Martín, F. Fiori, F. Rustichelli. *Modelling of interservice fatigue performance of particle reinforced aluminium alloys*. Fourth International Conference of the Engineering Integrity Society (Fatigue 2000). Cambridge (Reino Unido), (2000).
27. A. Forn, E. Martín, R. Nogué. *Efecto de la temperatura en las propiedades mecánicas de la aleación reforzada 2124+17% SiCp*. 8º Congreso Nacional de Tratamientos Térmicos y de Superficies. Barcelona, (2000).
28. E. Martín, A. Forn, R. Nogué. *Caracterización estructural y propiedades mecánicas de MMC base aluminio*. VI Reunión Nacional de Materiales. San Sebastián, (1999).
29. R. Nogué, E. Martín, A. Forn. *Caracterización estructural de materiales mediante corrientes inducidas*. 9º Congreso Nacional Ensayos No Destructivos. Vitoria-Gasteiz, (1999).
30. R.Nogué, E. Martín, J. Masip, A. Forn. *Desarrollo de un sistema de control de calidad para aleaciones de aluminio*. VII Congreso Nacional de Tratamientos Térmicos y de Superficie, Madrid, (1998), 249-256.

Capítulo 9

ANEXOS

9.1. RELACIÓN DE TABLAS

TABLA		PÁG.
Tabla 2.1	Propiedades físicas y mecánicas típicas de varias aleaciones de aluminio y cerámicas utilizadas como refuerzo en materiales compuestos de matriz metálica....	15
Tabla 2.2	Potenciales estándar de reducción de metales respecto al electrodo de hidrógeno estándar, a 25 °C.....	61
Tabla 2.3	Potenciales de corrosión de algunas fases intermetálicas, en una solución 0,1 M.	64
Tabla 3.1	Composición química nominal de la aleación A359.	71
Tabla 3.2	Composición química de la aleación A359 utilizada en este estudio.	71
Tabla 3.3	Composición química nominal de la aleación A2124.	73
Tabla 3.4	Composición química de la aleación A2124 utilizada en este estudio.	74
Tabla 4.1	Equipos utilizados para el estudio metalográfico.	81
Tabla 4.2	Definición de tratamientos térmicos realizados.	87
Tabla 4.3	Dimensiones de las probetas de tracción.	90
Tabla 5.1	Valores estadísticos de la porosidad detectada en la aleación A359, en estudios sobre los lingotes 1 (estado de colada) y 2 (estado T6).	124
Tabla 5.2	Tamaño de grano de la aleación A359, en estudios sobre los lingotes L1 (estado de colada) y L2 (estado T6).....	126
Tabla 5.3	Geometría de las partículas de SiC y de Si en el lingote L3 de A359/SiC/20p.	130
Tabla 5.4	Valores estadísticos de la porosidad detectada en el material A359/SiC/20p.	132
Tabla 5.5	Tamaño de grano del lingote L4 del material A359/SiC/20p.	133
Tabla 5.6	Valores estadísticos de la porosidad detectada en el componente del material A359/SiC/20p.	136
Tabla 5.7	Distribución de la porosidad detectada en el componente de A359/SiC/20p.	137
Tabla 5.8	Geometría de la porosidad, de las partículas de SiC y de las dendritas de la fase alfa en los diferentes puntos del tambor de freno de A359/SiC/20p.	140
Tabla 5.9	Porosidad de la aleación A2124.	147
Tabla 5.10	Geometría de las partículas de SiC en el material A2124/SiC/17p.	150
Tabla 5.11	Orientación, en radianes, de las partículas de SiC en el material A2124/SiC/17p.	150
Tabla 5.12	Matriz de experimentos para la puesta en solución del material A2124/SiC/17p T4.	173

TABLA		PÁG.
Tabla 5.13	Valores experimentales máximos de dureza plástica, H _{plas} , a la temperatura de puesta en solución indicada, para el material A2124/SiC/17p.	175
Tabla 5.14	Resultados experimentales de los ensayos de tracción para la aleación A359 en estado de colada y con tratamiento T6.	185
Tabla 5.15	Valores del coeficiente de endurecimiento por deformación para el material A359 T6.	188
Tabla 5.16	Resultados experimentales de los ensayos de tracción para el material A359/SiC/20p en estado T6 y en estado de colada.	189
Tabla 5.17	Resultados experimentales de los ensayos de tracción, a temperatura ambiente, para el material compuesto A359/SiC/20p T6 (tambor de freno), y datos facilitados por CR Fiat sobre un tambor de freno optimizado en fabricación.	190
Tabla 5.18	Resultados experimentales de los ensayos de tracción para el material compuesto A359/SiC/20p T6 con tratamientos isotérmicos a 150 °C.	191
Tabla 5.19	Valores del coeficiente de endurecimiento por deformación para el material A359/SiC/20p T6.	192
Tabla 5.20	Resultados experimentales de los ensayos de tracción para la aleación A2124 T4.	197
Tabla 5.21	Parámetros de endurecimiento para la aleación A2124 T4.	200
Tabla 5.22	Propiedades mecánicas para la aleación A2124 en distintos estados metalúrgicos.	201
Tabla 5.23	Parámetros de endurecimiento para la aleación A2124....	202
Tabla 5.24	Resultados experimentales de los ensayos de tracción para la aleación A2124/SiC/17p T4.	205
Tabla 5.25	Parámetros de endurecimiento para el material A2124/SiC/17p T4.	208
Tabla 5.26	Propiedades mecánicas para el material compuesto A2124/SiC/17p en distintos estados metalúrgicos.	209
Tabla 5.27	Parámetros de endurecimiento para el material A2124/SiC/17p.	210
Tabla 5.28	Propiedades mecánicas para el material compuesto A2124/SiC/17p T4 con tratamiento isotérmico a 150 °C.	211
Tabla 5.29	Rigidez experimental y prevista para los materiales A2124/SiC/17p T4 y A359/SiC/20p T6 en ensayos a temperatura ambiente, según la regla de las mezclas.....	220
Tabla 5.30	Rigidez experimental y prevista para los materiales A2124/SiC/17p T4 y A359/SiC/20p T6 en ensayos a temperatura ambiente, según Halpin-Tsai y Corbin-Wilkinson.	221

9. ANEXOS

TABLA		PAG.
Tabla 5.31	Límite elástico experimental y previsto para el material A2124/SiC/17p T4, a temperatura ambiente.	230
Tabla 5.32	Tensiones residuales en A359/SiC/20p T6 y A2124/SiC/17p T4.	231
Tabla 5.33	Capacidad de endurecimiento para los materiales estudiados, MPa.	252
Tabla 5.34	Resultados experimentales de los ensayos de fatiga para la aleación A359 T6.	260
Tabla 5.35	Resultados experimentales de los ensayos de fatiga para el material A359/SiC/20p T6.	262
Tabla 5.36	Resultados experimentales de los ensayos de fatiga para la aleación A2124 T4.	267
Tabla 5.37	Resultados experimentales de los ensayos de fatiga para el material A2124/SiC/17p T4.	270
Tabla 5.38	Resultados experimentales de los ensayos de desgaste para la aleación A359 T6 para una carga de 10N.	300
Tabla 5.39	Resultados experimentales de los ensayos de desgaste de la aleación A359 T6, con valores de desgaste para 10000 vueltas.	302
Tabla 5.40	Resultados experimentales de los ensayos de desgaste del material compuesto A359/SiC/20p T6 para una carga de 10N.	306
Tabla 5.41	Resultados experimentales de los ensayos de desgaste del material A359/SiC/20p T6, con valores de desgaste para 10000 vueltas.	307
Tabla 5.42	Resultados experimentales de los ensayos de desgaste para la aleación A2124 T4 para una carga de 10N.	309
Tabla 5.43	Resultados experimentales de los ensayos de desgaste de la aleación A2124 T4, con valores de desgaste para 10000 vueltas.	310
Tabla 5.44	Resultados experimentales de los ensayos de desgaste del material compuesto A2124/SiC/17p T4.	314
Tabla 5.45	Resultados experimentales de los ensayos de desgaste del material A2124/SiC/17p T4, con valores de desgaste para 10000 vueltas.	315
Tabla 5.46	Ecuaciones constitutivas del desgaste para los distintos materiales.	332
Tabla 5.47	Parámetros de corrosión obtenidos mediante medidas electroquímicas para la aleación A359 T6, en disoluciones aireada y desaireada de NaCl al 3,5%.	338
Tabla 5.48	Parámetros utilizados en la simulación de los datos de impedancia del material A359 T6 en disolución aireada de NaCl al 3,5%.	340
Tabla 5.49	Parámetros de corrosión obtenidos mediante medidas electroquímicas para el material A359/SiC/20p T6, en disoluciones aireada y desaireada de NaCl al 3,5%.	345

TABLA	PÁG.
Tabla 5.50 Parámetros utilizados en la simulación de los datos de impedancia del material A359 T6/SiC/20p T6, en disolución aireada de NaCl al 3,5%.	347
Tabla 5.51 Parámetros de corrosión obtenidos mediante medidas electroquímicas para la aleación A2124 T4, en disoluciones aireada y desaireada de NaCl al 3,5%.	350
Tabla 5.52 Parámetros utilizados en la simulación de los datos de impedancia del material A2124 T4 en disolución aireada de NaCl al 3,5%.	351
Tabla 5.53 Parámetros de corrosión obtenidos mediante medidas electroquímicas para el material A2124/SiC/17p, en disoluciones aireada y desaireada de NaCl al 3,5% y para diferentes tratamientos térmicos.	356
Tabla 5.54 Parámetros utilizados para la simulación de las impedancias, en disoluciones aireadas de NaCl al 3,5% para el material A2124/SiC/17p, y con diferentes tratamientos térmicos.	357

9.2. RELACIÓN DE FIGURAS

FIGURA		PÁG.
Fig. 1.1	Fuerzas impulsoras de los cambios en las industrias del transporte.	3
Fig. 1.2	Helicóptero EC120 y conector de palas.	5
Fig. 1.3	Sistema de frenado de un automóvil y tambor de freno.	6
Fig. 1.4	Materiales Compuestos de Matriz Metálica: Árbol de factores que afectan a sus características y propiedades.	7
Fig. 2.1	Esquema de la clasificación de los materiales compuestos.	13
Fig. 2.2	Representación esquemática de las geometrías del refuerzo en los materiales compuestos de matriz metálica.	14
Fig. 2.3	Microestructura de material compuesto de matriz de aluminio con diferentes tipos de refuerzos.	14
Fig. 2.4	Rigidez específica vs. resistencia específica para distintos materiales estructurales.	16
Fig. 2.5	Rigidez específica vs coste específico para distintos productos primarios.	17
Fig. 2.6	Designación de los materiales compuestos de matriz de aluminio, según H35.5.	17
Fig. 2.7	Algunas aplicaciones industriales de materiales compuestos de matriz de aluminio (I).	19
Fig. 2.8	Algunas aplicaciones industriales de materiales compuestos de matriz de aluminio (II).	20
Fig. 2.9	Diagrama esquemático de la producción de materiales compuestos mediante moldeo, infiltración y extrusión.	22
Fig. 2.10	Diagrama esquemático del moldeo mediante <i>squeeze casting</i>	25
Fig. 2.11	Diagrama esquemático de una unidad de infiltración continua a presión.	26
Fig. 2.12	Espumas del material AlSi10/SiC/10p.	26
Fig. 2.13	Representación esquemática de la ruta de pulvimetalurgia para la fabricación de materiales compuestos.	27
Fig. 2.14	Intervalo de temperaturas de trabajo para los procesos en estado semisólido.	28
Fig. 2.15	Representación esquemática del proceso Osprey.	29
Fig. 2.16	Condiciones para la formación preferencial de SiC en las aleaciones Al-Si en estado líquido.	31
Fig. 2.17	Esquema de los procesos de fabricación de componentes AMC.	33
Fig. 2.18	Diagrama de fases Al-Cu.	35
Fig. 2.19	Sistema Al-Cu-Mg: Isópleta para un 95,5 % en peso de Al.	36
Fig. 2.20	Diagrama de fases Al-Cu en la zona rica en Al.	38
Fig. 2.21	Esquema justificativo de la forma de la gráfica C.	38

FIGURA		PÁG.
Fig. 2.22	Diagrama Tiempo-Temperatura-Transformación para la aleación 2024.	39
Fig. 2.23	Curvas de envejecimiento de la aleación 2024.	39
Fig. 2.24	Variación de la dureza con el tiempo de envejecimiento para las aleaciones Al-Cu y secuencia de precipitación.	40
Fig. 2.25	Diagrama de fases Al-Si.	41
Fig. 2.26	Diagrama de fases Al-Mg ₂ Si.	41
Fig. 2.27	Evolución con el tiempo de la dureza Brinell, a 190 °C, para la aleación 2024 y el material compuesto 2024/SiC.	44
Fig. 2.28	Variación de la resistencia a tracción, σ_R . límite elástico, $\sigma_{0,2}$, y alargamiento a fractura, ε_f , con la proporción de refuerzo en 6013/SiCp T6.	46
Fig. 2.29	Variación de la resistencia a tracción, σ_R . límite elástico, $\sigma_{0,2}$, y alargamiento a fractura, ε_f , con la raíz cuadrada del diámetro del refuerzo en 6013/SiCp T6.	47
Fig. 2.30	Esquema de los mecanismos de fallo predominantes en materiales compuestos sujetos a diferentes tratamientos.	53
Fig. 2.31	Efecto de la temperatura en la resistencia mecánica.	54
Fig. 2.32	Curva tensión-deformación cíclica para el material compuesto 6061/SiCp/20p T6.	55
Fig. 2.33	Curva de endurecimiento cíclico para el material compuesto 6061/Al ₂ O ₃ /15p T6 para diferentes amplitudes de tensiones..	56
Fig. 2.34	Curvas S-N de la aleación A356 y del material compuesto A356/SiC/15p.	57
Fig. 2.35	Velocidad de desgaste en función de la carga aplicada para materiales compuestos base aluminio reforzados con fibras de boro.	59
Fig. 2.36	Resistencia al desgaste en función del tamaño de las partículas de SiC para el material 1100/SiC/20p.	60
Fig. 2.37	Esquema de la película de óxido que se forma en el aluminio..	62
Fig. 2.38	Diagramas de Pourbaix (E-pH) para el aluminio puro.	63
Fig. 2.39	Picaduras en las aleaciones de aluminio, favorecidas por la presencia de zonas catódicas.	64
Fig. 2.40	Efecto de los principales elementos de aleación en el potencial de corrosión del aluminio.	65
Fig. 2.41	Curvas de polarización para el aluminio 1050 y el material compuesto 1050/SiC/20p.	67
Fig. 3.1	Esquema del proceso Duralcan.	72
Fig. 3.2	Tambor de freno suministrado por CR Fiat.	73
Fig. 3.3	Esquema de flujo de material en el proceso AMC.	74
Fig. 3.4	Esquema del proceso de forja realizado por Forges de Bologne.	75
Fig. 4.1	Estación metalográfica Leica.	81

FIGURA		PÁG.
Fig. 4.2	Microscopio electrónico de barrido JEOL SM-5600 (SEM) y EDS.	81
Fig. 4.3	Definición de parámetros geométricos de la porosidad en A2124.	83
Fig. 4.4	Definición de direcciones y planos para un producto forjado. ...	84
Fig. 4.5	Situación de las muestras seleccionadas para los estudios metalográficos del material A2124/SiC/17p.	84
Fig. 4.6	Hornos eléctrico HOBERSAL tubular y de mufla.	86
Fig. 4.7	Esquema de los diferentes tratamientos térmicos efectuados...	87
Fig. 4.8	Esquema de los tratamientos térmicos efectuados al material A2124/SiC/17p.	89
Fig. 4.9	Geometría de las probetas de tracción.	90
Fig. 4.10	Esquema del proceso de mecanizado de las probetas de tracción.	91
Fig. 4.11	Esquema de extracción de probetas para los ensayos de tracción de los materiales de forja.	92
Fig. 4.12	Máquina ZWICK Z100/TL3S.	93
Fig. 4.13	Diagramas tensión – deformación real y de ingeniería.	94
Fig. 4.14	Regiones de deformación elástica y plástica en el diagrama real de tensiones y deformaciones.	95
Fig. 4.15	Durómetro EMCO.	96
Fig. 4.16	Ultramicrodurómetro Fischerscope H100.	98
Fig. 4.17	Curva profundidad de penetración-carga aplicada para un ensayo dinámico de indentación.	101
Fig. 4.18	Correspondencia entre el área de un punzón cilíndrico y un penetrador piramidal.	103
Fig. 4.19	Probetas de fatiga, según lámina 13010 de EADS, para una K_t de 1,035 y de 1,3.	105
Fig. 4.20	Probeta prismática de fatiga, entallada mediante electroerosión.	106
Fig. 4.21	Gráfica de amplitud de deformaciones frente a la vida a fatiga, con indicación de las regiones de fatiga a elevado número de ciclos y a bajo número de ciclos.	107
Fig. 4.22	Obertura de grieta en función de la amplitud de intensidad de tensiones.	108
Fig. 4.23	Velocidad de crecimiento de grieta en función de la amplitud de intensidad de tensiones.	108
Fig. 4.24	Principio de cierre de grieta: a) variación de ΔK con la tensión aplicada y su modificación con las fuerzas de cierre de grieta; b) gráfica anterior en función del tiempo.	109
Fig. 4.25	Diagrama de Kitagawa-Takahashi.	110
Fig. 4.26	Esquema del funcionamiento del tribómetro pin-on-disc.	111
Fig. 4.27	Tribómetro pin-on-disc CSEM.	112

FIGURA		PÁG.
Fig. 4.28	Rugosímetro-perfilómetro Taylor-Hobson.	112
Fig. 4.29	Bola presionando sobre una superficie plana.	113
Fig. 4.30	Desgaste ocasionado por una bola deslizando con una presión sobre una superficie plana.	113
Fig. 4.31	Representación de las curvas potencial-corriente para fenómenos de corrosión en los que solo participan factores de polarización por activación.	116
Fig. 4.32	Circuito eléctrico equivalente de Randles y diagrama de Nyquist de una célula electroquímica	117
Fig. 5.1	Microestructura de la aleación A359 en estado de colada.	121
Fig. 5.2	Análisis EDS de algunos compuestos intermetálicos de Al(Fe,Si,Mn) de estructura compleja (escritura <i>china</i>) y de Mg ₂ Si.	122
Fig. 5.3	Análisis EDS de compuestos intermetálicos del tipo Al(Fe, Si, Mg, Mn) de estructura compleja (escritura <i>china</i>).	123
Fig. 5.4	Rechupe y gas atrapado en la aleación A359 T6.	124
Fig. 5.5	Poros de gas atrapado de gran tamaño en A359 T6.	124
Fig. 5.6	Distribución de porosidad en A359 T6.	125
Fig. 5.7	Estructura de grano en A359 T6.	125
Fig. 5.8	Aglomeración de partículas de SiC en A359/SiC/20p T6, lingote L4. Microscopía óptica.	126
Fig. 5.9	Aglomeración de partículas de SiC en A359/SiC/20p T6, lingote L4. Microscopía electrónica de barrido.	126
Fig. 5.10	Distribución de las partículas de SiC y de silicio en A359/SiC T6.	127
Fig. 5.11	Precipitación de compuestos intermetálicos entre las partículas de SiC en A359/SiC/20p.	128
Fig. 5.12	Precipitados de Mg ₂ Si y de Al (Fe,Si,Mg,Mn) en aglomerados de SiC. A359/SiC/20p.	128
Fig. 5.13	Precipitados de Mg ₂ Si entre aglomerados de Si en A359/SiC/20p.	128
Fig. 5.14	Estructura Widmanstätten de la fase intermedia β' del Mg ₂ Si en A359/SiC/20p T6.	129
Fig. 5.15	Silicio equiaxial en aglomerados de SiC en lingote L3. Microscopía óptica.	130
Fig. 5.16	Silicio equiaxial en aglomerados de SiC en lingote L3. Microscopía SEM.	130
Fig. 5.17	Distribución del tamaño de las partículas de SiC en el lingote L3.	131
Fig. 5.18	Silicio eutéctico acicular interdendrítico en lingote L4 de A359/SiC/20p.	131
Fig. 5.19	Silicio eutéctico parcialmente modificado en lingote L4 de A359/SiC/20p.	131

9. ANEXOS

FIGURA		PÁG.
Fig. 5.20	Partículas de SiC fracturadas en lingote L3 del material 359/SiC/20p.	132
Fig. 5.21	Partículas de SiC fracturadas en lingote L3 del material 359/SiC/20p.	132
Fig. 5.22	Rechupe en aglomerados de partículas de SiC en lingote L3 de A359/SiC/20p.	133
Fig. 5.23	Gas atrapado en lingote L3 de A359/SiC/20p.	133
Fig. 5.24	Estructura de grano de A359/SiC/20p.	133
Fig. 5.25	Estructura de grano de A359/SiC/20p.	133
Fig. 5.26	Definición de parámetros geométricos de las dendritas.	134
Fig. 5.27	Microestructura de A359 y A359/SiC/20p.	134
Fig. 5.28	Magnitudes microestructurales de los materiales A359 y A359/SiC/20p.	135
Fig. 5.29	Microestructura del componente A359/SiC/20p T6.	135
Fig. 5.30	Rechupe interdendrítico en componente A359/SiC/20p.	136
Fig. 5.31	Gas atrapado en componente A359/SiC/20p.	136
Fig. 5.32	Probabilidad de distribución de la porosidad en A359 y A359/SiC/20p.	137
Fig. 5.33	Esquema del tambor de freno A359/SiC/20p, con indicación de los puntos en los que se realiza el estudio metalográfico.....	138
Fig. 5.34	Microestructuras en diferentes puntos de la pared y del fondo del tambor de freno A359/SiC/20p.	139
Fig. 5.35	Distribución de la porosidad y de las partículas de SiC en el tambor de freno.....	141
Fig. 5.36	Distribución de la porosidad y de las partículas de SiC en la parte inferior del tambor de freno.	141
Fig. 5.37	Distribución media del tamaño de las partículas de refuerzo en el tambor de freno del material A359/SiC/20p.	142
Fig. 5.38	Variación de la porosidad en el componente A359/SiC/20p con la longitud media de las partículas de SiC y con el porcentaje de las partículas.	142
Fig. 5.39	Variación del tamaño de la porosidad con la presencia de partículas de SiC para el componente A359/SiC/20p.	143
Fig. 5.40	Variación del factor de forma de la porosidad con la presencia de partículas de SiC para el componente A359/SiC/20p.	143
Fig. 5.41	Relación entre la cantidad de partículas de refuerzo y la distancia entre brazos dendríticos, DAS.	144
Fig. 5.42	Microestructura inicial del lingote L4 A359/SiC/20p.	145
Fig. 5.43	Microestructura del lingote L4 A359/SiC/20p en colada desde 750 °C.	145
Fig. 5.44	Microestructura del lingote L4 A359/SiC/20p en colada desde 850 °C.	145

FIGURA	PÁG.
Fig. 5.45 Microestructura del lingote L4 A359/SiC/20p en colada desde 1000 °C.	145
Fig. 5.46 Evolución con la temperatura de colada del silicio equiaxial respecto al acicular para el material A359/SiC/20p.	145
Fig. 5.47 Microestructura de la aleación A2124. Presencia de intermetálicos y de microporosidad.	146
Fig. 5.48 Microestructura de la aleación A2124. Grano equiaxial y presencia de intermetálicos.	146
Fig. 5.49 Análisis EDS de intermetálicos del tipo Al ₂ Cu en fronteras de grano de la aleación A2124.	146
Fig. 5.50 Estructura de grano de la aleación A2124.	147
Fig. 5.51 Partículas de SiC en A2124/SiC/17p.	148
Fig. 5.52 Intermetálicos, del tipo AlCuMg, y Al ₂ Cu precipitados en partículas de SiC.	149
Fig. 5.53 Estructura de grano en A2124/SiC/17p.	150
Fig. 5.54 Distribución del tamaño de las partículas de SiC en el material A2124/SiC/17p.	151
Fig. 5.55 Orientación de las partículas de SiC en el material A2124/SiC/17p en los planos L-LT, L-ST y LT-ST y dirección media en cada plano.	151
Fig. 5.56 Orientación de las partículas de SiC en el plano L-LT.	152
Fig. 5.57 Características de las partículas de refuerzo.	153
Fig. 5.58 Solidificación del material compuesto A359/SiC/20p.	155
Fig. 5.59 Representación esquemática de la dependencia de la aglomeración de partículas con la geometría.	156
Fig. 5.60 Solubilidad del hidrógeno en función de la temperatura para el aluminio puro y las aleaciones A356 y A319.	158
Fig. 5.61 Geometría de la porosidad para los distintos materiales.	161
Fig. 5.62 Sobreenfriamiento en el líquido delante de las dendritas de fase α y sobrecalentamiento local en el líquido alrededor de las partículas de SiC.	163
Fig. 5.63 Velocidades de nucleación y de crecimiento en función de la temperatura y del sobre enfriamiento ΔT	164
Fig. 5.64 Variación de la composición de silicio en el líquido por las reacciones de solidificación y la reacción en la interfase SiC-Al	166
Fig. 5.65 Evolución de la dureza, a 191 °C, para la aleación A2124.	172
Fig. 5.66 Evolución de la dureza a temperatura ambiente para la aleación A2124 (estado T4).	173
Fig. 5.67 Evolución de la dureza en función de la temperatura y el tiempo de envejecimiento para A2124/SiC/17p con puesta en solución a 490 °C, 495°C , 491°C, 500°C y 510 °C.	174
Fig. 5.68 Evolución de la dureza a temperatura ambiente, en función del tiempo de envejecimiento, para el material compuesto A2124/SiC/17p.	176

FIGURA	PÁG.
Fig. 5.69 Evolución de la dureza con la temperatura de solubilización para el material A2124/SiC/17p.	177
Fig. 5.70 Evolución de la dureza con el tiempo de solubilización para el material A2124/SiC/17p.	178
Fig. 5.71 Evolución de la dureza para el material A2124/SiC/17p para unas condiciones seleccionadas.	179
Fig. 5.72 Evolución de la dureza a la temperatura de 180 °C en función del tiempo de envejecimiento para el material A2124/SiC/17p con puesta en solución a 490 °C durante 5 horas.	180
Fig. 5.73 Gráfica de evolución de la dureza a la temperatura de 180°C en función del tiempo de envejecimiento, para el material A2124/SiC/17p con puesta en solución a 495 °C durante 2 horas.	181
Fig. 5.74 Diagramas de transformación Temperatura-tiempo para el material A2124/SiC/.	181
Fig. 5.75 Evolución de la dureza en función del tiempo de envejecimiento a 191 °C para la aleación A2124 y el material compuesto A2124/SiC/17p.	182
Fig. 5.76 Evolución de la dureza en función del tiempo de envejecimiento, a temperatura ambiente, para la aleación A2124 y el material compuesto A2124/SiC/17p.	183
Fig. 5.77 Gráficas tensión – deformación para el material A359 T6.	186
Fig. 5.78 Evolución de las propiedades con el tratamiento térmico para el material A359, a temperatura ambiente.	186
Fig. 5.79 Evolución de las propiedades con la temperatura para el material A359 en estado de colada y con tratamiento térmico T6.	187
Fig. 5.80 Superficie de fractura de una probeta de tracción del material A359 T6, ensayo a temperatura ambiente.	188
Fig. 5.81 Gráficas tensión – deformación para el material A359/SiC/20p T6.	189
Fig. 5.82 Evolución de las propiedades con la temperatura para el material A359/SiC/20p T6.	190
Fig. 5.83 Evolución de las propiedades para el material compuesto A359/SiC/20p T6 con tratamientos isotérmicos a 150 °C.	191
Fig. 5.84 Superficie de fractura de una probeta de tracción del material A359/SiC/20p T6, ensayo a temperatura ambiente, mostrando porosidad por gas.	192
Fig. 5.85 Superficie de fractura de probetas de tracción de: a) lingote 1 del material A359/SiC/20p, ensayo a temperatura ambiente, mostrando micro rechupes, porosidad por gas y pieles.	193
Fig. 5.86 Superficie de fractura de probetas de tracción de componente mostrando película de óxido atrapada o piel y unión fría.	193
Fig. 5.87 Superficie de fractura de probetas de tracción del material A359/SiC/20p T6, ensayo a temperatura ambiente. Mostrando la presencia de partículas de SiC fracturadas.	194

FIGURA	PÁG.
Fig. 5.88 Sección transversal de la superficie de fractura de probeta de tracción del material A359/SiC/20p T6, ensayo a temperatura ambiente.	194
Fig. 5.89 Ampliación de la superficie de fractura de la Fig. 5.88., mostrando partículas de SiC fracturadas, decohesión en las interfases matriz-refuerzo y cavidades en la matriz.	195
Fig. 5.90 Sección transversal de la superficie de fractura de probeta de tracción del material A359/SiC/20p T6 ensayada a 200°C.	195
Fig. 5.91 Relación entre la temperatura de ensayo y la cantidad de partículas de SiC fracturadas en el material A359/SiC/20p T6..	196
Fig. 5.92 Gráficas tensión – deformación para el material A2124 T4, a diferentes temperaturas, en la dirección L.	198
Fig. 5.93 Gráficas tensión – deformación para el material A2124 T4, en las direcciones L, LT y ST, a temperatura ambiente.	198
Fig. 5.94 Evolución de las propiedades con la temperatura para el material A2124 T4, en la dirección L.	199
Fig. 5.95 Gráfica tensión – deformación para el material A2124 T4 a temperatura ambiente, en la dirección L.	199
Fig. 5.96 Gráfica tensión real – deformación real para el material A2124 T4 a 150 °C.	200
Fig. 5.97 Evolución de los parámetros de endurecimiento con la temperatura para la aleación A2124 T4.	201
Fig. 5.98 Gráficas tensión – deformación para la aleación A2124 en diferentes estados metalúrgicos.	202
Fig. 5.99 Curvas de flujo plástico para la aleación A2124, a temperatura ambiente.	203
Fig. 5.100 Curvas de flujo plástico para la aleación A2124 T4, a distintas temperaturas.	203
Fig. 5.101 Superficie de fractura de probeta de tracción del material A2124 T4, ensayo a temperatura ambiente.	204
Fig. 5.102 Partícula de (Cu,Fe,Mn)Al de gran tamaño en superficie de fractura de probeta de tracción del material A2124 T4.	204
Fig. 5.103 Gráficas tensión – deformación para el material A2124/SiC/17p T4, a diferentes temperaturas, en la dirección L.	206
Fig. 5.104 Gráficas tensión – deformación para el material A2124/SiC/17p T4, en las direcciones L, LT y ST, a temperatura ambiente.	206
Fig. 5.105 Evolución de las propiedades con la temperatura para el material A2124/SiC/17p T4, en la dirección L.	207
Fig. 5.106 Variación de las propiedades con la dirección de forja para el material A2124/SiC/17p T4, a temperatura ambiente.	207
Fig. 5.107 Evolución con la temperatura de los parámetros de endurecimiento para el material A2124/SiC/17p T4.	208

FIGURA	PÁG.
Fig. 5.108 Gráficas tensión–deformación para el material A2124/SiC/17p, en diferentes estados metalúrgicos.	209
Fig. 5.109 Curvas de flujo plástico para el material A2124/SiC/17p, a temperatura ambiente.	210
Fig. 5.110 Curvas de flujo plástico para el material A2124/SiC/17p T4, a distintas temperaturas.	211
Fig. 5.111 Superficie de fractura de probeta de tracción del material A2124/SiC/17p O1, ensayo a temperatura ambiente.	212
Fig. 5.112 Superficies de fractura de probetas de ensayos de tracción, a temperatura ambiente, del material A2124/SiC/17p en distintos estados metalúrgicos.	213
Fig. 5.113 Partícula de (Cu,Mg)Al en A2124/SiC/17p O1.	214
Fig. 5.114 Partículas de Cu ₂ Al y de CuMgAl - CuMnAl en A2124/SiC/17p O1.	214
Fig. 5.115 Partícula de SiC fracturada en A2124/SiC/17p T4. Probeta de tracción ensayada a temperatura ambiente.	215
Fig. 5.116 Partícula de SiC fracturada en A2124/SiC/17p T6. Probeta de tracción ensayada a temperatura ambiente.	215
Fig. 5.117 Superficie transversal de probeta de tracción de A2124/SiC/17p T4. Ensayo efectuado a 200 °C.	216
Fig. 5.118 Superficie de fractura de probeta de tracción de A2124/SiC/17p T7. Ensayo efectuado a temperatura ambiente.	216
Fig. 5.119 Gráficas tensión-deformación de ingeniería para los distintos materiales. Ensayos a temperatura ambiente.	218
Fig. 5.120 Dispersión de resultados respecto al valor medio de la resistencia a tracción. Valores de los ensayos efectuados a temperatura ambiente.	219
Fig. 5.121 Valores teóricos y experimentales del módulo elástico para los materiales reforzados, a temperatura ambiente.	222
Fig. 5.122 Variaciones del módulo elástico absolutas, ΔE , y relativas, $\Delta E\%$, a temperatura ambiente.	223
Fig. 5.123 Variaciones del módulo elástico según los modelos de Corbin-Wilkinson y de Halpin-Tsai, a temperatura ambiente, y su comparación con los datos experimentales.	223
Fig. 5.124 Variaciones del módulo elástico con la dirección de forja, a temperatura ambiente.	226
Fig. 5.125 Gráficas tensión-deformación de ingeniería para: a) materiales de fundición y b) materiales de pulvimetalurgia y forja. Ensayos a temperatura ambiente.	227
Fig. 5.126 Evolución, a temperatura ambiente, de las propiedades mecánicas con la adición de partículas de refuerzo para los materiales de fundición y para los materiales de forja.	228

FIGURA	PÁG.
Fig. 5.127 Valores del límite elástico para el material A2124/SiC/17p T4 según la dirección de forja. Variaciones teóricas y experimentales.	233
Fig. 5.128 Gráfica flujo plástico-tensiones para el material A21248SiC/17p T4, con indicación de las diferentes regiones de deformación.	235
Fig. 5.129 Gráfica flujo plástico-tensiones para el material A2124/SiC/17p T4 y la aleación A2124 T4.	236
Fig. 5.130 Gráfica tensiones-deformaciones para la aleación A2124 T4 y el material A2124/SiC/17p T4: a) variaciones de la tensión con la deformación, b) velocidad de variación de la tensión con la deformación.	236
Fig. 5.131 Coeficiente de endurecimiento por deformación, a temperatura ambiente, para la aleación A2124 T4 y el material A2124/SiC/17p T4.	238
Fig. 5.132 Límite de proporcionalidad estimado, $\sigma_{E,}$ y límite elástico convencional, $\sigma_{0,2}$	239
Fig. 5.133 Gráfica flujo plástico-tensión para el material A359/SiC/20p T6.	240
Fig. 5.134 Variación de la resistencia a la tracción con la temperatura.	241
Fig. 5.135 Variación relativa de la resistencia a la tracción con la temperatura.	242
Fig. 5.136 Variación de la ductilidad y el límite elástico con la temperatura para los materiales de forja.	243
Fig. 5.137 Variación del coeficiente de endurecimiento por deformación con la temperatura para los distintos materiales.	246
Fig. 5.138 Variación de la rigidez con la temperatura para a) Materiales base A359 T6, b) materiales base A 2124 T4.	247
Fig. 5.139 Variación de las propiedades mecánicas con el tratamiento térmico para los materiales A2124 y A2124/SiC/17p.	248
Fig. 5.140 A2124/SiC/17p. Variación con los tratamientos térmicos de: a) módulo elástico y alargamiento y b) módulo elástico y límite elástico.	249
Fig. 5.141 Evolución del coeficiente de endurecimiento por deformación con los tratamientos térmicos para el material A2124/SiC/17p.	252
Fig. 5.142 Diferencia de tensiones, a distintos niveles de deformaciones, entre el material A2124/SiC/17p y la aleación A2124, en los estados T4 y T6.	253
Fig. 5.143 Deformaciones reales, ϵ , frente a tensiones reales, σ , y flujo plástico, θ , en el campo plástico, para el material A2124/SiC/17p en los estados T4 y T6.	254
Fig. 5.144 Gráficas S-N para el material A359 T6.	259
Fig. 5.145 Variación de la relación del factor de intensidad de tensiones, en función de la longitud de grieta, para el material A359 T6 y para $R = 0,1$	260

FIGURA	PÁG.
Fig. 5.146 Crecimiento de grietas en A359 T6 para R = 0,1.	260
Fig. 5.147 Gráficas S-N para el material A359/SiC/20p T6.	261
Fig. 5.148 Variación de la relación del factor de intensidad de tensiones, en función de la longitud de grieta, para el material A359/SiC/20p T6 y para R = 0,1.	261
Fig. 5.149 Crecimiento de grietas en A359/SiC/20p T6 para R = 0,1.	262
Fig. 5.150 Aspecto general de la superficie de probeta de fatiga del componente A359/SiC/20p T6.	263
Fig. 5.151 Superficie de probeta de fatiga del componente A359/SiC/20p T6 mostrando microductilidad en la matriz y partículas de SiC fracturadas.	263
Fig. 5.152 Probetas de fatiga del componente A359/SiC/20p T6: a) óxido atrapado, p; b) y c) porosidad generalizada, g; y d) rechupe... ..	264
Fig. 5.153 Diagrama de Kitagawa para el material A359/SiC/20p T6, R = 0,1.	265
Fig. 5.154 Gráficas S-N para el material A2124 T4, dirección L.	265
Fig. 5.155 Variación de la relación del factor de intensidad de tensiones, en función de la longitud de grieta, para el material A2124 T4 y para R = 0,1.	266
Fig. 5.156 Crecimiento de grietas en A2124 T4 para R = 0,1.	266
Fig. 5.157 Superficie de probeta de fatiga de la aleación A2124 T4 en una zona de transición del régimen de Paris a fractura final. Probeta fracturada a 1619900 ciclos, solicitada a una tensión máxima de 400 MPa y para una R de 0,6.	268
Fig. 5.158 Gráficas S-N para el material A2124/SiC/17p T4.	269
Fig. 5.159 Variación de la relación del factor de intensidad de tensiones, en función de la longitud de grieta, para el material A2124/SiC/17p T4 y para R = 0,1.	270
Fig. 5.160 Crecimiento de grietas en A2124/SiC/17p T4 para R= 0,1.	270
Fig. 5.161 Superficie de probeta entallada de fatiga del material compuesto A2124/SiC/17p T4, fracturada a 400400 ciclos, solicitada a una tensión máxima de 375 MPa y para R = 0,6. .	271
Fig. 5.162 Superficie de probeta entallada de fatiga del material compuesto A2124/SiC/17p T4, fracturada a 118746 ciclos, solicitada a una tensión máxima de 160 MPa y para R = 0,1..	272
Fig. 5.163 Superficie de probeta entallada de fatiga del material compuesto A2124/SiC/17p T4 fracturada a 309952 ciclos, solicitada a una tensión máxima de 225 MPa y para R = 0,6. .	273
Fig. 5.164 Partícula de SiC dañada en la superficie de una probeta de fatiga del material compuesto A2124/SiC/17p T4 fracturada a 118746 ciclos, solicitada a una tensión máxima de 160 MPa y para una R de 0,1.	274
Fig. 5.165 Superficie de fractura de una probeta de fatiga del material compuesto A2124/SiC/17p T4 fracturada a 36288ciclos, solicitada a una tensión máxima de 180 MPa y para R = 0,1. .	274

FIGURA	PÁG.
Fig. 5.166 Aglomerado de cristales de $Al_3(FeCu)$ en el origen de la grieta de fatiga en probeta del material A2124/SiC/17p T4 fracturada a 12600 ciclos, solicitada a una tensión máxima de 400 MPa y para una R de 0,6.	275
Fig. 5.167 Partícula de Al_2O_3 , de gran tamaño, en el origen de la grieta de fatiga en probeta del material A2124/SiC/17p T4 fracturada a 463000 ciclos, solicitada a una tensión máxima de 365 MPa y para una R de 0,1.	276
Fig. 5.168 Partícula de Al_2Cu en el origen de la grieta de fatiga en una probeta del material A2124/SiC/17p T4, fracturada a 130500 ciclos, solicitada a una tensión máxima de 500 MPa y para una R de 0,6.	277
Fig. 5.169 Aglomerado de partículas de SiC en el origen de la grieta de fatiga en una probeta del material A2124/SiC/17p T4, fracturada a 83000 ciclos, solicitada a una tensión máxima de 490 MPa y para una R de 0,6.	278
Fig. 5.170 Diagrama de Kitagawa para el material A2127/SiC/17p T4, R = 0,1.	279
Fig. 5.171 Relación entre la resistencia a la fatiga y el módulo elástico. ...	281
Fig. 5.172 Relación entre la resistencia a la fatiga y la resistencia a tracción.	282
Fig. 5.173 Relación entre la resistencia a la fatiga y el límite elástico.	282
Fig. 5.174 Gráficas S-N, para R=0,1, para los materiales de fundición y para los materiales de forja.	285
Fig. 5.175 Gráficas S-N para los materiales A2124 T4 y A2124/SiC/17p T4, para R=0,6.	286
Fig. 5.176 Gráficas S-N para los materiales A359 T9 y A359/SiC/20p T6, para R= -1.	287
Fig. 5.177 Gráficas S-N para el material A359/SiC/20p T6, para R= 0,1 y R= -1.	288
Fig. 5.178 Propagación de grietas en materiales de distribución irregular del refuerzo (material de grano duro) y de distribución homogénea del refuerzo.	289
Fig. 5.179 Representación de los mecanismos de propagación de grietas en un material reforzado con partículas frágiles.	290
Fig. 5.180 Exponente m de la ley de Paris para los distintos materiales....	291
Fig. 5.181 Crecimiento de grietas para R = 0,1 en materiales de fundición y en materiales de pulvimetalurgia y forja.	292
Fig. 5.182 Crecimiento de grietas en la región de Paris, para R= 0,1.	294
Fig. 5.183 Curvas-R para los materiales A2124 T4 y A2124/SiC/17p T4, para R=0,1.	295
Fig. 5.184 Coeficiente de fricción para la aleación A359 T6 para una carga de 10N.	299
Fig. 5.185 Coeficiente de fricción para la aleación A359 T6 para una carga de 20N.	299

FIGURA	PÁG.
Fig. 5.186 Geometría idealizada del canal de desgaste.	300
Fig. 5.187 Sección transversal del canal de desgaste de la aleación A359 T6 a las 10000 vueltas para una carga de 10N.	300
Fig. 5.188 Perfil del canal de desgaste para la aleación A359 T6 para 2000 y 4000 vueltas, con una carga de 10N.	301
Fig. 5.189 Perfil del canal de desgaste para la aleación A359 T6 para 10000 vueltas y con una carga aplicada de 20 N.	301
Fig. 5.190 Desgaste acumulado: (a) área de desgaste y (b) volumen específico de desgaste, frente al nº de vueltas para la aleación A359 T6, con una carga de 10N.	302
Fig. 5.191 Sección longitudinal del canal de desgaste de la aleación A359 T6.	303
Fig. 5.192 Coeficiente de fricción para el material A359/SiC/20p T6 para una carga de 10N.	304
Fig. 5.193 Coeficiente de fricción para el material A359/SiC/20p T6 para una carga de 20 N.	304
Fig. 5.194 Sección transversal del canal de desgaste del material A359/SiC/20p T6 a las 10000 vueltas para una carga de 10N.	304
Fig. 5.195 Fragmentación de partículas y grietas en la matriz en A359/SiC/20p T6.	305
Fig. 5.196 Perfil del canal de desgaste para el material A359/SiC/20p T6 para 2000 y 4000 vueltas, para una carga de 10 N.	305
Fig. 5.197 Perfil del canal de desgaste para el material A359/SiC/20p T6 para 10000 vueltas y con una carga de 20 N.	306
Fig. 5.198 Desgaste acumulado: (a) área de desgaste y (b) volumen específico de desgaste, frente al nº de vueltas para la aleación A359/SiC/20p T6, con una carga de 10 N.	307
Fig. 5.199 Sección longitudinal del canal de desgaste del material A359/SiC/20p T6.	308
Fig. 5.200 Coeficiente de fricción para la aleación A2124 T4 con una carga de 10 N.	309
Fig. 5.201 Coeficiente de fricción para la aleación A2124 T4 con una carga de 20 N.	309
Fig. 5.202 Sección transversal del canal de desgaste de la aleación A2124 T4 a las 10000 vueltas, para una carga de 10 N.	309
Fig. 5.203 Perfil del canal de desgaste para la aleación A2124 T4 para 2000 y 4000 vueltas, con una carga de 10 N.	310
Fig. 5.204 Perfil del canal de desgaste para la aleación A2124 T4 para 10000 vueltas y con una carga de 20 N.	310
Fig. 5.205 Desgaste acumulado: (a) área de desgaste y (b) volumen específico de desgaste, frente al nº de vueltas para la aleación A2124 T4, con una carga de 10 N.	311
Fig. 5.206 Sección longitudinal del canal de desgaste del material A2124 T4.	312

FIGURA	PÁG.
Fig. 5.207 Coeficiente de fricción para el material A2124/SiC/17p T4 con una carga de 10 N.	313
Fig. 5.208 Sección transversal del canal de desgaste del material A2124/SiC/17p T4 a las 10000 vueltas con una carga de 10N.	313
Fig. 5.209 Perfil del canal de desgaste para el material A2124/SiC/17p T4 para 2000 y 4000 vueltas, con una carga de 10 N.	314
Fig. 5.210 Perfil del canal de desgaste para el material A2124/SiC/17p T4 para 10000 vueltas y con una carga de 20 N.	314
Fig. 5.211 Desgaste acumulado: (a) área de desgaste y (b) volumen específico de desgaste, frente al nº de vueltas para la aleación A2124/SiC/17p T4, con una carga de 10 N.	315
Fig. 5.212 Sección longitudinal del canal de desgaste del material A2124/SiC/17p T4.	316
Fig. 5.213 Variación del coeficiente de fricción dinámico con el nº de vueltas, para una carga aplicada de 10 N.	317
Fig. 5.214 Coeficiente de fricción dinámico a 10000 vueltas vs. dureza para los materiales objeto de estudio.	320
Fig. 5.215 Coeficiente de fricción dinámico a 10000 vueltas vs. rugosidad para los materiales objeto de estudio.	320
Fig. 5.216 Desgaste acumulado frente al número de vueltas para los distintos materiales estudiados y para una carga de 10 N.	322
Fig. 5.217 Volumen específico de desgaste frente al número de vueltas para los distintos materiales estudiados y para una carga de 10 N.	323
Fig. 5.218 Volumen específico de desgaste a 10000 vueltas frente a la dureza de los distintos materiales.	323
Fig. 5.219 Tensión hertziana aplicada en las zonas de contacto bola-muestra, para una carga aplicada de 20 N.	324
Fig. 5.220 Volumen específico normalizado de desgaste frente al número de vueltas para los distintos materiales estudiados y para una carga de 10 N.	325
Fig. 5.221 Mecanismos de daño en los materiales compuestos.	326
Fig. 5.222 Esquema de los mecanismos de desgaste en los materiales compuestos.	327
Fig. 5.223 Canal de desgaste: a) sección transversal y b) superficie del canal de desgaste del material A359/SiC/20p T6.	328
Fig. 5.224 Relación entre el desgaste de los diferentes materiales y la carga aplicada para 10000 vueltas.	330
Fig. 5.225 Relación entre el desgaste específico de los diferentes materiales y el coeficiente de fricción dinámico.	331
Fig. 5.226 Etapas en el proceso de desgaste del material A359 T6.	332
Fig. 5.227 Picadura de corrosión ancha y superficiales en la aleación A359 T6	335
Fig. 5.228 Aleación A359 T6, picadura de 80 µm de profundidad.	336

9. ANEXOS

FIGURA		PÁG.
Fig. 5.229	Fondo de una picadura de la aleación A359 T6. Se detecta la presencia de compuestos de Fe y de Si y de Si en el fondo de la misma.	336
Fig. 5.230	Porosidad y avance de corrosión en la aleación A359 T6.....	337
Fig. 5.231	Aleación A359 T6: Curvas de polarización en disoluciones aireadas y desaireadas de NaCl al 3,5%.	338
Fig. 5.232	Superficie de las muestras de la aleación A359 T6 mostrando el ataque intergranular en: a) muestra en disolución aireada y b) en disolución desaireada.	339
Fig. 5.233	Superficie de las muestras de la aleación A359 T6 en disolución aireada indicando el ataque interdendrítico: a) aspecto general y b) silicio eutéctico en las regiones atacadas.	339
Fig. 5.234	Cristales de silicio en las picaduras en la aleación A359 T6. Muestra en disolución aireada.	339
Fig. 5.235	Aleación A359 T6: Cristales de compuestos del tipo Mg ₂ Si y (Fe,Si,Mn)Al en las picaduras. Muestra en solución aireada. ..	340
Fig. 5.236	Diagrama de Nyquist de la aleación A359 T6 en disolución aireada de NaCl al 3,5% y en el E _{corr}	340
Fig. 5.237	Material A359/SiC/20p T6: Picadura de corrosión, de 568 μm de profundidad.	341
Fig. 5.238	Material A359/SiC/20p T6. Corrosión a través de la región eutéctica.	342
Fig. 5.239	Material A359/SiC/20p T6: Ataque en la matriz de aluminio, alrededor de las partículas de SiC.	343
Fig. 5.240	Material A359/SiC/20p T6: Cavity originada por la disolución parcial de compuestos del tipo Mg ₂ Si. Análisis mediante EDX...	343
Fig. 5.241	Picaduras y porosidad en el material A359/SiC/20p T6.	344
Fig. 5.242	Curvas de polarización del material A359/SiC/20p T6 en disoluciones aireadas y desaireadas de NaCl al 3,5%.	345
Fig. 5.243	Material A359/SiC/20p T6: Ataque por picadura en muestras en solución aireada y en solución desaireada.	346
Fig. 5.244	Material A359/SiC/20p T6: Picaduras con cristales de silicio y de SiC.....	346
Fig. 5.245	Diagrama de Nyquist para el material A359/SiC/20p T6 en disolución aireada de NaCl al 3,5% y en el E _{corr}	347
Fig. 5.246	Corrosión intergranular en la aleación A2124 T4	348
Fig. 5.247	Picaduras de corrosión en la aleación A2124 T4.	348
Fig. 5.248	Corrosión intergranular y compuestos intermetálicos del tipo Al ₂ Cu y (Cu, Fe)Al en la aleación A2124 T4.	349
Fig. 5.249	Curvas de polarización para la aleación A2124 T4 en disoluciones aireadas y desaireadas de NaCl al 3,5%.	350
Fig. 5.250	Diagrama de Nyquist de la aleación A2124 T4 en disolución aireada de NaCl al 3,5% y en el E _{corr}	351

FIGURA	PÁG.
Fig. 5.251 Corrosión intergranular en el material A2124/SiC/17p T4 en regiones con una distribución homogénea del refuerzo y en regiones con lagunas sin refuerzo.	352
Fig. 5.252 Picaduras de gran tamaño en material A2124/SiC/17p T4	353
Fig. 5.253 Material A2124/SiC/17p T4. Picadura de corrosión en la dirección de deformación.....	353
Fig. 5.254 Corrosión intergranular y compuestos intermetálicos del tipo Al_2Cu y $(Cu, Fe)Al$ en el material A2124/SiC/17p T4.	354
Fig. 5.255 Curvas de polarización del material A2124/SiC/17p en disoluciones aireadas de NaCl al 3,5% y con distintos tratamientos térmicos	355
Fig. 5.256 Curvas de polarización del material A2124/SiC/17p en disoluciones desaireadas de NaCl al 3,5% y con distintos tratamientos térmicos.	355
Fig. 5.257 Diagrama de Nyquist del material A2124/SiC/17p en disolución aireada de NaCl al 3,5%, en el E_{corr} y con distintos tratamientos térmicos.	356
Fig. 5.258 Material A2124/SiC/17p T4: Sección transversal obtenida después de la polarización anódica a $-0,3 V_{ECS}$ en disolución aireada al 3,5% de NaCl.	357
Fig. 5.259 Material A2124/SiC/17p T6: Sección transversal obtenida después de la polarización anódica a $-0,3 V_{ECS}$ en solución aireada al 3,5% de NaCl.	357
Fig. 5.260 Curvas de polarización catódica para los distintos materiales en disoluciones desaireadas y aireadas de NaCl al 3,5%.	359
Fig. 5.261 Curvas de polarización anódica para los distintos materiales en disoluciones desaireadas y aireadas de NaCl al 3,5%.	359
Fig. 5.262 Curvas de polarización en disoluciones de NaCl al 3,5% para aleaciones y materiales compuestos en medio desaireado, y en medio aireado.	360
Fig. 5.263 Influencia de la presencia de oxígeno en los potenciales de corrosión y de picadura para los distintos materiales, en disoluciones acuosas de NaCl al 3,5 %.	360
Fig. 5.264 Diferencia entre los potenciales de corrosión y los de picadura para los distintos materiales, en medios aireados y desaireados, en disoluciones acuosas de NaCl al 3,5 %.	361
Fig. 5.265 Curvas de polarización en disoluciones de NaCl al 3,5% para materiales de fundición y materiales de forja en medio desaireado y en medio aireado.	363
Fig. 5.266 Diagramas de Nyquist en disolución aireada de NaCl al 3,5% y en el E_{corr} para: a) materiales de forja y b) materiales de fundición.	364
Fig. 5.267 Semicírculos capacitivos de altas frecuencias, simulados y reales, de los diagramas de Nyquist en disolución aireada de NaCl al 3,5% y en el E_{corr} para las aleaciones A2124 T4 y A359 T6.	364

FIGURA	PÁG.
Fig. 5.268 Valores de las resistencias utilizados en la simulación de los datos de impedancia.	365
Fig. 5.269 Valores de R_2 y de los potenciales de corrosión y de picadura en medio aireado de los distintos materiales.	366
Fig. 5.270 Valores de las capacitancias utilizadas en la simulación de los datos de impedancia.	367
Fig. 5.271 Avance de la corrosión en: a) material con partículas de refuerzo pequeñas y distribución homogénea, b) material con partículas de refuerzo grandes y distribución irregular.	371
Fig. 5.272 Influencia de los tratamientos térmicos en los potenciales de corrosión y de picadura.	373
Fig. 5.273 Valores de las capacitancias y de las resistencias utilizadas en la simulación de los datos de impedancia para los materiales de forja.	374