

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 955 293**

51 Int. Cl.:

C22C 21/08 (2006.01)

C22C 21/02 (2006.01)

C22F 1/05 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **23.10.2018** **PCT/US2018/057054**

87 Fecha y número de publicación internacional: **02.05.2019** **WO19083969**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.10.2018** **E 18797512 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.08.2023** **EP 3676410**

54 Título: **Aleaciones de aluminio de alta resistencia, altamente conformables y métodos para su fabricación**

30 Prioridad:

23.10.2017 US 201762575573 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

29.11.2023

73 Titular/es:

NOVELIS INC. (100.0%)
3560 Lenox Road, Suite 2000
Atlanta, GA 30326, US

72 Inventor/es:

DAS, SAZOL KUMAR;
DESPOIS, AUDE y
KAMAT, RAJEEV G.

74 Agente/Representante:

FERNÁNDEZ POU, Felipe

ES 2 955 293 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Aleaciones de aluminio de alta resistencia, altamente conformables y métodos para su fabricación

5 Campo

La presente descripción se refiere a los campos de la ciencia de materiales, química de materiales, fabricación de metal, aleaciones de aluminio y fabricación de aluminio. En particular, la presente descripción se refiere a aleaciones de aluminio de alta resistencia y altamente conformables y métodos para fabricarlas y procesarlas.

10

Antecedentes

Las aleaciones de aluminio pueden presentar una alta resistencia debido, en parte, al contenido elemental de las aleaciones. Por ejemplo, las aleaciones de aluminio de la serie 6xxx de alta resistencia pueden prepararse incluyendo altas concentraciones de determinados elementos, tales como magnesio (Mg), silicio (Si) y/o cobre (Cu). Sin embargo, tales aleaciones de aluminio que contienen altas concentraciones de estos elementos muestran propiedades de conformabilidad deficientes. En particular, pueden formarse precipitados a lo largo de los límites de grano en una matriz de aluminio. La formación de precipitados a lo largo de los límites de grano puede aumentar la resistencia en la aleación pero afectar negativamente a la deformación de la aleación (p. ej., reducir la capacidad de flexión, conformabilidad o cualquier deformación deseada adecuada). Además, las aleaciones pueden presentar un límite elástico reducido después del envejecimiento artificial. El documento JP H09 202933 A describe aleaciones de este tipo.

20

Compendio

25

Las realizaciones abarcadas de la invención se definen en las reivindicaciones y no en este compendio. Este compendio es una descripción general de alto nivel de diversos aspectos de la invención e introduce algunos de los conceptos que se describen de forma adicional en la sección Descripción detallada más adelante. Este compendio no pretende identificar las características claves o esenciales del objeto reivindicado, ni pretende usarse de forma aislada para determinar el alcance del objeto reivindicado. El objeto debe entenderse por referencia a las partes apropiadas de toda la memoria descriptiva, a cualquier o todos los dibujos y a cada reivindicación.

30

En el presente documento se describen aleaciones de aluminio que comprenden 0.8 - 1.5% en peso de Si, 0.1 - 0.5% en peso de Fe, 0.5 - 1.0% en peso de Cu, 0.5 - 0.9% en peso de Mg, hasta 0.1% en peso de Ti, hasta 0.5% en peso de Mn, hasta 0.5% en peso de Cr, hasta 0.5% en peso de Zr, 0.06%-0.5% en peso de V, hasta 0.15% en peso de impurezas, y Al. En algunos casos, las aleaciones de aluminio pueden comprender 0.9 - 1.4% en peso de Si, 0.1 - 0.35% en peso de Fe, 0.6 - 0.9% en peso de Cu, 0.6 - 0.9% en peso de Mg, 0.01 - 0.09% en peso de Ti, hasta 0.3% en peso de Mn, hasta 0.3% en peso de Cr, hasta 0.3% en peso de Zr, 0.06%-0.3% en peso de V, hasta 0.15% en peso de impurezas, y Al. En algunos casos, las aleaciones de aluminio pueden comprender 1.0 - 1.3% en peso de Si, 0.1 - 0.25% en peso de Fe, 0.7 - 0.9% en peso de Cu, 0.6 - 0.8% en peso de Mg, 0.01 - 0.05% en peso de Ti, hasta 0.2% en peso de Mn, hasta 0.2% en peso de Cr, hasta 0.2% en peso de Zr, 0.06% - 0.2% en peso de V, hasta 0.15% en peso de impurezas, y Al. La aleación de aluminio comprende al menos uno de Mn, Cr, Zr y V. En algunos ejemplos, un contenido combinado de Mn, Cr, Zr y/o V es de al menos 0.14% en peso (p. ej., de 0.14% en peso a 0.4% en peso o de 0.15% en peso a 0.25% en peso). Opcionalmente, la aleación de aluminio comprende 0.06 - 0.3% en peso de V. En algunos ejemplos, la aleación de aluminio comprende un exceso de Si y el contenido en exceso de Si es de 0.01 a 1.0.

35

40

45

También se describen en el presente documento productos de aleación de aluminio que comprenden la aleación de aluminio como se describe en el presente documento. Opcionalmente, los productos de aleación de aluminio comprenden una textura cristalográfica de cubo rotado en un porcentaje en volumen de al menos 5%. Los productos de aleación de aluminio pueden comprender dispersoides. Opcionalmente, los dispersoides están presentes en la aleación de aluminio en una cantidad de al menos 1 500 000 dispersoides por mm². Opcionalmente, los dispersoides ocupan un área que varía de 0.5% a 5% de los productos de aleación de aluminio. En algunos casos, los productos de aleación de aluminio comprenden constituyentes de Fe. Los constituyentes de Fe pueden comprender partículas de fase Al(Fe,X)Si. Opcionalmente, el tamaño medio de partículas de los constituyentes de Fe es de hasta 4 µm. Los productos de aleación de aluminio pueden presentar un límite elástico de al menos 300 MPa cuando están en un temple T6 y/o un alargamiento uniforme de al menos 20% y un ángulo de flexión mínimo de al menos 120° cuando están en un temple T4.

50

55

60

Además, en el presente documento se describen métodos para producir un producto de aleación de aluminio. Los métodos comprenden colar una aleación de aluminio como se describe en el presente documento para proporcionar un artículo colado, homogeneizar el artículo colado en un procedimiento de homogeneización en dos etapas, laminado en caliente y laminado en frío del artículo colado para proporcionar un producto de aleación de aluminio de calibre final, tratamiento térmico con solución del producto de aleación de aluminio de calibre final, y pre-envejecimiento del producto de aleación de aluminio de calibre final. El procedimiento de

65

homogeneización de dos etapas puede comprender calentar el artículo colado a una temperatura de homogeneización de la primera etapa y mantener el artículo colado a la temperatura de homogeneización de la primera etapa durante un período de tiempo y calentar aún más el artículo colado a una temperatura de homogeneización de la segunda etapa y mantener el artículo colado a la temperatura de homogeneización de la segunda etapa durante un período de tiempo. Opcionalmente, la temperatura de homogeneización de la primera etapa es de 470 °C a 530 °C y la temperatura de homogeneización de la segunda etapa es de 525 °C a 575 °C. En algunos ejemplos, la temperatura de homogeneización de la segunda etapa es más alta que la temperatura de homogeneización de la primera etapa.

10 Otros aspectos, objetivos y ventajas se harán evidentes al considerar la descripción detallada y las figuras a continuación.

Breve descripción de las figuras

15 La Figura 1 es un gráfico que muestra las propiedades de tracción de las aleaciones de aluminio según determinados aspectos de la presente descripción.

La Figura 2 es una micrografía que muestra la estructura de grano de las aleaciones de aluminio según determinados aspectos de la presente descripción.

20 La Figura 3 es un gráfico que muestra las propiedades mecánicas de las aleaciones de aluminio según determinados aspectos de la presente descripción.

25 La Figura 4 es un gráfico que muestra las propiedades mecánicas de las aleaciones de aluminio según determinados aspectos de la presente descripción.

La Figura 5 es un gráfico que muestra las propiedades mecánicas de las aleaciones de aluminio según determinados aspectos de la presente descripción.

30 La Figura 6 es un gráfico que muestra la distribución de texturas de recristalización de aleaciones de aluminio según determinados aspectos de la presente descripción.

La Figura 7 es una serie de micrografías de aleaciones de aluminio según determinados aspectos de la presente descripción.

35 La Figura 8 es un gráfico que muestra la densidad del número de dispersoides y la fracción de superficie de dispersoides de las aleaciones de aluminio según determinados aspectos de la presente descripción.

40 La Figura 9 es una serie de micrografías de aleaciones de aluminio según determinados aspectos de la presente descripción.

La Figura 10 es un gráfico que muestra la distribución de tamaños de los constituyentes de Fe de las aleaciones de aluminio según determinados aspectos de la presente descripción.

45 La Figura 11 es una serie de micrografías de aleaciones de aluminio según determinados aspectos de la presente descripción.

Descripción detallada

50 En el presente documento se describen aleaciones y productos de aluminio novedosos y métodos para prepararlos. Las aleaciones presentan alta resistencia y alta conformabilidad. Como se describe adicionalmente en el presente documento, los elementos solutos, incluidos Cu, Mg y Si, se combinan con elementos de transición (p. ej., Mn, Cr, Zn y V) para obtener un efecto sinérgico de aumentar tanto la resistencia como la conformabilidad de las aleaciones. Los elementos de transición ayudan a prevenir la formación de precipitados a lo largo de los límites de grano en las aleaciones de aluminio, como se describe más adelante. Además, los métodos de procesamiento utilizados para preparar las aleaciones y los productos contribuyen a la alta resistencia y conformabilidad presentadas por las aleaciones y los productos.

Definiciones y Descripciones:

60 Las expresiones "invención", "la invención", "esta invención" y "la presente invención" utilizadas en el presente documento pretenden referirse ampliamente a la totalidad del objeto de esta solicitud de patente y las reivindicaciones más adelante. Debe entenderse que las declaraciones que contienen estas expresiones no limitan el objeto descrito en el presente documento ni limitan el significado o el alcance de las reivindicaciones a continuación.

En esta descripción, se hace referencia a las aleaciones identificadas por las denominaciones de la industria del aluminio, tales como "serie" o "AA6xxx". Para comprender el sistema de designación numérica más comúnmente usado para la denominación e identificación del aluminio y sus aleaciones, véase "International Alloy Designations and Chemical Composition Limits for Wrought Aluminum and Wrought Aluminum Alloys" o "Registration Record of Aluminum Association Alloy Designations and Chemical Compositions Limits for Aluminum Alloys in the Form of Castings and Ingot", ambos publicados por The Aluminum Association.

Como se usa en el presente documento, el significado de "un", "una" o "el/la" incluyen referencias en singular y plural a menos que el contexto determine claramente lo contrario.

Como se usa en el presente documento, el significado de "temperatura ambiente" puede incluir una temperatura de aproximadamente 15 °C a aproximadamente 30 °C, por ejemplo aproximadamente 15 °C, aproximadamente 16 °C, aproximadamente 17 °C, aproximadamente 18 °C, aproximadamente 19 °C, aproximadamente 20 °C, aproximadamente 21 °C, aproximadamente 22 °C, aproximadamente 23 °C, aproximadamente 24 °C, aproximadamente 25 °C, aproximadamente 26 °C, aproximadamente 27 °C, aproximadamente 28 °C, aproximadamente 29 °C, o aproximadamente 30 °C.

Como se utiliza en el presente documento, una placa generalmente tiene un espesor superior a aproximadamente 15 mm. Por ejemplo, una placa puede referirse a un producto de aluminio que tiene un espesor superior a 15 mm, superior a 20 mm, superior a 25 mm, superior a 30 mm, superior a 35 mm, superior a 40 mm, superior a 45 mm, superior a 50 mm, o superior a 100 mm.

Como se utiliza en el presente documento, una plancha (también denominada placa de lámina) generalmente tiene un espesor de aproximadamente 4 mm a aproximadamente 15 mm. Por ejemplo, una plancha puede tener un espesor de 4 mm, 5 mm, 6 mm, 7 mm, 8 mm, 9 mm, 10 mm, 11 mm, 12 mm, 13 mm, 14 mm o 15 mm.

Como se usa en el presente documento, una lámina generalmente se refiere a un producto de aleación de aluminio que tiene un espesor menor de aproximadamente 4 mm. Por ejemplo, una lámina puede tener un espesor menor de 4 mm, menor de 3 mm, menor de 2 mm, menor de 1 mm, menor de 0.5 mm, menor de 0.3 mm o menor de 0.1 mm.

Como se usa en el presente documento, las expresiones tales como "artículo de metal colado", "artículo colado", "aleación de aluminio colado" y similares son intercambiables y se refieren a un producto producido por colada con enfriamiento directo (incluida la cocolada con enfriamiento directo) o colada semicontinua, colada continua (inclusive, por ejemplo, mediante el uso de una máquina de colada de doble correa, una máquina de colada de doble rodillo, una máquina de colada de bloque o cualquier otra máquina de colada continua), colada electromagnética, colada superior caliente o cualquier otro método de colada.

Se hace referencia en esta solicitud a la condición o temple de la aleación. Para comprender las descripciones de temple de aleación más comúnmente utilizadas, véase "*American National Standards (ANSI) H35 on Alloy and Temper Designation Systems*". Una condición o temple F se refiere a una aleación de aluminio tal como se fabricó. Una condición o temple O se refiere a una aleación de aluminio después del recocido. Una condición o temple T1 se refiere a una aleación de aluminio enfriada por trabajo en caliente y envejecida naturalmente (p. ej., a temperatura ambiente). Una condición o temple T2 se refiere a una aleación de aluminio enfriada a partir del trabajo en caliente, trabajada en frío y envejecida naturalmente. Una condición o temple T3 se refiere a una solución de aleación de aluminio tratada térmicamente, trabajada en frío y envejecida naturalmente. Una condición o temple T4 se refiere a una solución de aleación de aluminio tratada térmicamente y envejecida naturalmente. Una condición o temple T5 se refiere a una aleación de aluminio enfriada a partir del trabajo en caliente y envejecida artificialmente (a temperaturas elevadas). Una condición o temple T6 se refiere a una solución de aleación de aluminio tratada térmicamente y envejecida artificialmente. Una condición o temple T7 se refiere a una solución de aleación de aluminio tratada térmicamente y envejecida artificialmente en exceso. Una condición o temple T8x se refiere a una solución de aleación de aluminio tratada térmicamente, trabajada en frío y envejecida artificialmente. Una condición o temple T9 se refiere a una solución de aleación de aluminio tratada térmicamente, envejecida artificialmente y trabajada en frío.

Las siguientes aleaciones de aluminio se describen en términos de su composición elemental en porcentaje en peso (%) basado en el peso total de la aleación. En determinados ejemplos de cada aleación, el resto es aluminio, con un % en peso máximo de 0.15% para la suma de todas las impurezas.

Composiciones de aleación

En el presente documento se describen nuevas aleaciones de aluminio. Las aleaciones presentan alta resistencia y alta conformabilidad. En algunos casos, las propiedades de las aleaciones se pueden lograr debido a la composición elemental de las aleaciones. Las aleaciones de aluminio pueden ser aleaciones endurecidas por precipitación o que se pueden endurecer por precipitación. Opcionalmente, las aleaciones de aluminio pueden ser aleaciones de aluminio clasificadas como aleaciones de aluminio de la serie 2xxx (p. ej.,

- 5 en donde el cobre es un elemento de aleación predominante), aleaciones de aluminio de la serie 6xxx (p. ej., en donde el magnesio y el silicio son elementos de aleación predominantes) o aleaciones de aluminio de la serie 7xxx (p. ej., en donde el zinc es un elemento de aleación predominante). En algunos casos, las aleaciones de aluminio pueden ser aleaciones de aluminio de las series 2xxx, 6xxx o 7xxx modificadas. Como se usa en el presente documento, el término "modificada" en relación con una serie de aleaciones de aluminio se refiere a una composición de aleación que típicamente se clasificaría dentro de una serie particular, pero la modificación de uno o más elementos (tipos o cantidades) da como resultado un elemento de aleación predominante diferente. Por ejemplo, una aleación de aluminio de la serie 6xxx modificada puede referirse a una aleación de aluminio en la que el cobre y el silicio son los elementos de aleación predominantes en lugar del magnesio y el silicio.

En algunos casos, una aleación de aluminio puede tener la siguiente composición elemental proporcionada en la Tabla 1:

15 Tabla 1

Elemento	Porcentaje en peso (% en peso)
Si	0.8 - 1.5
Fe	0.1 - 0.5
Cu	0.5 - 1.0
Mg	0.5 - 0.9
Ti	0 - 0.1
Mn	0 - 0.5
Cr	0 - 0.5
Zr	0 - 0.5
V	0.06 - 0.5
Otros	0 - 0.05 (cada uno) 0 - 0.15 (total)
Al	

En otros ejemplos, la aleación puede tener la siguiente composición elemental proporcionada en la Tabla 2.

20 Tabla 2

Elemento	Porcentaje en peso (% en peso)
Si	0.9 - 1.4
Fe	0.1 - 0.3
Cu	0.6 - 0.9
Mg	0.6 - 0.9
Ti	0.01 - 0.09
Mn	0.01 - 0.3
Cr	0.01 - 0.3
Zr	0.01 - 0.3
V	0.06 - 0.3
Otros	0 - 0.05 (cada uno) 0 - 0.15 (total)
Al	

En un ejemplo, la aleación puede tener la siguiente composición elemental proporcionada en la Tabla 3:

25 Tabla 3

Elemento	Porcentaje en peso (% en peso)
Si	1.0 - 1.3
Fe	0.1 - 0.25
Cu	0.7 - 0.9
Mg	0.6 - 0.8
Ti	0.01 - 0.05
Mn	0.05 - 0.2
Cr	0.05 - 0.2

Zr	0.05 - 0.2
V	0.06 - 0.2
Otros	0 - 0.05 (cada uno) 0 - 0.15 (total)
Al	

La aleación descrita en el presente documento incluye silicio (Si) en una cantidad de 0.8% a 1.5% (p. ej., de 0.9% a 1.45%, de 0.9% a 1.4%, de 0.9% a 1.35%, de 0.9% a 1.3%, de 0.9% a 1.25%, de 0.9% a 1.2%, de 0.95% a 1.5%, de 0.95% a 1.45%, de 0.95% a 1.4%, de 0.95% a 1.35%, de 0.95% a 1.3%, de 0.95% a 1.25%, de 0.95% a 1.2%, de 1.0% a 1.5%, de 1.0% a 1.45%, de 1.0% a 1.4%, de 1.0% a 1.35%, de 1.0% a 1.3%, de 1.0% a 1.25%, o de 1.0% a 1.2%) basada en el peso total de la aleación. Por ejemplo, la aleación puede incluir 0.8%, 0.81%, 0.82%, 0.83%, 0.84%, 0.85%, 0.86%, 0.87%, 0.88%, 0.89%, 0.9%, 0.91%, 0.92%, 0.93%, 0.94%, 0.95%, 0.96%, 0.97%, 0.98%, 0.99%, 1.0%, 1.01%, 1.02%, 1.03%, 1.04%, 1.05%, 1.06%, 1.07%, 1.08%, 1.09%, 1.1%, 1.11%, 1.12%, 1.13%, 1.14%, 1.15%, 1.16%, 1.17%, 1.18%, 1.19%, 1.2%, 1.21%, 1.22%, 1.23%, 1.24%, 1.25%, 1.26%, 1.27%, 1.28%, 1.29%, 1.3%, 1.31%, 1.32%, 1.33%, 1.34%, 1.35%, 1.36%, 1.37%, 1.38%, 1.39%, 1.4%, 1.41%, 1.42%, 1.43%, 1.44%, 1.45%, 1.46%, 1.47%, 1.48%, 1.49% o 1.5% de Si. Todos expresados en % en peso.

La aleación descrita en el presente documento incluye hierro (Fe) en una cantidad de 0.1% a 0.5% (p. ej., de 0.1% a 0.45%, de 0.1% a 0.4%, de 0.1% a 0.35%, de 0.1% a 0.3%, de 0.1% a 0.25%, de 0.1% a 0.2%, de 0.15% a 0.45%, de 0.15% a 0.4%, de 0.15% a 0.35%, de 0.15% a 0.3%, de 0.15% a 0.25%, de 0.15% a 0.2%, de 0.2% a 0.45%, de 0.2% a 0.4%, de 0.2% a 0.35%, de 0.2% a 0.3%, de 0.2% a 0.25%, de 0.25% a 0.45%, de 0.25% a 0.4%, de 0.25% a 0.35%, de 0.25% a 0.3%, de 0.3% a 0.45%, de 0.3% a 0.4%, o de 0.3% a 0.35%) basada en el peso total de la aleación. Por ejemplo, la aleación puede incluir 0.1%, 0.11%, 0.12%, 0.13%, 0.14%, 0.15%, 0.16%, 0.17%, 0.18%, 0.19%, 0.2%, 0.21%, 0.22%, 0.23%, 0.24%, 0.25%, 0.26%, 0.27%, 0.28%, 0.29%, 0.3%, 0.31%, 0.32%, 0.33%, 0.34%, 0.35%, 0.36%, 0.37%, 0.38%, 0.39%, 0.4%, 0.41%, 0.42%, 0.43%, 0.44%, 0.45%, 0.46%, 0.47%, 0.48%, 0.49% o 0.5% de Fe. Todos expresados en % en peso.

La aleación descrita en el presente documento incluye cobre (Cu) en una cantidad de 0.5% a 1.0% (p. ej., de 0.55% a 1.0%, de 0.6% a 1.0%, de 0.65% a 1.0%, de 0.7% a 1.0%, de 0.75% a 1.0%, de 0.8% a 1.0%, de 0.5% a 0.95%, de 0.55% a 0.95%, de 0.6% a 0.95%, de 0.65% a 0.95%, de 0.7% a 0.95%, de 0.75% a 0.95%, de 0.8% a 0.95%, de 0.5% a 0.9%, de 0.55% a 0.9%, de 0.6% a 0.9%, de 0.65% a 0.9%, de 0.7% a 0.9%, de 0.75% a 0.9%, de 0.8% a 0.9%, de 0.5% a 0.85%, de 0.55% a 0.85%, de 0.6% a 0.85%, de 0.65% a 0.85%, de 0.7% a 0.85%, de 0.75% a 0.85%, de 0.8% a 0.85%, de 0.5% a 0.8%, de 0.55% a 0.8%, de 0.6% a 0.8%, de 0.65% a 0.8%, de 0.7% a 0.8%, o de 0.75% a 0.8%) basada en el peso total de la aleación. Por ejemplo, la aleación puede incluir 0.5%, 0.51%, 0.52%, 0.53%, 0.54%, 0.55%, 0.56%, 0.57%, 0.58%, 0.59%, 0.6%, 0.61%, 0.62%, 0.63%, 0.64%, 0.65%, 0.66%, 0.67%, 0.68%, 0.69%, 0.7%, 0.71%, 0.72%, 0.73%, 0.74%, 0.75%, 0.76%, 0.77%, 0.78%, 0.79%, 0.8%, 0.81%, 0.82%, 0.83%, 0.84%, 0.85%, 0.86%, 0.87%, 0.88%, 0.89%, 0.9%, 0.91%, 0.92%, 0.93%, 0.94%, 0.95%, 0.96%, 0.97%, 0.98%, 0.99% o 1.0% de Cu. Todos expresados en % en peso.

La aleación descrita en el presente documento incluye magnesio (Mg) en una cantidad de 0.5% a 0.9% (p. ej., de 0.55% a 0.9%, de 0.6% a 0.9%, de 0.65% a 0.9%, de 0.7% a 0.9%, de 0.75% a 0.9%, de 0.8% a 0.9%, de 0.5% a 0.85%, de 0.55% a 0.85%, de 0.6% a 0.85%, de 0.65% a 0.85%, de 0.7% a 0.85%, de 0.75% a 0.85%, de 0.8% a 0.85%, de 0.5% a 0.8%, de 0.55% a 0.8%, de 0.6% a 0.8%, de 0.65% a 0.8%, de 0.7% a 0.8%, o de 0.75% a 0.8%) basada en el peso total de la aleación. Por ejemplo, la aleación puede incluir 0.5%, 0.51%, 0.52%, 0.53%, 0.54%, 0.55%, 0.56%, 0.57%, 0.58%, 0.59%, 0.6%, 0.61%, 0.62%, 0.63%, 0.64%, 0.65%, 0.66%, 0.67%, 0.68%, 0.69%, 0.7%, 0.71%, 0.72%, 0.73%, 0.74%, 0.75%, 0.76%, 0.77%, 0.78%, 0.79%, 0.8%, 0.81%, 0.82%, 0.83%, 0.84%, 0.85%, 0.86%, 0.87%, 0.88%, 0.89% o 0.9% de Mg. Todos expresados en % en peso.

En determinados aspectos, la aleación descrita en el presente documento incluye titanio (Ti) en una cantidad de hasta 0.1% (p. ej., de 0.01% a 0.09%, de 0.02% a 0.09%, de 0.03% a 0.09%, de 0.04% a 0.09%, de 0.05% a 0.09%, de 0.01% a 0.08%, de 0.02% a 0.08%, de 0.03% a 0.08%, de 0.04% a 0.08%, de 0.05% a 0.08%, de 0.01% a 0.07%, de 0.02% a 0.07%, de 0.03% a 0.07%, de 0.04% a 0.07%, de 0.05% a 0.07%, de 0.01% a 0.06%, de 0.02% a 0.06%, de 0.03% a 0.06%, de 0.04% a 0.06%, de 0.05% a 0.06%, de 0.01% a 0.05%, de 0.02% a 0.05%, de 0.03% a 0.05%, o de 0.04% a 0.05%) basada en el peso total de la aleación. Por ejemplo, la aleación puede incluir 0.01%, 0.02%, 0.03%, 0.04%, 0.05%, 0.06%, 0.07%, 0.08%, 0.09% o 0.1% de Ti. En algunos ejemplos, el Ti no está presente en la aleación (es decir, 0% de Ti). Todos expresados en % en peso.

En determinados ejemplos, la aleación descrita en el presente documento incluye manganeso (Mn) en una cantidad de hasta 0.5% (p. ej., de 0.01% a 0.5%, de 0.01% a 0.4%, de 0.01% a 0.3%, de 0.01% a 0.2%, de 0.01% a 0.1%, de 0.06% a 0.5%, de 0.06% a 0.4%, de 0.06% a 0.3%, de 0.06% a 0.2%, de 0.06% a 0.1%, de 0.1% a 0.5%, de 0.1% a 0.4%, de 0.1% a 0.3%, o de 0.1% a 0.2%) basada en el peso total de la aleación. Por ejemplo, la aleación puede incluir 0.01%, 0.02%, 0.03%, 0.04%, 0.05%, 0.06%, 0.07%, 0.08%, 0.09%, 0.1%, 0.11%, 0.12%, 0.13%, 0.14%, 0.15%, 0.16%, 0.17%, 0.18%, 0.19%, 0.2%, 0.21%, 0.22%, 0.23%, 0.24%,

0.25%, 0.26%, 0.27%, 0.28%, 0.29%, 0.3%, 0.31%, 0.32%, 0.33%, 0.34%, 0.35%, 0.36%, 0.37%, 0.38%, 0.39%, 0.4%, 0.41%, 0.42%, 0.43%, 0.44%, 0.45%, 0.46%, 0.47%, 0.48%, 0.49% o 0.5% de Mn. En algunos ejemplos, el Mn no está presente en la aleación (es decir, 0% de Mn). Todos expresados en % en peso.

5 En determinados aspectos, la aleación descrita en el presente documento incluye cromo (Cr) en una cantidad de hasta 0.5% (p. ej., de 0.01% a 0.5%, de 0.01% a 0.4%, de 0.01% a 0.3%, de 0.01% a 0.2%, de 0.01% a 0.1%, de 0.06% a 0.5%, de 0.06% a 0.4%, de 0.06% a 0.3%, de 0.06% a 0.2%, de 0.06% a 0.1%, de 0.1% a 0.5%, de 0.1% a 0.4%, de 0.1% a 0.3%, o de 0.1% a 0.2%) basada en el peso total de la aleación. Por ejemplo, la aleación puede incluir 0.01%, 0.02%, 0.03%, 0.04%, 0.05%, 0.06%, 0.07%, 0.08%, 0.09%, 0.1%, 0.11%,
10 0.12%, 0.13%, 0.14%, 0.15%, 0.16%, 0.17%, 0.18%, 0.19%, 0.2%, 0.21%, 0.22%, 0.23%, 0.24%, 0.25%, 0.26%, 0.27%, 0.28%, 0.29%, 0.3%, 0.31%, 0.32%, 0.33%, 0.34%, 0.35%, 0.36%, 0.37%, 0.38%, 0.39%, 0.4%, 0.41%, 0.42%, 0.43%, 0.44%, 0.45%, 0.46%, 0.47%, 0.48%, 0.49%, o 0.5% de Cr. En algunos ejemplos, el Cr no está presente en la aleación (es decir, 0% de Cr). Todos expresados en % en peso.

15 En determinados aspectos, la aleación descrita en el presente documento incluye circonio (Zr) en una cantidad de hasta 0.5% (p. ej., de 0.01% a 0.5%, de 0.01% a 0.4%, de 0.01% a 0.3%, de 0.01% a 0.2%, de 0.01% a 0.1%, de 0.06% a 0.5%, de 0.06% a 0.4%, de 0.06% a 0.3%, de 0.06% a 0.2%, de 0.06% a 0.1%, de 0.1% a 0.5%, de 0.1% a 0.4%, de 0.1% a 0.3%, o de 0.1% a 0.2%) basada en el peso total de la aleación. Por ejemplo, la aleación puede incluir 0.01%, 0.02%, 0.03%, 0.04%, 0.05%, 0.06%, 0.07%, 0.08%, 0.09%, 0.1%, 0.11%,
20 0.12%, 0.13%, 0.14%, 0.15%, 0.16%, 0.17%, 0.18%, 0.19%, 0.2%, 0.21%, 0.22%, 0.23%, 0.24%, 0.25%, 0.26%, 0.27%, 0.28%, 0.29%, 0.3%, 0.31%, 0.32%, 0.33%, 0.34%, 0.35%, 0.36%, 0.37%, 0.38%, 0.39%, 0.4%, 0.41%, 0.42%, 0.43%, 0.44%, 0.45%, 0.46%, 0.47%, 0.48%, 0.49% o 0.5% de Zr. En determinados aspectos, el Zr no está presente en la aleación (es decir, 0%). Todos expresados en % en peso.

25 La aleación descrita en el presente documento incluye vanadio (V) en una cantidad de 0.06 - 0.5% (p. ej., de 0.06% a 0.5%, de 0.06% a 0.4%, de 0.06% a 0.3%, de 0.06% a 0.2%, de 0.06% a 0.1%, de 0.1% a 0.5%, de 0.1% a 0.4%, de 0.1% a 0.3%, o de 0.1% a 0.2%) basada en el peso total de la aleación. Por ejemplo, la aleación puede incluir 0.06%, 0.07%, 0.08%, 0.09%, 0.1%, 0.11%, 0.12%, 0.13%, 0.14%, 0.15%, 0.16%, 0.17%, 0.18%, 0.19%, 0.2%, 0.21%, 0.22%, 0.23%, 0.24%, 0.25%, 0.26%, 0.27%, 0.28%, 0.29%, 0.3%, 0.31%,
30 0.32%, 0.33%, 0.34%, 0.35%, 0.36%, 0.37%, 0.38%, 0.39%, 0.4%, 0.41%, 0.42%, 0.43%, 0.44%, 0.45%, 0.46%, 0.47%, 0.48%, 0.49% o 0.5% de V. Todos expresados en % en peso.

Opcionalmente, las composiciones de aleación pueden incluir además otros elementos menores, a veces denominados impurezas, en cantidades de 0.05% o menos, 0.04% o menos, 0.03% o menos, 0.02% o menos, 0.01% o menos cada uno. Estas impurezas pueden incluir, pero no se limitan a, Ni, Sc, Sn, Ga, Ca, Hf, Sr o combinaciones de estas. Por consiguiente, el Ni, Sc, Sn, Ga, Ca, Hf o Sr pueden estar presentes en una aleación en cantidades de 0.05% o menos, 0.04% o menos, 0.03% o menos, 0.02% o menos, o 0.01% o menos. En determinados aspectos, la suma de todas las impurezas no supera 0.15% (p. ej., 0.1%). Todos expresados en % en peso. La composición de aleación también incluye aluminio. En determinados aspectos,
40 el porcentaje restante de la aleación es aluminio.

Un ejemplo no limitante de una aleación adecuada incluye 1.20% de Si, 0.18% de Fe, 0.80% de Cu, 0.70% de Mg, 0.02% de Ti, 0.08% de Cr, 0.11% de V, y hasta 0.15% de impurezas totales, con el resto de Al. En algunos casos, otro ejemplo no limitante de una aleación adecuada incluye 1.20% de Si, 0.18% de Fe, 0.80% de Cu, 0.70% de Mg, 0.02% de Ti, 0.09% de Zr, 0.10% de V y hasta 0.15% de impurezas totales, con el resto de Al. En algunos casos, otro ejemplo no limitante de una aleación adecuada incluye 1.20% de Si, 0.18% de Fe, 0.80% de Cu, 0.70% de Mg, 0.02% de Ti, 0.09% de Mn, 0.10% de V y hasta 0.15% de impurezas totales, con el resto de Al.

50 Microestructura de aleación y propiedades

En determinados aspectos, el contenido y las relaciones de Si, Mg y Cu se controlan para mejorar la resistencia y la conformabilidad. Opcionalmente, el contenido del elemento de transición (p. ej., Mn, Cr, Zr y/o V) se controla para mejorar la resistencia y la conformabilidad.

55 En algunos casos, la aleación descrita en el presente documento incluye exceso de Si. Opcionalmente, el contenido de Si y Mg se controla de manera que el exceso de Si está presente en la aleación como se describe en el presente documento. El contenido en exceso de Si se puede calcular según el método descrito en la patente de EE. UU. N.º 4,614,552, col. 4, líneas 49-52. Brevemente, el Mg y Si se combinan como Mg₂Si, impartiendo una mejora considerable de la resistencia después del endurecimiento por envejecimiento. Además, se pueden formar constituyentes que contienen Si, tales como Al(FeMn)Si. El exceso de Si está presente cuando el contenido de Si está por encima de la relación estequiométrica de Mg₂Si y por encima de la cantidad incluida en los constituyentes de Al(FeMn)Si. El contenido de Si en exceso puede calcularse restando del contenido total de Si el Si necesario para Mg₂Si (Mg/1.73) y la fase que contiene Fe (Fe/3). El
60 contenido en exceso de Si puede ser 1.0 o menos (p. ej., de 0.01 a 1.0, de 0.1 a 0.9, o de 0.5 a 0.8). Por ejemplo, el contenido de Si en exceso puede ser 0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.05, 0.06, 0.07, 0.08, 0.09, 0.10, 0.15,

0.20, 0.25, 0.30, 0.35, 0.40, 0.45, 0.50, 0.55, 0.60, 0.65, 0.70, 0.75, 0.80, 0.85, 0.90, 0.95, 1.0 o cualquier punto intermedio.

5 Las aleaciones descritas en el presente documento incluyen al menos un elemento de transición (p. ej., al menos uno de Mn, Cr, Zr y/o V). Opcionalmente, el contenido combinado de los elementos de transición en las aleaciones descritas en el presente documento es al menos 0.14% en peso. Por ejemplo, el contenido combinado de Mn, Cr, Zr y/o V puede ser de 0.14% en peso a 0.40% en peso (p. ej., de 0.15% en peso a 0.35% en peso o de 0.25% en peso a 0.30% en peso). En algunos casos, el contenido combinado de Mn, Cr, Zr y/o V es 0.14%, 0.15%, 0.16%, 0.17%, 0.18%, 0.19%, 0.2%, 0.21%, 0.22%, 0.23%, 0.24%, 0.25%, 0.26%, 10 0.27%, 0.28%, 0.29%, 0.3%, 0.31%, 0.32%, 0.33%, 0.34%, 0.35%, 0.36%, 0.37%, 0.38%, 0.39% o 0.4%. En algunos casos, uno o más de los elementos de transición pueden no estar presentes, siempre que el porcentaje de peso total de los elementos de transición presentes sea de al menos 0.14% en peso.

15 La presencia de uno o más de los elementos de transición, tales como Mn, Cr, Zr y/o V, puede formar ventajosamente dispersoides durante los métodos de procesamiento descritos en el presente documento, tal como durante la etapa de homogeneización. Los dispersoides pueden funcionar como sitios de nucleación heterogéneos para precipitados durante las etapas de procesamiento, tal como durante la etapa de tratamiento térmico con solución. En determinados aspectos, la precipitación en el límite de grano (GB) ocurre debido a la mala orientación del GB que es favorable para la nucleación del precipitado. Los dispersoides reducen o 20 eliminan los precipitados en GB y también reducen la localización de tensión, difundiendo así la distribución de tensión durante la deformación. Los precipitados en GB reducidos o eliminados y/o la distribución de tensión difusa durante la deformación dan como resultado una mejor capacidad de flexión de las aleaciones y productos de aleación resultantes.

25 En algunos ejemplos no limitantes, los dispersoides descritos en el presente documento pueden contener Al y uno o más de los elementos de aleación encontrados en la composición de aleación como se describe anteriormente. En algunos ejemplos, los dispersoides pueden tener una composición según una o más de las siguientes fórmulas: AlX, AlXX, AlXSi, Al(Fe,X), Al(Fe,X)Si, o similares, en donde cada X se selecciona del grupo que consiste en Fe, Si, Mn, Cr, V o Zr.

30 El tamaño y la distribución media de dispersoides son factores importantes que dan como resultado las propiedades deseables de resistencia y conformabilidad que muestran las aleaciones y los productos de aleación descritos en el presente documento. En el tamaño y la distribución influye la presencia de elementos de transición, como se describe anteriormente, y también los métodos de procesamiento de las aleaciones, como se describe más adelante. En algunos ejemplos, los dispersoides pueden estar presentes en la aleación 35 de aluminio en una cantidad promedio de al menos 1 500 000 dispersoides por milímetro cuadrado (mm^2). Por ejemplo, los dispersoides pueden estar presentes en una cantidad de al menos 1 600 000 dispersoides por mm^2 , al menos 1 700 000 dispersoides por mm^2 , al menos 1 800 000 dispersoides por mm^2 , al menos 1 900 000 dispersoides por mm^2 , al menos 2 000 000 dispersoides por mm^2 , al menos 2 100 000 dispersoides 40 por mm^2 , al menos 2 200 000 dispersoides por mm^2 , al menos 2 300 000 dispersoides por mm^2 , al menos 2 400 000 dispersoides por mm^2 , al menos 2 500 000 dispersoides por mm^2 , al menos 2 600 000 dispersoides por mm^2 , al menos 2 700 000 dispersoides por mm^2 , al menos 2 800 000 dispersoides por mm^2 , al menos 2 900 000 dispersoides por mm^2 , o al menos 3 000 000 dispersoides por mm^2 . En algunos ejemplos, la cantidad promedio de dispersoides presentes en la aleación de aluminio puede ser de 1 500 000 dispersoides por mm^2 45 a 5 000 000 dispersoides por mm^2 (p. ej., de 1 750 000 dispersoides por mm^2 a 4 750 000 dispersoides por mm^2 o de 2 000 000 dispersoides por mm^2 a 4 500 000 dispersoides por mm^2). Los dispersoides en la aleación de aluminio pueden ocupar un área que varía de 0.5% a 5% de la aleación (p. ej., de 1% a 4% o de 1.5% a 2.5% de la aleación).

50 Opcionalmente, los dispersoides pueden tener un diámetro medio de 10 nm a 600 nm (p. ej., de 50 nm a 500 nm, de 100 nm a 450 nm, de 200 nm a 400 nm, de 10 nm a 200 nm, o de 500 nm a 600 nm). Por ejemplo, los dispersoides pueden tener un diámetro de 10 nm, 20 nm, 30 nm, 40 nm, 50 nm, 60 nm, 70 nm, 80 nm, 90 nm, 100 nm, 110 nm, 120 nm, 130 nm, 140 nm, 150 nm, 160 nm, 170 nm, 180 nm, 190 nm, 200 nm, 210 nm, 220 nm, 230 nm, 240 nm, 250 nm, 260 nm, 270 nm, 280 nm, 290 nm, 300 nm, 310 nm, 320 nm, 330 nm, 340 nm, 55 350 nm, 360 nm, 370 nm, 380 nm, 390 nm, 400 nm, 410 nm, 420 nm, 430 nm, 440 nm, 450 nm, 460 nm, 470 nm, 480 nm, 490 nm, 500 nm, 510 nm, 520 nm, 530 nm, 540 nm, 550 nm, 560 nm, 570 nm, 580 nm, 590 nm, 600 nm o cualquier punto intermedio.

60 Las aleaciones descritas en el presente documento también incluyen constituyentes de Fe, a los que también se hace referencia en el presente documento como partículas que contienen Fe. Opcionalmente, además de Fe, los constituyentes de Fe pueden incluir uno o más de Al, Mn, Si, Cu, Ti, Zr, Cr y/o Mg. En algunos ejemplos, los constituyentes de Fe pueden ser partículas de fase Al(Fe,X)Si, en donde X puede ser Mn, Cr, Zr y/o V, y/o partículas de fase AlFeSi. Por ejemplo, los constituyentes de Fe pueden incluir uno o más de Al_3Fe , $\text{Al}_x(\text{Fe},\text{Mn})$, Al_3Fe , $\text{Al}_{12}(\text{Fe},\text{Mn})_3\text{Si}$, $\text{Al}_7\text{Cu}_2\text{Fe}$, $\text{Al}(\text{Fe},\text{Mn})_2\text{Si}_3$, $\text{Al}_x(\text{Mn},\text{Fe})$ y $\text{Al}_{12}(\text{Mn},\text{Fe})_3\text{Si}$. La presencia de los elementos de transición descritos en el presente documento da como resultado la transformación de partículas de AlFeSi en 65 partículas de Al(Fe,X)Si. En algunos ejemplos, el número de partículas de fase Al(Fe,X)Si, que son partículas

- esferoides, es mayor que la cantidad de partículas de fase AlFeSi , que son partículas de tipo escama o aguja. Opcionalmente, al menos el 50% de los constituyentes de Fe están presentes como partículas de Al(Fe,X)Si (p. ej., al menos 55%, al menos 60%, al menos 65%, al menos 70%, al menos 75%, al menos 80%, al menos 85%, al menos 90% o al menos 95% de los constituyentes de Fe están presentes como partículas de Al(Fe,X)Si). Los constituyentes de Fe pueden tener un tamaño medio de partículas de hasta 4 μm . Por ejemplo, los constituyentes de Fe, en media, pueden variar en tamaño de 0.1 μm a 4 μm (p. ej., de 0.5 μm a 3.5 μm o de 1 μm a 3 μm).
- Opcionalmente, el contenido y las relaciones de Cr, Mn, Zr y/o V se controlan para formar el tamaño, tipo y distribución deseados de los dispersoides, lo que conduce a una conformabilidad y resistencia mejoradas. En algunos ejemplos no limitantes, una relación de Cr a Mn (también denominada en el presente documento relación Cr/Mn) puede ser de 0.15:1 a 0.7:1 (p. ej., de 0.3:1 a 0.6:1 o de 0.4:1 a 0.55:1). Por ejemplo, la relación Cr/Mn puede ser de 0.15:1, 0.16:1, 0.17:1, 0.18:1, 0.19:1, 0.20:1, 0.21:1, 0.22:1, 0.23:1, 0.24:1, 0.25:1, 0.26:1, 0.27:1, 0.28:1, 0.29:1, 0.30:1, 0.31:1, 0.32:1, 0.33:1, 0.34:1, 0.35:1, 0.36:1, 0.37:1, 0.38:1, 0.39:1, 0.40:1, 0.41:1, 0.42:1, 0.43:1, 0.44:1, 0.45:1, 0.46:1, 0.47:1, 0.48:1, 0.49:1, 0.50:1, 0.51:1, 0.52:1, 0.53:1, 0.54:1, 0.55:1, 0.56:1, 0.57:1, 0.58:1, 0.59:1, 0.60:1, 0.61:1, 0.62:1, 0.63:1, 0.64:1, 0.65:1, 0.66:1, 0.67:1, 0.68:1, 0.69:1 o 0.70:1.
- En algunos ejemplos no limitantes, una relación de Cr a V (también denominada en el presente documento relación Cr/V) puede ser de 0.5:1 a 1.5:1 (p. ej., de 0.6:1 a 1.4:1 o de 0.7:1 a 1.3:1). Por ejemplo, la relación Cr/V puede ser de 0.50:1, 0.51:1, 0.52:1, 0.53:1, 0.54:1, 0.55:1, 0.56:1, 0.57:1, 0.58:1, 0.59:1, 0.60:1, 0.61:1, 0.62:1, 0.63:1, 0.64:1, 0.65:1, 0.66:1, 0.67:1, 0.68:1, 0.69:1, 0.70:1, 0.71:1, 0.72:1, 0.73:1, 0.74:1, 0.75:1, 0.76:1, 0.77:1, 0.78:1, 0.79:1, 0.80:1, 0.81:1, 0.82:1, 0.83:1, 0.84:1, 0.85:1, 0.86:1, 0.87:1, 0.88:1, 0.89:1, 0.90:1, 0.91:1, 0.92:1, 0.93:1, 0.94:1, 0.95:1, 0.96:1, 0.97:1, 0.98:1, 0.99:1, 1.0:1, 1.1:1, 1.2:1, 1.3:1, 1.4:1 o 1.5:1.
- En algunos ejemplos no limitantes, una relación de Cr a Zr (también denominada en el presente documento relación Cr/Zr) puede ser de 0.5:1 a 1.5:1 (p. ej., de 0.6:1 a 1.4:1 o de 0.7:1 a 1.3:1). Por ejemplo, la relación Cr/Zr puede ser de 0.50:1, 0.51:1, 0.52:1, 0.53:1, 0.54:1, 0.55:1, 0.56:1, 0.57:1, 0.58:1, 0.59:1, 0.60:1, 0.61:1, 0.62:1, 0.63:1, 0.64:1, 0.65:1, 0.66:1, 0.67:1, 0.68:1, 0.69:1, 0.70:1, 0.71:1, 0.72:1, 0.73:1, 0.74:1, 0.75:1, 0.76:1, 0.77:1, 0.78:1, 0.79:1, 0.80:1, 0.81:1, 0.82:1, 0.83:1, 0.84:1, 0.85:1, 0.86:1, 0.87:1, 0.88:1, 0.89:1, 0.90:1, 0.91:1, 0.92:1, 0.93:1, 0.94:1, 0.95:1, 0.96:1, 0.97:1, 0.98:1, 0.99:1, 1.0:1, 1.1:1, 1.2:1, 1.3:1, 1.4:1 o 1.5:1.
- En algunos ejemplos no limitantes, una relación de V a Mn (también denominada en el presente documento relación V/Mn) puede ser de 0.8:1 a 1.4:1 (p. ej., de 0.9:1 a 1.3:1 o de 0.9:1 a 1.2:1). Por ejemplo, la relación V/Mn puede ser de 0.80:1, 0.81:1, 0.82:1, 0.83:1, 0.84:1, 0.85:1, 0.86:1, 0.87:1, 0.88:1, 0.89:1, 0.90:1, 0.91:1, 0.92:1, 0.93:1, 0.94:1, 0.95:1, 0.96:1, 0.97:1, 0.98:1, 0.99:1, 1.0:1, 1.1:1, 1.2:1, 1.3:1 o 1.4:1.
- En algunos ejemplos no limitantes, una relación de V a Zr (también denominada en el presente documento relación V/Zr) puede ser de 0.8:1 a 1.4:1 (p. ej., de 0.9:1 a 1.3:1 o de 0.9:1 a 1.2:1). Por ejemplo, la relación V/Zr puede ser de 0.80:1, 0.81:1, 0.82:1, 0.83:1, 0.84:1, 0.85:1, 0.86:1, 0.87:1, 0.88:1, 0.89:1, 0.90:1, 0.91:1, 0.92:1, 0.93:1, 0.94:1, 0.95:1, 0.96:1, 0.97:1, 0.98:1, 0.99:1, 1.0:1, 1.1:1, 1.2:1, 1.3:1 o 1.4:1.
- En algunos ejemplos no limitantes, una relación de V a Cr (también denominada en el presente documento relación V/Cr) puede ser de 0.8:1 a 1.4:1 (p. ej., de 0.9:1 a 1.3:1 o de 0.9:1 a 1.2:1). Por ejemplo, la relación V/Cr puede ser de 0.80:1, 0.81:1, 0.82:1, 0.83:1, 0.84:1, 0.85:1, 0.86:1, 0.87:1, 0.88:1, 0.89:1, 0.90:1, 0.91:1, 0.92:1, 0.93:1, 0.94:1, 0.95:1, 0.96:1, 0.97:1, 0.98:1, 0.99:1, 1.0:1, 1.1:1, 1.2:1, 1.3:1 o 1.4:1.
- Las propiedades mecánicas de la aleación de aluminio pueden controlarse por medio de diversas condiciones de envejecimiento según el uso deseado. Como un ejemplo, la aleación puede producirse (o proporcionarse) en un temple T4 o un temple T6. En algunos ejemplos no limitantes, la aleación propuesta tiene una conformabilidad y una capacidad de flexión muy alta en el temple T4 y una resistencia muy alta en el temple T6. En determinados aspectos, la aleación de aluminio puede tener un límite elástico T4 que varía de 150 MPa a 250 MPa (p. ej., 150 MPa, 160 MPa, 170 MPa, 180 MPa, 190 MPa, 200 MPa, 210 MPa, 220 MPa, 230 MPa, 240 MPa o 250 MPa). En algunos casos, el límite elástico es de 185 MPa a 195 MPa.
- En determinados aspectos, la aleación en el temple T4 proporciona un alargamiento uniforme de al menos 20% (p. ej., de 20% a 30% o de 22% a 26%). Por ejemplo, el alargamiento uniforme puede ser de 20%, 21%, 22%, 23%, 24%, 25%, 26%, 27%, 28%, 29% o 30%. Opcionalmente, el alargamiento uniforme se mide en la dirección longitudinal (L).
- Opcionalmente, la aleación en el temple T4 proporciona un ángulo de flexión, ensayado según la norma VDA 238-100, de al menos 120°. Por ejemplo, el ángulo de flexión puede ser de 120° a 140° (p. ej., 120°, 121°, 122°, 123°, 124°, 125°, 126°, 127°, 128°, 129°, 130°, 131°, 132°, 133°, 134°, 135°, 136°, 137°, 138°, 139° o 140°). En algunos ejemplos no limitantes, incluir V puede mejorar la conformabilidad de las aleaciones. Por

ejemplo, las aleaciones que incluyen V presentan un aumento en el ángulo de flexión de hasta 10° (p. ej., muestran una mejora de al menos 5°, al menos 6°, al menos 7°, al menos 8°, al menos 9°, al menos 10°, o cualquier punto intermedio) en comparación con las aleaciones que no contienen V.

- 5 En determinados aspectos, la aleación de aluminio puede tener un límite elástico de al menos 200 MPa en el temple T6. En los ejemplos no limitantes, el límite elástico es de al menos 200 MPa, al menos 210 MPa, al menos 220 MPa, al menos 230 MPa, al menos 240 MPa, al menos 250 MPa, al menos 260 MPa, al menos 270 MPa, al menos 280 MPa, al menos 290 MPa, o al menos 300 MPa, al menos 310 MPa, al menos 320 MPa, al menos 330 MPa, al menos 340 MPa, al menos 350 MPa, al menos 360 MPa, al menos 370 MPa, o al menos 375 MPa. En algunos casos, el límite elástico es de 200 MPa a 400 MPa (p. ej., 200 MPa, 210 MPa, 220 MPa, 230 MPa, 240 MPa, 250 MPa, 260 MPa, 270 MPa, 280 MPa, 290 MPa, 300 MPa, 310 MPa, 320 MPa, 330 MPa, 340 MPa, 350 MPa, 360 MPa, 370 MPa o 375 MPa).

- 10 15 En determinados aspectos, la aleación en el temple T6 proporciona un alargamiento uniforme de al menos 5% (p. ej., de 5% a 10% o de 6% a 9%). Por ejemplo, el alargamiento uniforme puede ser de 5%, 6%, 7%, 8%, 9% o 10%. Opcionalmente, el alargamiento uniforme se mide en la dirección longitudinal (L).

- 20 Los productos de aleación también incluyen componentes de textura de recristalización en una superficie de los productos de aleación. Por ejemplo, los productos de aleación incluyen uno o más de los siguientes componentes de textura de recristalización: cubo, Goss, latón, S, Cu y cubo rotado (denominado "RC"). Opcionalmente, al menos 5% en volumen del componente de textura de cubo rotado está presente en el producto de aleación (p. ej., de 5% en volumen a 20% en volumen, de 6% en volumen a 18% en volumen, de 8% en volumen a 15% en volumen, de 10% en volumen a 13% en volumen, o de 5% en volumen a 6% en volumen). Tal componente de textura de cubo rotado puede dar como resultado una flexión deseable en el producto de aleación.

Métodos de preparación de las aleaciones de aluminio

- 30 Sin pretender limitar la invención, las propiedades de la aleación de aluminio se determinan parcialmente por la formación de microestructuras durante la preparación de la aleación. En determinados aspectos, el método de preparación para una composición de aleación puede influir o incluso determinar si la aleación tendrá propiedades adecuadas para una aplicación deseada.

Colada

- 35 La aleación descrita en el presente documento puede colarse en un artículo colado utilizando cualquier método de colada adecuado. Por ejemplo, el procedimiento de colada puede incluir un procedimiento de colada con enfriamiento directo (DC). Opcionalmente, el procedimiento de colada puede incluir un procedimiento de colada continua (CC). Después, el artículo colado puede someterse a etapas de procesamiento adicionales. Por ejemplo, los métodos de procesamiento como se describen en el presente documento pueden incluir las etapas de homogeneización, laminado en caliente, laminado en frío, tratamiento con solución y pre-envejecimiento. En algunos casos, los métodos de procesamiento también pueden incluir una etapa de envejecimiento artificial.

Homogeneización

- 45 La etapa de homogeneización incluye un procedimiento de calentamiento de dos etapas. En una primera etapa del procedimiento de homogeneización, un artículo colado preparado a partir de una composición de aleación descrita en el presente documento puede calentarse a una temperatura de homogeneización de la primera etapa (p. ej., la temperatura de nucleación de los dispersoides). La temperatura de homogeneización de la primera etapa puede ser de 470 °C a 530 °C (p. ej., 470 °C, 480 °C, 490 °C, 500 °C, 510 °C, 520 °C, 530 °C, o cualquier punto intermedio). En algunos casos, una velocidad de calentamiento a la temperatura de homogeneización de la primera etapa puede ser de 100 °C/hora o menos, 75 °C/hora o menos, 50 °C/hora o menos, 40 °C/hora o menos, 30 °C/hora o menos, 25 °C/hora o menos, 20 °C/hora o menos, o 15 °C/hora o menos. En otros casos, la velocidad de calentamiento a la temperatura de homogeneización de la primera etapa puede ser de 10 °C/min a 100 °C/min (p. ej., de 15 °C/min a 90 °C/min, de 20 °C/min a 80 °C/min, de 30 °C/min a 80 °C/min, de 40 °C/min a 70 °C/min o de 45 °C/min a 65 °C/min).

- 60 Después, el artículo colado se deja en remojo (es decir, se mantiene a la temperatura indicada) durante un período de tiempo. Según un ejemplo no limitante, el artículo colado se deja en remojo durante hasta 6 horas (p. ej., de 30 minutos a 6 horas, inclusive). Por ejemplo, el artículo colado se deja remojar a una temperatura de 470 °C a 530 °C durante 30 minutos, 1 hora, 2 horas, 3 horas, 4 horas, 5 horas, 6 horas o cualquier punto intermedio.

- 65 En la segunda etapa del procedimiento de homogeneización, la temperatura del artículo colado se aumenta a una temperatura mayor que la temperatura utilizada para la primera etapa del procedimiento de homogeneización. La temperatura del artículo colado puede aumentarse, por ejemplo, a una temperatura al

menos 5 °C mayor que la temperatura del producto colado de aleación de aluminio durante la primera etapa del procedimiento de homogeneización. Por ejemplo, el artículo colado se puede calentar adicionalmente a una temperatura de homogeneización de la segunda etapa (p. ej., una temperatura de engrosamiento de dispersoides) de 525 °C a 575 °C (p. ej., de 530 °C a 570 °C o de 535 °C a 565 °C). En algunos ejemplos, la

- 5 temperatura de homogeneización de la segunda etapa puede ser 525 °C, 530 °C, 535 °C, 540 °C, 545 °C, 550 °C, 555 °C, 560 °C, 565 °C, 570 °C, 575 °C, o cualquier punto intermedio) en una segunda etapa de homogeneización. En algunos casos, una velocidad de calentamiento a la temperatura de homogeneización de la segunda etapa puede ser de 50°C/hora o menos, 30°C/hora o menos o 25°C/hora o menos.
- 10 El artículo colado luego se deja en remojo durante un período de tiempo durante la segunda etapa. Según un ejemplo no limitante, el artículo colado se deja en remojo durante hasta 5 horas (p. ej., de 20 minutos a 5 horas, inclusive). Por ejemplo, el artículo colado se puede remojar a una temperatura de 525 °C a 575 °C durante 15 minutos, 20 minutos, 30 minutos, 45 minutos, 1 hora, 1.5 horas, 2 horas, 3 horas, 4 horas, 5 horas, o cualquier punto intermedio.

15 Laminado en caliente

Tras la etapa de homogeneización, se realiza una etapa de laminado en caliente. En determinados casos, los artículos colados se depositan y laminan en caliente con un intervalo de temperatura de entrada de 500 °C a 560 °C (p. ej., de 510 °C a 550 °C o de 520 °C a 540 °C). La temperatura de entrada puede ser, por ejemplo,

- 20 505 °C, 510 °C, 515 °C, 520 °C, 525 °C, 530 °C, 535 °C, 540 °C, 545 °C, 550 °C, 555 °C, 560 °C, o cualquier punto intermedio. En determinados casos, la temperatura de salida del laminado en caliente puede estar en el intervalo de 250 °C a 380 °C (p. ej., de 275 °C a 370 °C o de 300 °C a 360 °C). Por ejemplo, la temperatura de salida de laminado en caliente puede ser 255 °C, 260 °C, 265 °C, 270 °C, 275 °C, 280 °C, 285 °C, 290 °C, 295 °C, 300 °C, 305 °C, 310 °C, 315 °C, 320 °C, 325 °C, 330 °C, 335 °C, 340 °C, 345 °C, 350 °C, 355 °C, 360 °C, 365 °C, 370 °C, 375 °C o 380 °C.

En determinados casos, el artículo colado se lamina en caliente a un calibre de 4 mm a 15 mm (p. ej., de un calibre de 5 mm a 12 mm), que se denomina banda caliente. Por ejemplo, el artículo colado puede ser laminado

- 30 en caliente a un calibre de 15 mm, un calibre de 14 mm, un calibre de 13 mm, un calibre de 12 mm, un calibre de 11 mm, un calibre de 10 mm, un calibre de 9 mm, un calibre de 8 mm, un calibre de 7 mm, un calibre de 6 mm, un calibre de 5 mm o un calibre de 4 mm. El temple de la banda caliente laminada se denomina Temple F.

35 Laminado en frío

Se lleva a cabo una etapa de laminado en frío antes de la etapa de tratamiento con solución. En determinados aspectos, la banda caliente se lamina en frío a una lámina de aleación de aluminio de calibre final. En algunos ejemplos, la lámina de aleación de aluminio de calibre final tiene un espesor de 4 mm o menos, 3 mm o menos,

- 40 2 mm o menos, 1 mm o menos, 0.9 mm o menos, 0.8 mm o menos, 0.7 mm o menos, 0.6 mm o menos, 0.5 mm o menos, 0.4 mm o menos, 0.3 mm o menos, 0.2 mm o menos o 0.1 mm.

Tratamiento con solución

La etapa de tratamiento con solución puede incluir calentar la lámina de aleación de aluminio u otro artículo laminado desde la temperatura ambiente a una temperatura máxima del metal. Opcionalmente, la temperatura máxima del metal puede ser de 520 °C a 590 °C (p. ej., de 520 °C a 580 °C, de 530 °C a 570 °C, de 545 °C a 575 °C, de 550 °C a 570 °C, de 555 °C a 565 °C, de 540 °C a 560 °C, de 560 °C a 580 °C, o de 550 °C a 575 °C). La lámina de aleación de aluminio puede remojar a la temperatura máxima del metal durante un período de tiempo. En determinados aspectos, la lámina de aleación de aluminio se deja remojar durante hasta

- 50 aproximadamente 2 minutos (p. ej., de 10 segundos a 120 minutos, inclusive). Por ejemplo, la lámina se puede remojar a una temperatura de 520 °C a 590 °C durante 10 segundos, 15 segundos, 20 segundos, 25 segundos, 30 segundos, 35 segundos, 40 segundos, 45 segundos, 50 segundos, 55 segundos, 60 segundos, 65 segundos, 70 segundos, 75 segundos, 80 segundos, 85 segundos, 90 segundos, 95 segundos, 100 segundos, 105 segundos, 110 segundos, 115 segundos, 120 segundos o cualquier punto intermedio.

Envejecimiento

La lámina de aleación de aluminio se somete a un tratamiento térmico pre-envejecimiento. En algunos ejemplos, el pre-envejecimiento puede incluir calentar la lámina de aleación de aluminio a una temperatura de 80 °C a 120 °C (p. ej., 80 °C, 85 °C, 90 °C, 95 °C, 100 °C, 105 °C, 110 °C, 115 °C, 120 °C, o cualquier punto intermedio) y laminar la lámina de aleación de aluminio. La lámina de aleación de aluminio enrollada puede enfriarse (es decir, se realiza el enfriamiento de la bobina) durante un período de hasta 24 horas (p. ej., 1 hora, 2 horas, 6 horas, 12 horas, 18 horas, 24 horas, o cualquier punto intermedio).

- 65 La lámina de aleación de aluminio puede entonces envejecerse naturalmente y/o envejecerse artificialmente.

En algunos ejemplos, la lámina de aleación de aluminio puede envejecerse naturalmente durante un período de tiempo para dar como resultado un temple T4. Por ejemplo, la lámina de aleación de aluminio puede envejecerse naturalmente durante 1 semana o más, 2 semanas o más, 3 semanas o más, o 4 semanas o más.

- 5 En determinados aspectos, la lámina de aleación de aluminio en el temple T4 se puede envejecer artificialmente a una temperatura de 180 °C a 225 °C (p. ej., 185 °C, 190 °C, 195 °C, 200 °C, 205 °C, 210 °C, 215 °C, 220 °C o 225 °C) durante un período de tiempo para producir un temple T6. Por ejemplo, la lámina de aleación de aluminio se puede envejecer artificialmente durante un período de 15 minutos a 3 horas (p. ej., 15 minutos, 30 minutos, 60 minutos, 90 minutos, 105 minutos, 2 horas, 2.5 horas, 3 horas o cualquier punto intermedio) para
10 dar como resultado un temple T6.

Métodos de Uso

- 15 Las aleaciones, productos y métodos descritos en el presente documento se pueden usar en aplicaciones automotrices, electrónicas y de transporte, tales como aplicaciones de aviones, ferrocarriles o vehículos comerciales. Por ejemplo, las aleaciones pueden usarse para chasis, travesaños y componentes internos del chasis (que abarcan, pero no se limitan a, todos los componentes entre los dos canales C en un chasis de vehículo comercial) para ganar resistencia, sirviendo como un reemplazo completo o parcial de aceros de alta resistencia. En determinadas realizaciones, las aleaciones se pueden usar en temples F, T4, T6 o T8x. En
20 determinados aspectos, las aleaciones se usan con un refuerzo para proporcionar resistencia adicional. En determinados aspectos, las aleaciones son útiles en aplicaciones donde la temperatura de procesamiento y operación es de aproximadamente 150 °C o menos.

- 25 En determinados aspectos, las aleaciones y los métodos pueden usarse para preparar productos de piezas de carrocería de vehículos a motor. Por ejemplo, las aleaciones y métodos descritos pueden usarse para preparar piezas de carrocería de automóviles, tales como para choques, vigas laterales, vigas de techo, vigas transversales, refuerzos de pilares (p. ej., pilares A, pilares B y pilares C), paneles interiores, paneles laterales, paneles de suelo, túneles, paneles de estructura, paneles de refuerzo, capós interiores o paneles de tapa de maletero. Las aleaciones de aluminio y métodos descritos también pueden usarse en aplicaciones de vehículos
30 aéreos o ferroviarios para preparar, por ejemplo, paneles exteriores e interiores.

- Las aleaciones y métodos descritos pueden usarse para preparar carcasas para dispositivos electrónicos, que incluyen teléfonos móviles y tabletas. Por ejemplo, la aleación puede usarse para preparar carcasas para el revestimiento exterior de teléfonos móviles (p. ej., teléfonos inteligentes) y armazón inferior de tabletas, con o
35 sin anodización. Los productos electrónicos de consumo ilustrativos incluyen teléfonos móviles, dispositivos de audio, dispositivos de video, cámaras, ordenadores portátiles, ordenadores de escritorio, ordenadores tabletas, televisores, pantallas, electrodomésticos, dispositivos de reproducción y grabación de video, y similares. Las piezas de productos electrónicos de consumo ilustrativas incluyen carcasas exteriores (p. ej., frentes) y piezas interiores para los productos electrónicos de consumo.

- 40 Los siguientes ejemplos servirán para ilustrar adicionalmente la presente invención sin que, sin embargo, constituyan una limitación de la misma. Por el contrario, debe entenderse claramente que se puede recurrir a diversas realizaciones, modificaciones y equivalentes de las mismas que, después de leer la descripción del presente documento, les puedan sugerir a los expertos en la técnica sin apartarse del espíritu de la invención.
45 Durante los estudios descritos en los siguientes ejemplos, se siguieron procedimientos convencionales, a menos que se indique lo contrario. Algunos de los procedimientos se describen a continuación con fines ilustrativos.

Ejemplos

- 50 Ejemplo 1: Propiedades de las aleaciones de aluminio

- Se prepararon aleaciones para ensayos de resistencia y conformabilidad. Las composiciones para estas aleaciones se proporcionan en la Tabla 4 a continuación. En cada una de las composiciones de aleación en la
55 Tabla 4, el resto es Al. Las aleaciones D4, D5 y D6 son según la presente invención, las aleaciones D1, D2 y D3 no lo son.

Tabla 4

Aleación n.º	Si	Fe	Cu	Mg	Ti	Mn	Cr	Zr	V	Exceso de Si*
D1	1.20	0.18	0.80	0.70	0.02	0.13	0.07	-	-	0.73
D2	1.20	0.18	0.80	0.70	0.02	-	0.14	-	-	0.74
D3	1.20	0.18	0.80	0.70	0.02	-	0.07	0.11	-	0.75
D4	1.20	0.18	0.80	0.70	0.02	-	0.08	-	0.11	0.75
D5	1.20	0.18	0.80	0.70	0.02	-	-	0.09	0.10	0.77

D6	1.20	0.18	0.80	0.70	0.02	0.09	-	-	0.10	0.75
----	------	------	------	------	------	------	---	---	------	------

Valores elementales en % en peso * Valores de exceso de Si obtenidos según los métodos de cálculo descritos en el presente documento.

- 5 Las aleaciones se prepararon mediante DC colando los componentes en lingotes y homogeneizando los lingotes en una etapa de homogeneización de dos etapas como se describe en el presente documento. La primera etapa proporcionó la nucleación de una cantidad máxima de dispersoides finos (p. ej., dispersoides que tienen un diámetro de menos de aproximadamente 10 nm). La segunda etapa engrosó los dispersoides finos. Los lingotes homogeneizados luego se depositaron y laminaron en caliente según los métodos descritos en el presente documento a un calibre de 10 mm. La banda caliente se enrolló y enfrió y luego se laminó en frío a un calibre de 2 mm. Luego se realizó una etapa de tratamiento térmico con solución a 560 °C durante 35 segundos. Se realizó una etapa de pre-envejecimiento calentando la lámina a 100°C y sumergiéndola durante 1 hora (p. ej., para simular el enfriamiento de la bobina como se describió anteriormente), seguido de envejecimiento natural para lograr el temple T4. El temple de T6 se logró después envejeciendo las aleaciones de T4 a 200 °C durante 30 minutos.

Se determinaron las propiedades de las aleaciones D1 - D6 en temple T4, incluyendo el límite elástico, el alargamiento uniforme y el ángulo de flexión. El ensayo de tracción se realizó según la norma ASTM B557 en tres direcciones con respecto a la dirección de laminado de las láminas de aleación para evaluar las propiedades anisotrópicas que pueden ocurrir durante la recristalización. El límite elástico (denominado "YS" e indicado por histogramas) y el alargamiento uniforme (denominado "UE" e indicado por puntos) se muestran en la Figura 1 para una dirección longitudinal a lo largo de la dirección de laminado (denominada "L" e indicada por franjas verticales), una dirección transversal de 90° respecto a la dirección de laminado (denominada "T" e indicada por franjas horizontales) y una dirección diagonal de 45° respecto a la dirección de laminado (denominada "D" e indicada por entramado). Como es evidente en el gráfico basado en el límite elástico y el alargamiento uniforme, las aleaciones presentaron comportamiento isotrópico en las tres direcciones sometidas a ensayo de tracción incluso con estructuras alargadas de grano recristalizado como se observa en la Figura 2. Los valores de alargamiento uniforme variaban de 24% a 26% y los límites elásticos fueron de 185 MPa a 195 MPa.

La Figura 3 muestra los límites elásticos y los alargamientos uniformes para las aleaciones D1 - D6 en los temples T4 y T6. Para las aleaciones D1 - D6 en temple T4, la composición tuvo un efecto insignificante sobre el límite elástico y el alargamiento uniforme. Para las aleaciones D1 - D6 en temple T6, la composición tuvo un efecto insignificante sobre el alargamiento uniforme y una disminución en el límite elástico de aproximadamente 10 MPa para aleaciones que incluyen V en la composición. La disminución en el límite elástico se puede atribuir a la pérdida de soluto (p. ej., Si, Mg y/o Cu) durante el tratamiento con solución por nucleación heterogénea de precipitados de soluto en dispersoides que contienen V.

La Figura 4 es un gráfico que muestra los resultados del ensayo de ángulo de flexión para las aleaciones D1 - D6 en un temple T4. La adición de Cr y V produjo un gran número de dispersoides finos que mejoran la flexión por difusión de la distribución de tensión durante la deformación (p. ej., mediante flexión, conformado, estampado o mediante cualquier procedimiento de deformación adecuado). En algunos casos, se combinó Mn con Fe y Si para formar y esferoidizar los constituyente de Fe, en lugar de formar dispersoides, debido a la alta difusividad de Mn en comparación con Zr, Cr y/o V. La esferoidización de los constituyentes de Fe mejoró la flexión eliminando partículas alargadas (es decir, como agujas) que pueden iniciar el agrietamiento durante la deformación. Además, las aleaciones que contienen V (p. ej., aleaciones D4 - D6) presentaron una flexión mejorada en comparación con las variantes sin V debido a la esferoidización del constituyente de Fe. La Figura 5 compara el límite elástico (YS) y el ángulo de flexión (VDA) para las aleaciones D1 - D6 en temples T4 y T6.

50 Ejemplo 2: Microestructura de aleación de aluminio

La Figura 6 muestra componentes de textura de recristalización para aleaciones D1 - D6, incluyendo cubo, Goss, latón, S, Cu y cubo rotado (denominado "RC"). Cada aleación D1 - D6 presentó una distribución similar de componentes de textura, y la composición tuvo un efecto insignificante en la textura de recristalización. Sorprendentemente, cada aleación presentó una cantidad relativamente alta de textura de cubo rotado, lo que dio como resultado ángulos de flexión significativamente mejorados que se muestran en la Figura 4 y la Figura 5.

La Figura 7 muestra imágenes de microscopía electrónica de transmisión (TEM) de aleaciones D1 - D6 en temple T4. En las imágenes TEM se evidencia la formación de dispersoides (que se muestran como partículas blancas brillantes) en cada aleación. La aleación D4 (que incluye Cr y V) presentó una mayor cantidad de dispersoides debido a las difusividades relativamente bajas de Cr y V. Asimismo, las aleaciones D5 y D6 presentaron un menor número de dispersoides debido a las difusividades relativamente más altas de Mn y Zr. En consecuencia, la aleación D6 presentó una menor cantidad de dispersoides atribuida a una afinidad del Mn para incorporarse en los constituyentes de Fe y no solo para formar dispersoides de Mn. La Figura 8 muestra

la densidad del número de dispersoides (histogramas) y fracción de área (círculos blancos) para las aleaciones D1 - D6 en temple T4. Las aleaciones que no contienen V (aleaciones D1 - D3) presentaron una densidad numérica de dispersoides similar. La aleación D2 (que incorpora solo Cr como elemento de aleación de metal de transición) presentó una fracción de área de dispersoides más alta en comparación con las aleaciones D1 y D3 (que incorporan Mn y Cr (D1) y Zr y Cr (D3)). La aleación D4 (que incorpora Cr y V) presentó la densidad numérica de dispersoides más alta y la fracción de área de dispersoides más alta.

La Figura 9 muestra imágenes de microscopía electrónica de barrido (SEM) de las aleaciones D1 - D6 en un temple T4. En las imágenes SEM se evidencia la formación de constituyentes de Fe (mostrados como partículas alargadas de color blanco brillante). Cada una de las aleaciones D1 - D6 presentó cantidades similares de formación de constituyentes de Fe, y una distribución de tamaño de partículas de constituyentes de Fe similar como se muestra en la Figura 10. Como se describió anteriormente, el empleo de elementos de aleación de metales de transición redujo la formación de constituyentes de Fe (p. ej., AlFeSi) al reemplazar una porción del Fe, formando así constituyentes esféricos de Al(Fe,X)Si. Cada aleación continuó presentando AlFeSi (partículas alargadas) debido a la presencia de exceso de Si y al procesamiento a una temperatura de homogeneización baja (p. ej., aproximadamente 500 °C), con una distribución de tamaños y tamaño reducidos en aleaciones que no emplean los elementos de aleación de metales de transición. En algunos aspectos, los constituyentes AlFeSi en aleaciones que no contienen los elementos de aleación de metal de transición presentaron un tamaño mayor que los constituyentes AlFeSi observados en las aleaciones que contienen los elementos de aleación de metal de transición. El tamaño y la distribución de tamaños de constituyentes de Fe se evaluaron a una profundidad de aproximadamente 0.5 mm desde una superficie de la lámina de aleación de aluminio (a la que se hace referencia como espesor a un cuarto, indicado con "QT" en el gráfico).

La Figura 11 muestra la microscopía óptica (denominada "OM") y las imágenes SEM de la aleación D1. La aleación D1 se sometió a una homogeneización en una sola etapa después de colada, que incluyó una rampa térmica de 50 °C por hora a 560 °C, se remojó durante 2 horas y posteriormente se laminó en caliente, se laminó en frío, se trató con solución, se pre-envejeció y se envejeció naturalmente como se describió anteriormente. En las imágenes de OM se evidencia la fusión incipiente y/o eutéctica de Mg₂Si en la aleación D1 (mostrada como áreas oscuras). Las imágenes SEM muestran que las áreas oscuras son huecos que se formaron en la aleación durante la homogeneización. La espectroscopía de rayos X de energía dispersiva (EDXS) mostró constituyentes de Fe presentes en los huecos (mostrados como partículas brillantes). Emplear la homogeneización en dos etapas de ejemplo como se describe en el presente documento puede eliminar la fusión incipiente y/o eutéctica cuando se incorporan elementos de aleación de metales de transición en las composiciones de aleación de aluminio.

Se han descrito varias realizaciones de la invención en cumplimiento con los diversos objetivos de la invención. Debe reconocerse que estas realizaciones son meramente ilustrativas de los principios de la presente invención. La invención se define por las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Una aleación de aluminio que comprende 0.8 - 1.5% en peso de Si, 0.1 - 0.5% en peso de Fe, 0.5 - 1.0% en peso de Cu, 0.5 - 0.9% en peso de Mg, hasta 0.1% en peso de Ti, hasta 0.5% en peso de Mn, hasta 0.5% en peso de Cr, hasta 0.5% en peso de Zr, 0.06 - 0.5% en peso de V, hasta 0.15% en peso de impurezas, y Al.
2. La aleación de aluminio de la reivindicación 1, que comprende 0.9 - 1.4% en peso de Si, 0.1 - 0.35% en peso de Fe, 0.6 - 0.9% en peso de Cu, 0.6 - 0.9% en peso de Mg, 0.01 - 0.09% en peso de Ti, hasta 0.3% en peso de Mn, hasta 0.3% en peso de Cr, hasta 0.3% en peso de Zr, 0.06 - 0.3% en peso de V, hasta 0.15% en peso de impurezas, y Al.
3. La aleación de aluminio de la reivindicación 1, que comprende 1.0 - 1.3% en peso de Si, 0.1 - 0.25% en peso de Fe, 0.7 - 0.9% en peso de Cu, 0.6 - 0.8% en peso de Mg, 0.01 - 0.05% en peso de Ti, hasta 0.2% en peso de Mn, hasta 0.2% en peso de Cr, hasta 0.2% en peso de Zr, 0.06 - 0.2% en peso de V, hasta 0.15% en peso de impurezas, y Al.
4. La aleación de aluminio de cualquiera de las reivindicaciones 1-3, en donde un contenido combinado de Mn, Cr, Zr y/o V es al menos 0.14% en peso y preferiblemente, en donde el contenido combinado de Mn, Cr, Zr y/o V es de 0.14% en peso a 0.4% en peso y más preferiblemente en donde el contenido combinado de Mn, Cr, Zr y/o V es de 0.15% en peso a 0.25% en peso.
5. La aleación de aluminio de cualquiera de las reivindicaciones 1, en donde la aleación de aluminio comprende 0.06 - 0.3% en peso de V.
6. La aleación de aluminio de cualquiera de las reivindicaciones 1-5, en donde la aleación de aluminio comprende exceso de Si y en donde un contenido de Si en exceso es de 0.01 a 1.0.
7. Un producto de aleación de aluminio que comprende la aleación de aluminio según cualquiera de las reivindicaciones 1-6.
8. El producto de aleación de aluminio de la reivindicación 7, en donde el producto de aleación de aluminio comprende una textura cristalográfica de cubo rotado en un porcentaje en volumen de al menos 5%.
9. El producto de aleación de aluminio de la reivindicación 7, en donde el producto de aleación de aluminio comprende dispersoides en una cantidad de al menos 1 500 000 dispersoides por mm².
10. El producto de aleación de aluminio de la reivindicación 9, en donde los dispersoides ocupan un área que varía de 0.5% a 5% del producto de aleación de aluminio.
11. El producto de aleación de aluminio de cualquiera de las reivindicaciones 7-10, en donde el producto de aleación de aluminio comprende constituyente de Fe y en particular, en donde los constituyentes de Fe comprenden partículas de fase Al(Fe,X)Si.
12. El producto de aleación de aluminio de la reivindicación 11, en donde un tamaño medio de partículas de los constituyentes de Fe es de hasta 4 µm.
13. El producto de aleación de aluminio según cualquiera de las reivindicaciones 7-12, en donde el producto de aleación de aluminio comprende un límite elástico de al menos 300 MPa cuando está en un temple T6 y en particular, en donde el producto de aleación de aluminio comprende un alargamiento uniforme de al menos 20% y un ángulo de flexión mínimo de al menos 120° cuando está en un temple T4.
14. Un método para producir un producto de aleación de aluminio, que comprende: colar una aleación de aluminio según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6 para formar un artículo colado; homogeneizar el artículo colado en un procedimiento de homogeneización en dos etapas, en donde el procedimiento de homogeneización en dos etapas comprende calentar el artículo colado a una temperatura de homogeneización de la primera etapa y mantener el artículo colado a la temperatura de homogeneización de la primera etapa durante un período de tiempo y calentar más el artículo colado a una temperatura de homogeneización de la segunda etapa y mantener el artículo colado a la temperatura de homogeneización de la segunda etapa

la segunda etapa durante un período de tiempo;

laminar en caliente y laminar en frío para proporcionar un producto de aleación de aluminio de calibre final; y

5 tratar térmicamente con solución el producto de aleación de aluminio de calibre final; y

pre-envejecer el producto de aleación de aluminio de calibre final.

10 15. El método de la reivindicación 14, en donde la temperatura de homogeneización de la primera etapa es de 470 °C a 530 °C y la temperatura de homogeneización de la segunda etapa es de 525 °C a 575 °C, y en donde la temperatura de homogeneización de la segunda etapa es más alta que la temperatura de homogeneización de la primera etapa.

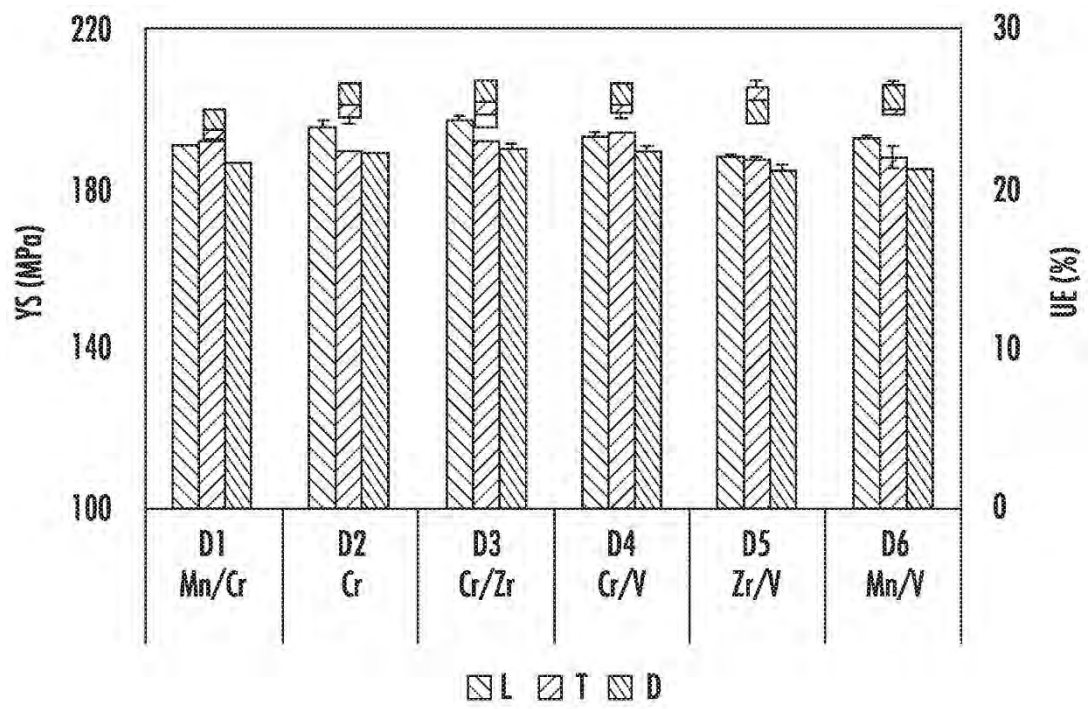


FIGURA 1

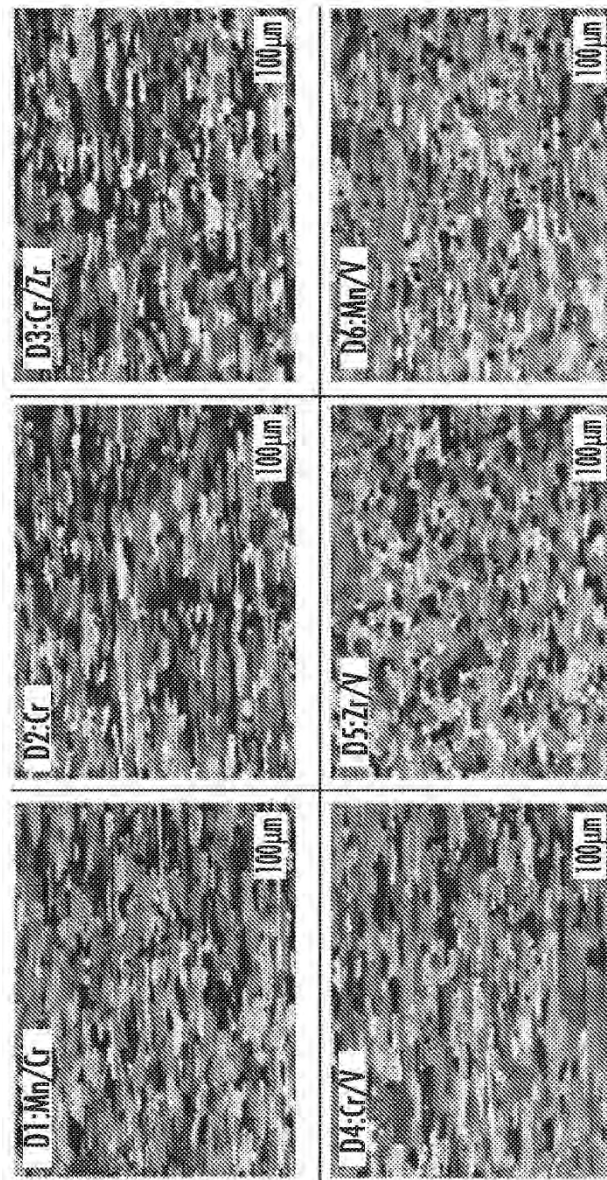


FIGURA 2

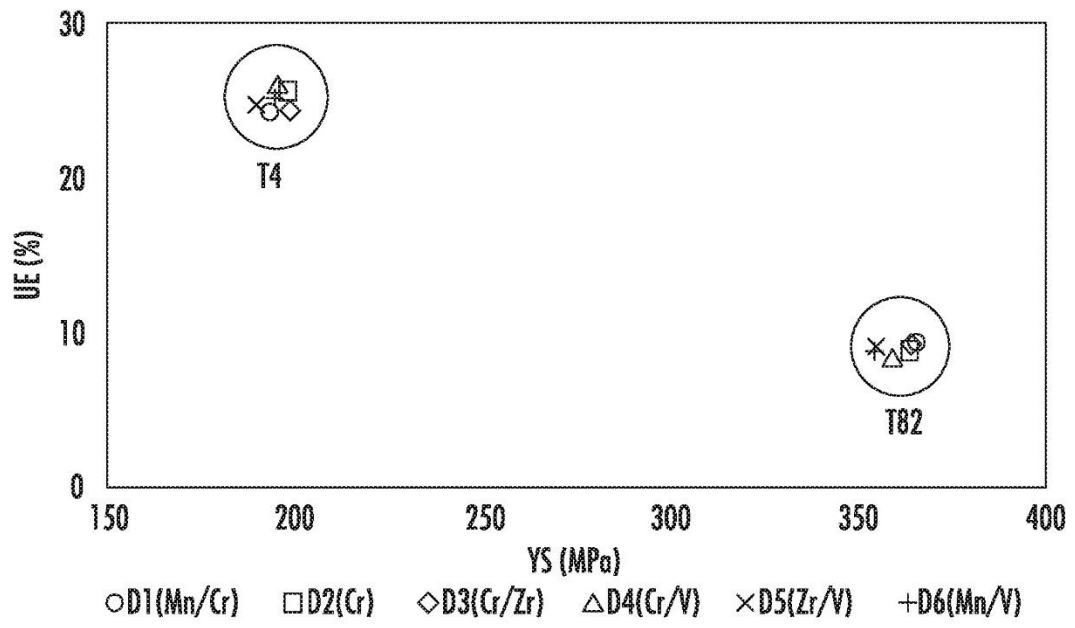


FIGURA 3

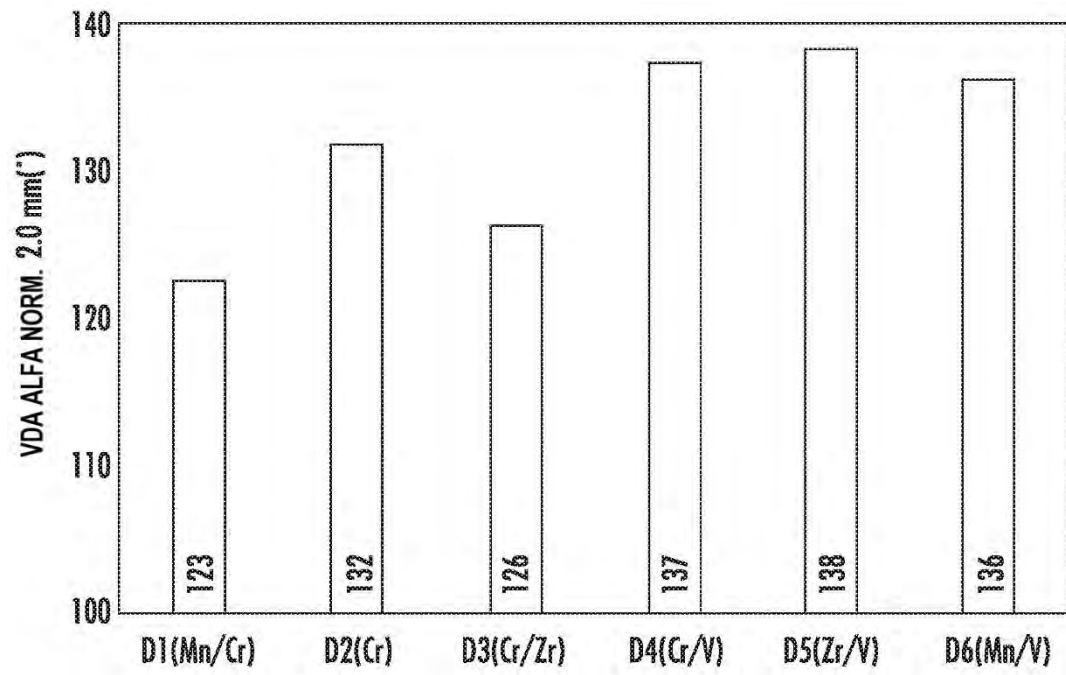


FIGURA 4

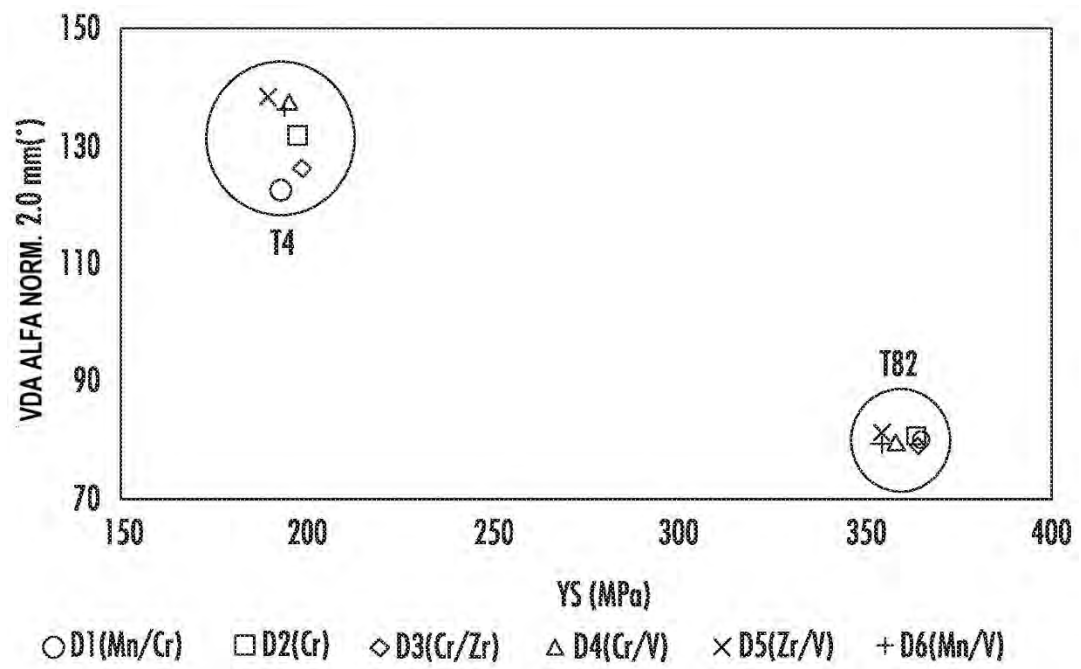


FIGURA 5

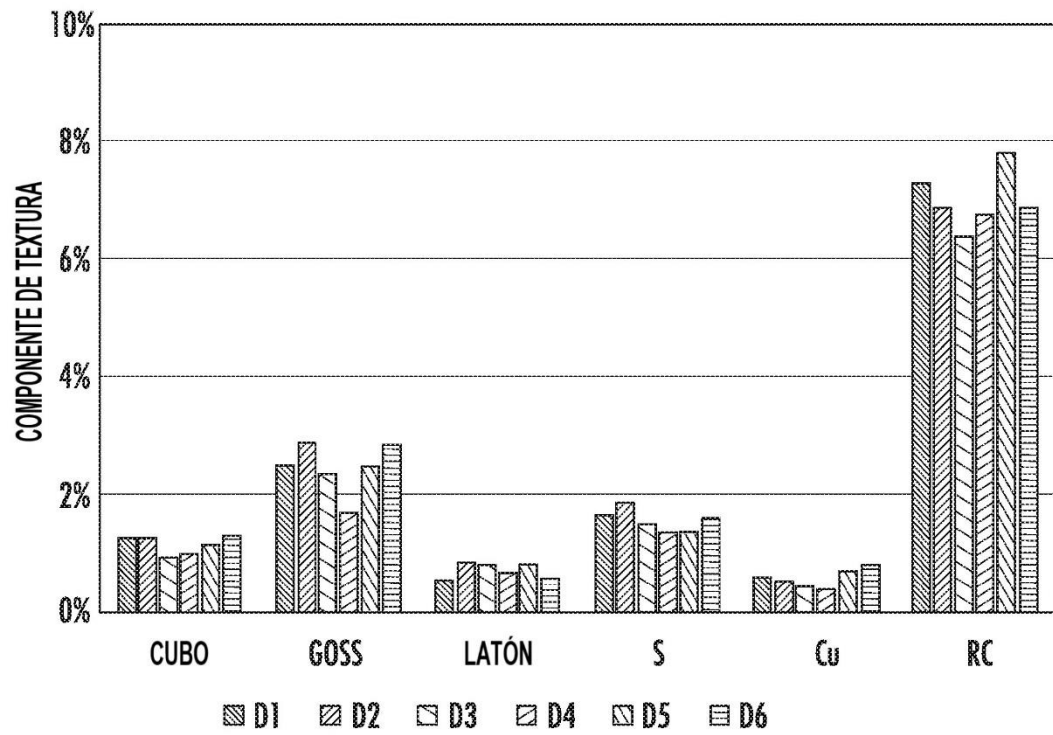


FIGURA 6

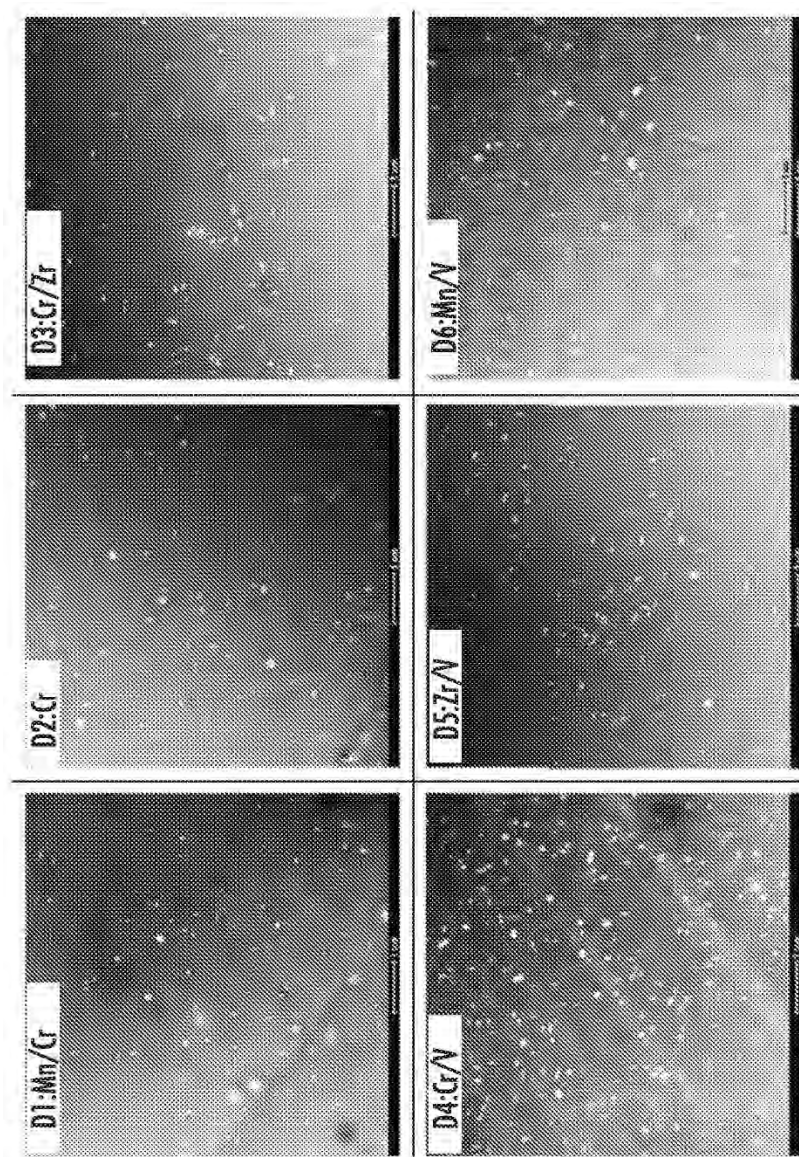


FIGURA 7

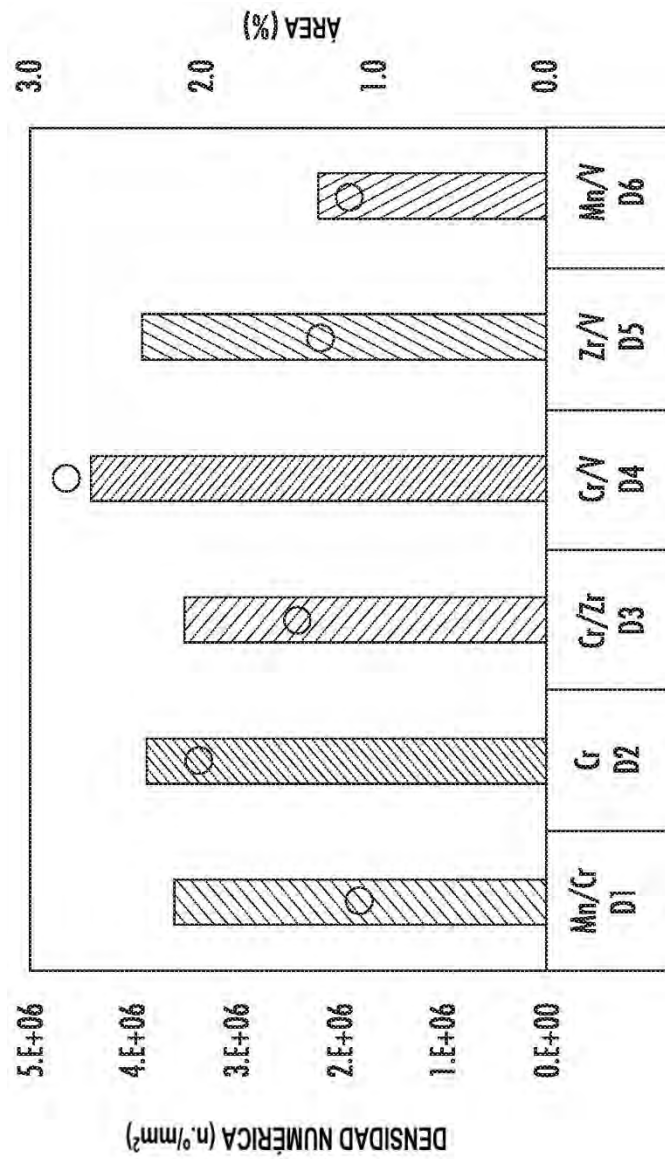


FIGURA 8

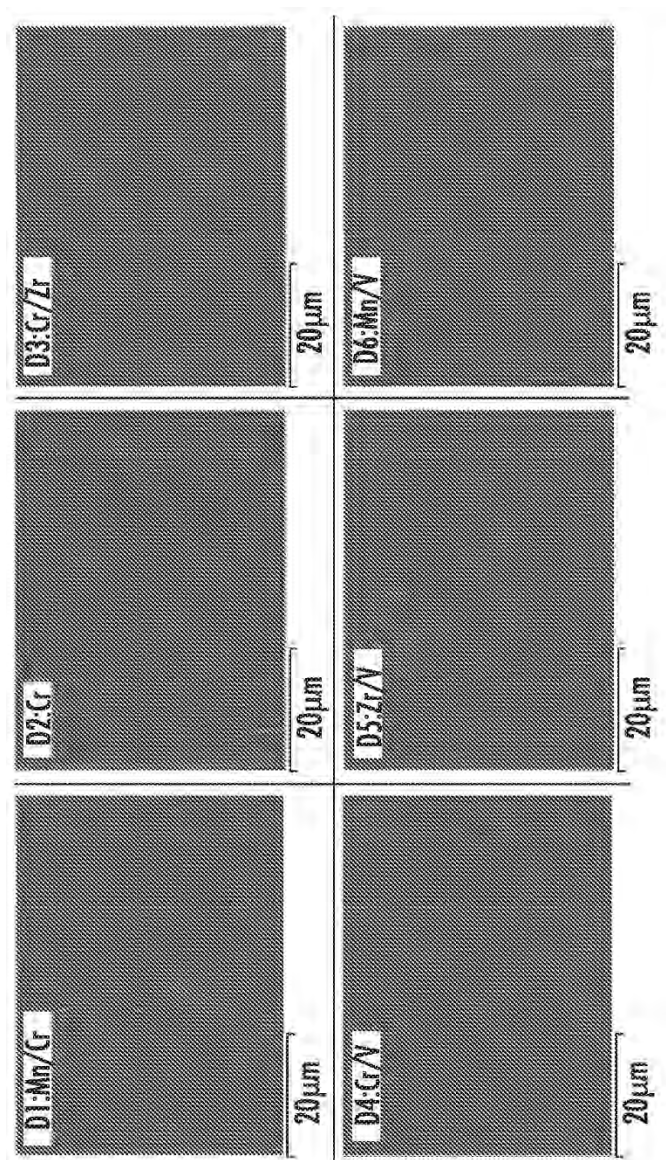


FIGURA 9

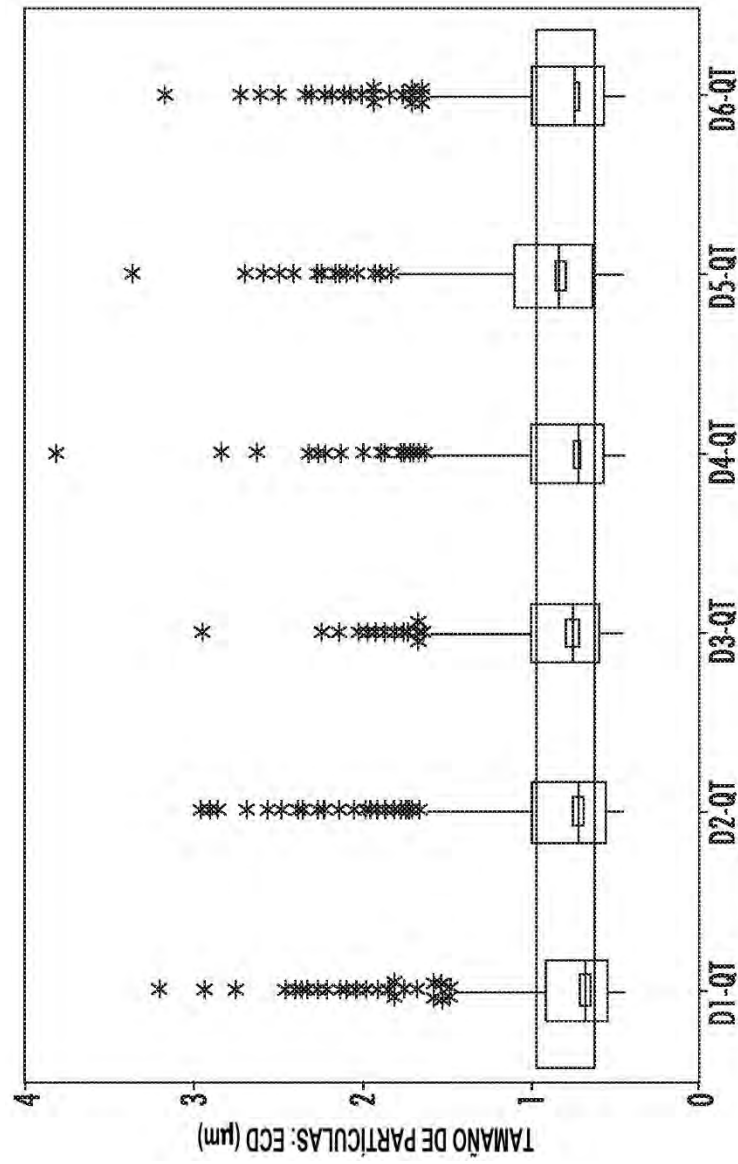


FIGURA 10

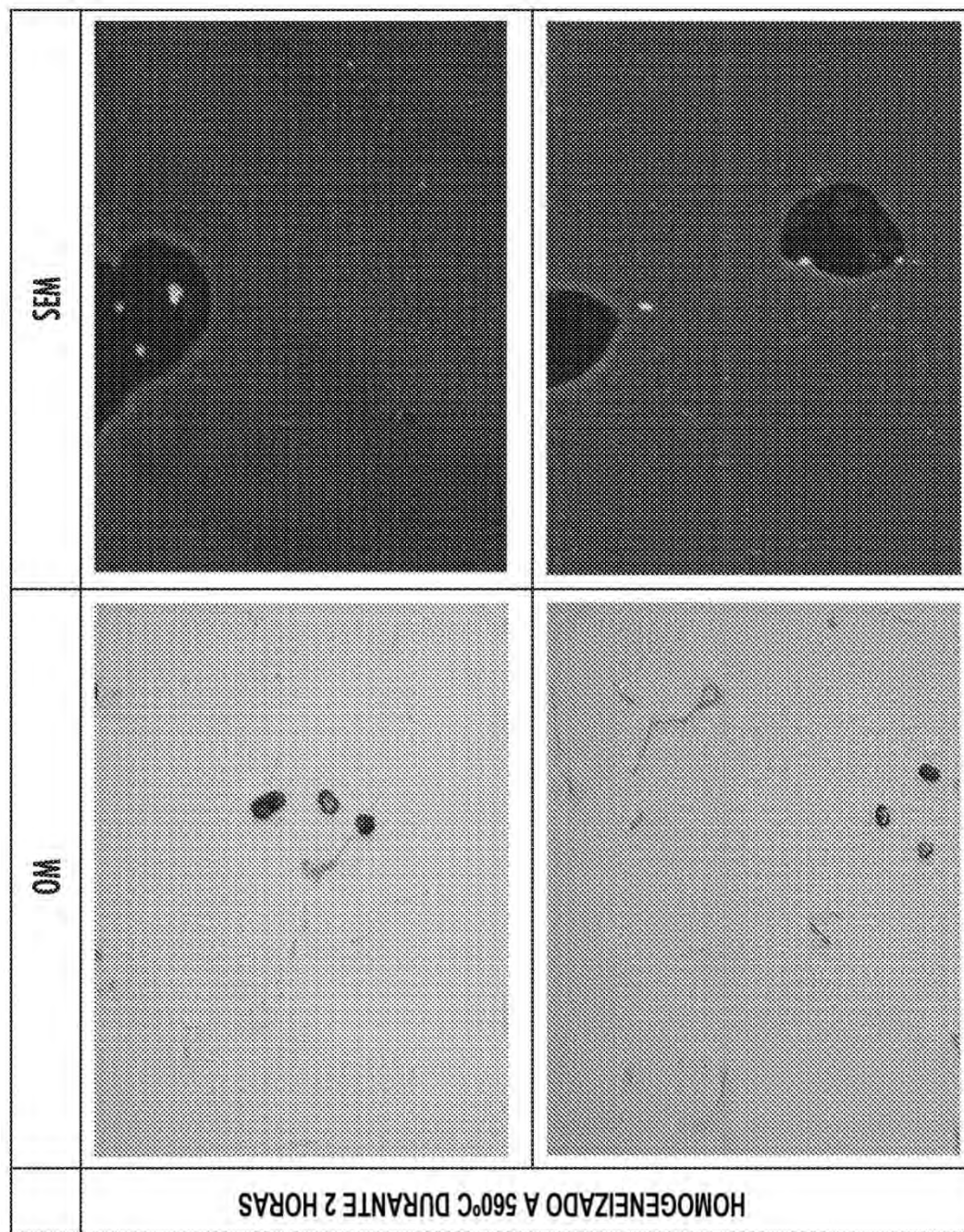


FIGURA 11