

Obtención de la aleación Aluminio-Magnesio-Aluminio, por colaminación, usando Aluminio reciclado

Alberto Sandoval Jiménez^{1,2}

Said Robles Casolco³

Gabriel Torres Villaseñor⁴

¹Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares
Carretera México-Toluca S/N La Marquesa, Ocoyoacac,
México C. P. 52750.

²ESIME Unidad, Culhuacan, Dpto. Ing. Mecánica;
Instituto Politécnico Nacional.

³Centro de Diseño y Manufactura, Facultad de Ingeniería,
Universidad Nacional Autónoma de México.

⁴Instituto de Investigaciones en Materiales,
Universidad Nacional Autónoma de México.
MÉXICO.

Tel. 53297200 ext. 2253

Fax 53297329

e-mail: asj@nuclear.inin.mx

asandovalj@correo.unam.mx

Recibido el 24 de mayo de 2006; aceptado el 29 de noviembre de 2006.

1. Resumen

Mediante la técnica de colaminación se preparó un material Aluminio-Magnesio-Aluminio (AlMgAl) a partir de placas de aluminio reciclado y placas de magnesio virgen de pureza 99.8 %. El material colaminado se dividió en varias fracciones, algunas de las cuales se sometieron a tratamientos térmicos durante 6 y 50 horas a 350 °C. El estudio de la microestructura de los materiales se hizo por microscopía electrónica de barrido (MEB). De los distintos materiales se obtuvieron probetas y se realizaron ensayos de tensión. Las imágenes de MEB muestran una unión perfecta entre el Al y el Mg en las placas con tratamiento de 50 horas, y los resultados de las pruebas mecánicas indican buena resistencia mecánica. Las pruebas de corrosión realizadas en ambiente marino, en muestras del material con tratamiento térmico de 50 horas, resultaron con baja velocidad de corrosión.

Palabras clave: Aleación aluminio-magnesio, propiedades mecánicas, colaminación, microscopía electrónica de barrido, corrosión.

2. Abstract (Obtaining of the Aluminium-Magnesium-Aluminium Alloy, by Co-rolling, Using Recovered Aluminium)

By means of co-rolling technique, an aluminium-magnesium-aluminium material was prepared with aluminium recovered and magnesium 99.8 % pure. The co-rolled material was divided at several fractions, some which were submitted to heat treatments through 6 and 50 hours to 350 °C. The microstructure was analysed by scanning electron microscopy and its mechanical resistance was determined by tension test. The co-rolled material with 50 hours of heat treatment present better mechanical properties and perfect union zones between Al and Mg. The corrosion test development into marine environment evidence low corrosion rate for the alloy with long heat treatment.

Key words: Aluminium-magnesium alloy, mechanical properties, co-rolling, scanning electron microscopy, corrosion.

3. Introducción

Las aleaciones de magnesio tienen gran potencial como materiales intermetálicos estructurales debido a su baja densidad [1,2]. Una aleación con buenas perspectivas de desarrollo es Mg-Al, la cual se puede considerar como un material superligero. El Mg y el Al son metales con baja densidad, $\rho_{Mg}=1.8 \text{ g-cm}^{-3}$ y $\rho_{Al}=2.7 \text{ g-cm}^{-3}$, [3]. La estructura cristalina del Al es f.c.c. y la del Mg es h.c.p.; el primero es dúctil con buena resistencia a la corrosión y el segundo tiene propiedades mecánicas muy pobres, es decir, no se puede conformar fácilmente y su resistencia a la corrosión es baja, además, su alta reactividad complica su manejo para preparar aleaciones en atmósfera libre, por lo que se debe buscar otros métodos de aleado.

Entre las técnicas de la unión de materiales están los procesos en estado sólido, los cuales operan sin fusión de los metales base, pero requieren la aplicación de presión y temperatura. El principal método de manufactura usado es un proceso de unión por laminado continuo en el cual dos ó más

láminas pueden ser unidas; se le denomina colaminación. El proceso comprende la creación de una unión entre dos ó más materiales; el enlace se alcanza por introducción de energía mecánica, eléctrica ó térmica y/o difusión [4].

Los enlaces por difusión tienen lugar cuando las superficies en contacto se someten a alta presión a temperaturas superiores a la ambiente. La difusión se realiza transversal a la interfase, en ésta zona se podría formar una nueva estructura cristalina [4].

El proceso de colaminación se utiliza con el objetivo de aprovechar las ventajas particulares que tiene cada metal por separado, por ejemplo, se puede obtener un material que resista la corrosión y tenga rigidez estructural [5-7]. Las aplicaciones de los materiales colaminados tienen gran demanda en varias ramas de la industria, como son la petrolera, petroquímica, eléctrica, automotriz, etc.

En este trabajo se usa la técnica de colaminado en caliente para obtener un material formado por placas con distribución Al-Mg-Al; el Al proporciona protección contra la corrosión y el Mg rigidez estructural.

Otra característica significativa es la utilización de Al recuperado de recipientes de desecho, es decir, material reciclado.

4. Experimentación

El aluminio se obtuvo por fundición de recipientes de desecho en un horno de atmósfera libre. El lingote se sometió a un tratamiento térmico de homogeneización y se dividió en varias fracciones; partes del lingote se laminaron a 200 °C obteniéndose placas de 2 mm de espesor. De un lingote de Mg virgen de pureza 99.8 % se cortaron placas de 3 mm de espesor. Con Al reciclado laminado y Mg se preparó un arreglo de placas Al-Mg-Al de 7 mm de espesor. El área de las placas de Al fue mayor que las de Mg; para evitar deslizamientos, los bordes de las placas de Al se unieron con soldadura. El material se laminó a 250 °C con una reducción del 20 % en cada paso hasta obtener un espesor final de 0.9 mm (8 pasos), es decir, se alcanzó una reducción del 87%. La placa del material colaminado Al-Mg-Al se dividió en varias fracciones.

Con el propósito de mejorar la zona de unión entre Al y Mg, es decir, crear o hacer mayor la zona de interfase, algunas fracciones del material colaminado se sometieron a tratamientos térmicos a 350 °C durante 6 y 50 horas en un horno de atmósfera libre.

De fracciones de la placa original y de material con tratamientos térmicos se obtuvieron probetas para realizar ensayos de tensión, los cuales se efectuaron en una máquina Uni-

versal Instron de 10 toneladas de carga, a una rapidez de deformación de $1.6 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$; del material sobrante se prepararon muestras para realizar MEB.

Los estudios de la microestructura se hicieron con un microscopio electrónico de barrido Philips XL30 con microsonda integrada marca EDAX modelo DX-4. El voltaje de operación fue de 25 kV.

Con la finalidad de determinar la rapidez de corrosión por los métodos de prueba electroquímicos de extrapolación de Tafel [8] y polarización lineal [9], así como diagnosticar el comportamiento anódico y catódico por medio de estudios potenciodinámicos [10], muestras de la placa Al-Mg-Al con tratamiento térmico de 50 horas y sin tratamiento térmico se montaron en lucita y se sometieron a pruebas electroquímicas en ambiente marino en un Potenciostato-Galvanostato EG&G 273-10. El medio corrosivo en el cual se realizaron las pruebas fue agua de mar sintética preparada de acuerdo a la norma ASTM D1141, [11].

4. Resultados y análisis

4.1 Metalografías

4.1.1 Aluminio reciclado

La microestructura del aluminio reciclado y laminado está formada por una matriz de grano fino rica en aluminio (Al) y una segunda fase rica en manganeso (Mn), ambas deformadas en el sentido de la laminación. La composición de la placa, obtenida con la microsonda integrada al MEB, fue 98 % peso Al y 2 % peso Mn.

4.1.2 Placa Al-Mg-Al con 6 horas de tratamiento térmico

La microestructura de las muestras con tratamiento térmico de 6 horas es semejante a la del material sin tratamiento térmico. En las imágenes de MEB se distinguen tres zonas, dos externas correspondientes a Al y una interna perteneciente al Mg, figura 1.

4.1.3 Placas Al-Mg-Al con 50 horas de tratamiento térmico

En la fotomicrografía se observan cinco zonas, las externas son Al, la interna media es Mg y dos zonas de interfase Al-Mg, figura 2. Con el tratamiento térmico de 50 horas se formaron interfases Al-Mg por difusión química y se genera una unión perfecta, figura 3. La microestructura del Mg es granular.

La zona de interfase Al-Mg, de unión perfecta, mejora el comportamiento mecánico del material. Es probable que se haya

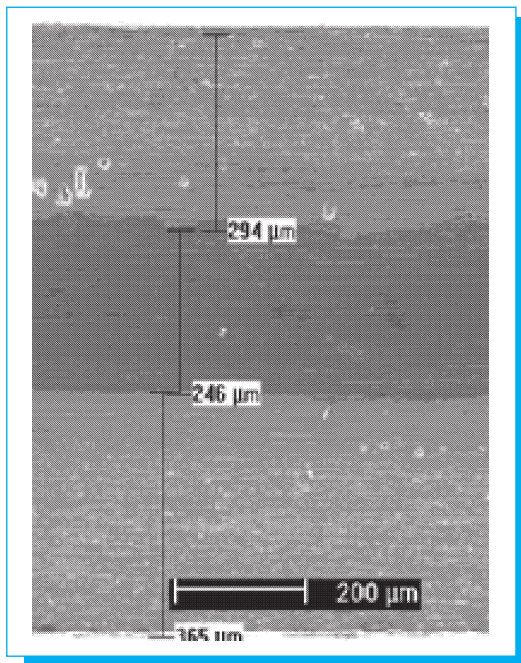


Fig. 1. Placa Al-Mg-Al con 6 horas de tratamiento térmico.



Fig. 2. Placa Al-Mg-Al con 50 horas de tratamiento térmico. Se observan cinco zonas; las externas son Al, la media es Mg y dos interfases Al-Mg.

formado un intermetálico Al-Mg, por lo que es necesario realizar estudios para determinar su estructura cristalina.

4.2 Ensayos de tensión

Del material original y de las probetas con tratamiento térmico de 6 horas no se obtuvieron datos de su resistencia a la tensión debido a fractura a bajo esfuerzo. Los resultados de los ensayos de tensión de probetas con tratamiento térmico a 350 °C por 50 horas son los de la tabla 2.

Las muestras con tratamiento térmico de 50 horas a 350 °C presentaron esfuerzos a la tensión variables, con un máximo de 180.9 MPa y una deformación máxima de 19.5 %, lo cual

indica que se formaron zonas de interfase con espesor no uniforme.

4.3. Métodos de prueba electroquímicos

4.3.1. Determinación del Potencial de Corrosión

Cuando es desconocido el potencial de corrosión de un metal o aleación en determinado medio, previo al estudio electroquímico, es necesario realizar pruebas de potencial a circuito abierto (E_{oc}) por un lapso de tiempo; de ésta manera se facilita el alcance de un estado de equilibrio para obtener el potencial de circuito abierto el cual es aproximado al potencial de corrosión (E_c).

Tabla 1. Composición química de las distintas zonas.

Zona	Al % at.	Mg % at.	Mn % at.
Externa	96.05	3.61	0.35
Interfase	81.06	18.77	0.16
Media	---	100.00	---
Interfase	61.31	38.69	---
Externa	96.21	3.79	---

Tabla 2. Resultados de los ensayos de tensión.

Muestra	ϵ %	σ MPa
1	5.8	140.6
2	4.8	127.5
3	9.9	156.8
4	10.6	170.5
5	19.5	181.0

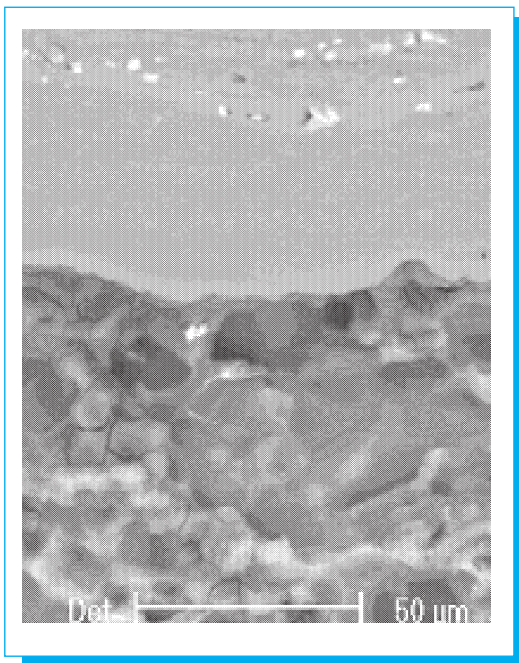


Fig. 3. Placa Al-Mg-Al con 6 horas de tratamiento térmico.

Debido a que los estudios de corrosión son muy extensos, solamente se presentan los resultados de las distintas pruebas.

El potencial de corrosión de circuito abierto para el material con tratamiento térmico es $E_{oc} = -0.750$ V y un potencial de referencia $E_{I=0} = -0.738$ V, referido al electrodo de calomel saturado (ECS), que corresponde a una densidad de corriente de 1×10^{-6} A-cm². A partir de este valor se inicia una disolución anódica, la cual sucede cuando el metal se disuelve sin formar capas pasivas. Para el material sin tratamiento térmico, los valores encontrados son los siguientes: E_{oc} entre -1.42 y -1.569 V, el $E_{I=0}$ entre -1.39 y -1.52 V, referido a ECS; la densidad de corriente correspondiente es 1×10^{-4} A-cm²; a partir de este valor se inicia una disolución anódica en un rango muy pequeño de voltaje entre -1.45 V y -1.35 V.

4.3.2. Extrapolación de Tafel

Por ésta técnica de prueba electroquímica se obtuvieron los valores de las pendientes de Tafel, las velocidades de corrosión y el tipo de proceso químico que controla la velocidad de corrosión. La velocidad de corrosión determinada para el material con tratamiento térmico es de 0.07 mmpa, controlada por la reacción catódica. Para la placa sin tratamiento térmico es de 94.87 mmpa.

4.3.3. Resistencia a la Polarización

Este método es de los menos destructivos y se utiliza para conocer continuamente la velocidad de corrosión. Con ésta prueba se obtuvieron los valores de la velocidad de corrosión partiendo de las pendientes de Tafel del método anterior, por consiguiente, es una forma de comparación de los valores de la velocidad de corrosión en diferentes rangos de potencial. Para la placa con 50 horas de tratamiento térmico la velocidad de corrosión determinada por éste método fue de 0.06 mmpa, y para el material sin tratamiento térmico de 20.3 mmpa.

Las velocidades de corrosión de los materiales con tratamiento térmico con respecto a las muestras sin tratamiento térmico difieren en varios órdenes de magnitud. La velocidad de corrosión es menor en el material con tratamiento térmico debido a la formación de interfases Al-Mg, las cuales actúan como zona protectora disminuyendo el efecto de par galvánico y el carácter de ánodo de sacrificio del Mg.

4.3.4. Barrido Potenciodinámico

Con ésta prueba electroquímica se establece el comportamiento catódico y anódico de las muestras, al llevarse a cabo un barrido potenciodinámico que cubre ambas zonas y agota el barrido del potencial hasta la zona transpasiva. Con esta técnica se obtuvieron los datos suficientes para realizar un diagnóstico del comportamiento de las muestras en agua de mar. La curva potenciodinámica muestra una disolución anódica.

5. Conclusiones

El aluminio reciclado con los tratamientos térmicos adecuados se puede utilizar como materia prima para la obtención de otros materiales.

El tratamiento térmico mejoró las propiedades mecánicas del colaminado Al-Mg-Al debido a la formación de las zonas de interfase, lo cual se manifiesta en los resultados de las pruebas de tensión. Las zonas de interfase pueden ampliarse con un tratamiento térmico más largo, con lo que podría mejorarse el comportamiento mecánico.

El material con 50 horas de tratamiento térmico es más apto para soportar la acción corrosiva del agua de mar. El tratamiento térmico favoreció al material; de acuerdo a los resultados de la velocidad de corrosión, se tiene un control catódico que limita la velocidad de disolución del material. Este control lo ejerce la zona de interfase Al-Mg, la cual actúa como una barrera contra la transferencia de electrones. El sistema

electrodo (muestra)-medio corrosivo es mas activo en el caso del material sin tratamiento térmico y domina el carácter de ánodo de sacrificio del Mg.

El material colaminado Al-Mg-Al con tratamiento térmico puede usarse como material estructural en ambientes corrosivos.

6. Referencias

- [1] Mabuchi M., Asahina T., Iwasaki H. and Higashi K.; Materials Science and Technology, Vol. 13 (1997) 825-831.
- [2] Nieh T. G. and Wadsworth J.; International Materials Reviews, Vol. 44, No. 2 (1999) 59-75.
- [3] Murray J. L.; Phase Diagrams of Binary Magnesium Alloys, A. A. Nayeb-Hashemi and J. B. Clark Editors, ASM International (1988) 17-34.
- [4] Cam G. and Kocak M.; International Materials Reviews, Vol. 43, No.1 (1998) 1-44.
- [5] Said R. Casolco. Tesis doctoral , UNAM-2004.
- [6] Said R. Casolco. Patente No. 200303005, Madrid, España.
- [7] Gabriel Torres Villaseñor y Said Robles Casolco. www.ai.org.mx/revista/ultimo_numero2004.htm, Vol. 1, No. 3, Agosto de 2004.
- [8] Fuentes G. D y Arganis J. C.; Procedimiento P.SC(LC)-06 REV (2) 2002, Laboratorio Corrosión ININ.
- [9] Fuentes G. D y Arganis J. C.; Procedimiento P.SC(LC)-07 REV (2) 2002, Laboratorio Corrosión ININ.
- [10] Fuentes G. D y Arganis J. C.; Procedimiento P.SC(LC)-05 REV (2) 2002, Laboratorio Corrosión ININ.
- [11] Annual Book of ASTM standards, Section 11 Water and Environmental Technology, Volume 11.02, Watwer (II), 1983.

Digital Dot

Servicios Digitales

Electrónicos Integrales

**Producción y posproducción
en audio y video**

**Centenario 3, Col. Del Carmen,
Coyoacán, México, DF.**

5339 5880, 5339 5474