

RECICLADO DE VIRUTAS DE MAGNESIO. RECUPERACIÓN DE LA ALEACIÓN AZ91 MEDIANTE FUSIÓN CON PROTECCIÓN DE ATMÓSFERA GASEOSA.

R.O. Lucci ⁽¹⁾, R. López Padilla ⁽²⁾, P.A. Nicola ⁽²⁾ y C.F. Pérez ⁽³⁾

(1) CONICET, Departamento de Metalúrgica, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, Córdoba, ARGENTINA.

(2) Departamento de Metalúrgica, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, Córdoba, ARGENTINA.

(3) Citeq, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, Córdoba, ARGENTINA.

E-mail: robertolucci@conicet.gov.ar

RESUMEN

En los últimos años la industria del automóvil ha incrementado notablemente el consumo de aleaciones de magnesio para la fabricación de autopartes. La mayoría son piezas fundidas que deben ser maquinadas en ciertas zonas para lograr las tolerancias dimensionales requeridas. Como producto de este maquinado se originan virutas de magnesio contaminadas con aceite que deben ser recicladas para recuperar el metal. Dada la gran reactividad del magnesio deben tenerse ciertos cuidados durante su reciclado. Se busca optimizar la recuperación metálica de forma tal de no contaminar la composición química de las aleaciones recuperadas y no deteriorar las propiedades mecánicas.

En este trabajo se muestran resultados alcanzados en el desarrollo de una técnica de fusión para el reciclado de virutas de magnesio contaminadas con aceite, utilizando como protección contra la oxidación una atmósfera de mezcla de gases Ar-CO₂ y pequeñas cantidades de sales fundentes. Se presentan datos de rendimiento de fusión, expresado en porcentajes de metal recuperado, junto a la evaluación de la composición química y de la estructura macrográfica y micrográfica de las aleaciones recicladas.

Los valores de la composición química de la aleación reciclada son comparados con los correspondientes a la aleación de la cual provienen las virutas y con las normas especificadas para la aleación ASTM AZ91D.

Los resultados obtenidos indican que el reciclado de virutas contaminadas mediante la protección con atmósfera de mezcla de gases Ar-CO₂ y sales fundentes es eficiente para reciclar magnesio ya que permite una recuperación de metal mayor al 70%. Además, la composición química es similar a la aleación de partida y de igual manera lo es la estructura microscópica alcanzada. Sin embargo, se observa la presencia de porosidades que se traducen en un notable aumento de la fragilidad en las aleaciones recicladas.

Tópico: Tópico 2: Materiales Metálicos

Palabras claves: reciclado, virutas de magnesio, aleaciones recicladas.

1. INTRODUCCIÓN

Mundialmente, se producen aproximadamente más de cincuenta millones de vehículos por año. A partir de los años 90', el magnesio ha tenido una creciente presencia, cuando fue introducido por los fabricantes de automóviles con el objeto de disminuir el peso de los mismos. Este material ofrece al respecto amplias ventajas sobre otros metales convencionales que se usan con fines estructurales. El magnesio tiene un 33 % menor densidad que el aluminio y un 77 % menor que el acero, lo cual permite obtener buenos valores de resistencia mecánica con un ahorro importante de peso, lo que redundará en una reducción del consumo de combustible y de las emisiones por kilómetro recorrido del vehículo. Para minimizar el incremento de peso muchos componentes individuales como llantas, cajas de cambio, paneles de instrumentos, algunas partes de los asientos, alerones y reflectores han sido construidos con aleaciones de magnesio [1].

En los últimos años se ha incrementado el interés por el reciclado del magnesio. Se han clasificado los diversos tipos de chatarra como muestra la **Tabla 1**. La clasificación está basada en el grado de limpieza y la dificultad relativa de su reciclado [2].

Tabla 1. Productos secundarios de magnesio.

Chatarra	Caracterización	Problemas
1 A	Chatarra limpia en trozos grandes	
1 B	Chatarra limpia con alta relación superficie peso	Pérdidas por oxidación
2	Chatarra limpia contaminada con aluminio o hierro	Contiene Fe y Si
3	Chatarra limpia de pequeño tamaño sin virutas	Alta superficie, contiene óxidos
4	Escorias y espumas grasas	Contiene óxidos y hierro
5	Pintada o con protección contiene hierro	Perdida por fusión. Contiene Fe, Si y Ni
6	Virutas de mecanizado aceitadas	Perdida por fusión, Contiene óxidos
7	Residuos contaminados de reciclado de magnesio	% alto óxidos, cloruros, fluoruros

El reciclado de magnesio se puede realizar sin dificultad cuando se trata de trozos macizos de chatarra, preferentemente limpios y secos. El equipamiento y los métodos utilizados en estos casos suelen ser los convencionales para refusión de metales, como los hornos de crisol calentados por acción indirecta, usando pequeñas cantidades de sales fundentes que tienen el objeto de limpiar y proteger el metal líquido. Una alternativa es el uso de gases protectores como el SO₂ o el SF₆ que tienen como principio activo la formación de sulfuro de magnesio que protege al metal de la posterior oxidación. Estos gases sin embargo, tienen el inconveniente de ser tóxicos, como el SO₂, o nocivos para el medio ambiente, como el SF₆ [3].

Las posibilidades de reciclado se ven seriamente comprometidas en la medida que se reduce el tamaño y la limpieza de la chatarra. En efecto, al aumentar la superficie específica de la chatarra, como es el caso de las virutas de mecanizado, aumentan las probabilidades de reaccionar con la atmósfera provocando pérdidas del metal por oxidación y eventualmente accidentes por incendio.

Las virutas suelen llegar al circuito de reciclado contaminadas con un 2 a 8 % de aceite mineral. Las virutas presentan en su mayoría un aspecto de laminillas, con pequeño espesor y geometría en forma de bastones, como se puede ver en la **Figura 1**. Aproximadamente el 50 % de las virutas tienen un tamaño comprendido entre 0,5 a 4 mm. El 50 % restante son de tamaños menores a 0,5 mm (pasan por el cedazo de 0,5 mm de apertura). Trabajos previos sobre este tipo de chatarras indican la conveniencia de su reciclado bajo sales fundentes que protejan al metal durante el proceso de fusión [4, 5]. Otros trabajos han demostrado la dificultad de realizar el reciclado mediante atmósferas protectoras de gas nitrógeno y se recomienda el uso de otros gases inertes como el argón [6].



Figura 1. Aspecto de las virutas de magnesio.

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Antes de proceder a la realización de los ensayos de fusión de las virutas contaminadas con aceite, éstas fueron lavadas con detergente no iónico biodegradable, para eliminar así la mayor cantidad de aceite posible con bajo impacto ambiental. Luego, se realiza un tratamiento de secado en mufla a 120 °C durante 1 hora para eliminar la humedad. Posteriormente, para disminuir la superficie expuesta, las virutas son compactadas utilizando una prensa hidráulica, obteniéndose briquetas con resistencia suficiente para ser manejadas hasta la etapa de fusión.

Las experiencias se realizaron cargando en un crisol de acero de bajo carbono las briquetas de virutas compactadas, en un peso aproximado de 200 g, junto con pequeñas cantidades de sales fundentes que varían entre un 10 a 20 % del peso de la carga metálica del crisol. En la **Tabla 2** se muestra la composición química de la mezcla de sales fundentes utilizada.

Tabla 2. Composición de la mezcla de sales fundentes (% en peso).

KCl	MgCl ₂	BaCl ₂	CaF ₂
55	34	9	2

El crisol preparado es introducido en el horno de calentamiento por resistencia eléctrica, donde se tapa la boca del mismo con una campana por la que ingresa la mezcla de gases Ar-CO₂ con un caudal de 6 l/min. La temperatura de trabajo es de 800 °C.

Una vez que se logra la fusión de las virutas se cierra el paso de los gases y se retira la tapa junto con la campana para realizar una agitación manual del metal, se realiza un desescoriado y se vuelve a tapar para homogenizar la temperatura del baño líquido y proceder al colado del metal recuperado.

El tiempo de operación es de aproximadamente 30 minutos hasta obtener el metal líquido para ser colado en moldes de grafito para un posterior pesado, análisis químico y metalográfico.

En la **Figura 2** se muestran fotografías de los dispositivos e instalaciones utilizadas.



Figura 2. Dispositivos e instalaciones utilizadas para la fusión de las virutas de magnesio.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Recuperación del metal

El metal que se obtiene se pesa para determinar el porcentaje del metal reciclado. En la **Figura 3** se observan los resultados porcentuales obtenidos en diferentes experiencias.

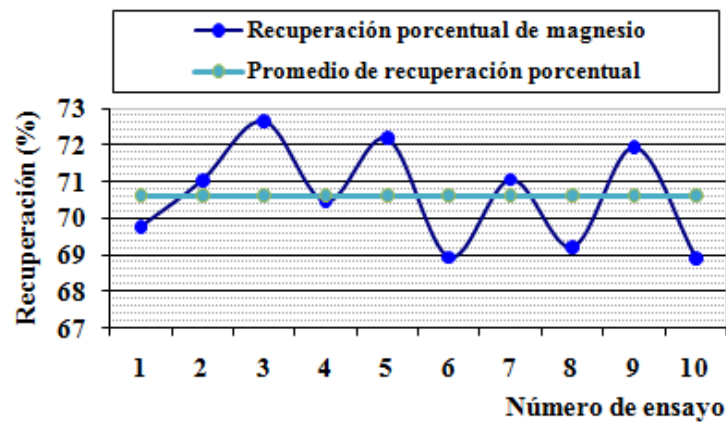


Figura 3. Resultados de recuperación metálica en el reciclado.

Los valores de recuperación son del orden del 70 %, lo cual muestra la eficiencia del proceso para reciclar la aleación de magnesio por esta técnica.

3.2. Composición química

Para la determinación de la composición química de la aleación de origen y de las aleaciones recicladas se utilizó espectrometría por emisión de chispa.

En la **Tabla 3** se muestran los valores obtenidos para la aleación original, un promedio de los valores para las aleaciones recicladas y la composición especificada por la norma alemana DINEN 1753, que se tomó como referencia [7].

Tabla 3. Composición química de aleación inicial, reciclada y especificada por Norma.

Aleación	Al (%)	Zn (%)	Fe (%)	Mn (%)	Mg (%)
Original	8.98	0.550	0.013	0,1554	Resto
Reciclada	8.51	0.554	0.0053	0,172	Resto
Normalizada	8-10	0.3-1	0.03	>0,13	Resto

A partir de los valores indicados se puede observar que el promedio de la composición química de las aleaciones recicladas es similar a la de la aleación de partida AZ91D y se encuentran dentro de los valores especificados.

3.3. Análisis metalográfico

A partir de la aleación original y de las recicladas se confeccionaron probetas para análisis metalográfico. En la **Figura 4**, se presentan muestras pulidas sin ataque, observadas en forma macrográfica. En ellas se observa que en las aleaciones recicladas existe porosidad, no así en la aleación de partida.



Figura 4. Macrográficas de la aleación original refundida y de la aleación reciclada a partir de las virutas.

En la **Figura 5** se muestran las estructuras de la aleación original y de la aleación reciclada, atacadas con Glycol como indican las técnicas de preparación de muestras [8]. En ellas se pueden observar estructuras dendríticas de colada y una elevada porosidad presente en las aleaciones recicladas, que se traduce en una notable pérdida de tenacidad. Esto, pudo verificarse mediante el impacto manual de las aleaciones con un martillo. La aleación original soportó el impacto mientras que la reciclada se fracturó fácilmente.

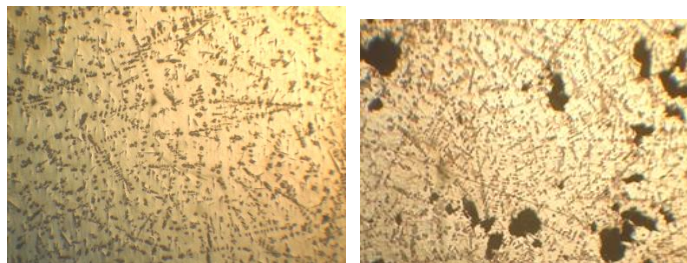


Figura 5. Micrografía de la aleación original refundida en lingotes y la aleación reciclada a partir de las virutas x100.

4. CONCLUSIONES

Los resultados alcanzados en el reciclado de virutas de la aleación de magnesio AZ91D contaminadas con aceite, mediante protección frente a la oxidación con atmósfera de gases Ar-CO₂ y mezclas de sales fundentes, permite extraer las siguientes conclusiones:

- La técnica de fusión es eficiente para reciclar magnesio ya que permite una recuperación de metal superior al 70%.

- La composición química de la aleación reciclada es similar a la aleación de partida.
- La estructura microscópica del metal recuperado es similar a la estructura de la aleación original. Sin embargo, se observa la presencia de porosidades en la aleación reciclada, que luego se traduce en un notable aumento de la fragilidad.
- Las propiedades determinadas en las aleaciones AZ91D recicladas indican la factibilidad del uso de la técnica de reciclado utilizada. Pero es necesario investigar en estudios posteriores las condiciones que disminuyan el nivel de gases presentes en el metal fundido que se traduce en porosidades; como así también las que incrementen el rendimiento del proceso por encima del 70% de metal recuperado.

REFERENCIAS

1. Luo: Magnesium current and potential automotive applications; JOM 2 2002, pp. 42-48.
2. G. Hanko, H. Antrekowitsch, and P. Ebner: Recycling Automotive Magnesium Scrap; JOM 2 2002, pp.51-54.
3. J. Ferreira Furtado Filho, S. Munhoz; Aplicación de Atmósferas Protectoras para Producción de Magnesio, Seminario de Magnesio y su Utilización; Marzo de 1999 San Pablo, Brasil, pp.1-11.
4. P.A. Nicola, R. López Padilla, R.Garay, R.O. Lucci y C.F. Pérez. Reciclado de virutas de magnesio. Comparación entre el uso de sales fundentes y atmósferas protectoras. 7° Congreso Internacional de Metalurgia y Materiales SAM - CONAMET 2007, pp. 1-5.
5. P.A. Nicola, R. López Padilla, R.Garay, R.O. Lucci y C.F. Pérez. Reciclado de virutas de magnesio. Evaluación de propiedades mecánicas de las aleaciones obtenidas. 8° Congreso Internacional de Metalurgia y Materiales CONAMET - SAM 2008, pp. 1-4.
6. Oscar Manfredi, Gaspar García, Pedro Nicola, Roger López Padilla. Posibilidades y límites del reciclado de virutas de magnesio. Mediante el uso de atmósferas protectoras de nitrógeno. JORNADAS SAM/ CONAMET/ SIMPOSIO MATERIA 2003, pp. 1-3.
7. Deutsche Norm DINEN 1753. Magnesium alloy ingots and castings, July 1973 Edition, pp. 1-14.
8. ASM Metals HandBook Volume 9 - Metallography And Microstructures. Edición, The Materials Information Society 2004, pp. 589-1281, pp. 1943-1986.