

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 933 801**

51 Int. Cl.:

C22C 21/08 (2006.01)

C22F 1/05 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **10.07.2017** **PCT/US2017/041313**

87 Fecha y número de publicación internacional: **17.01.2019** **WO19013744**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.07.2017** **E 17739842 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.11.2022** **EP 3652356**

54 Título: **Aleación de aluminio resistente a la corrosión de alta resistencia mecánica y método para su fabricación**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
14.02.2023

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

DAS, SAZOL KUMAR;
AHMED, HANY y
WEN, WEI

74 Agente/Representante:

FERNÁNDEZ POU, Felipe

ES 2 933 801 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

Aleación de aluminio resistente a la corrosión de alta resistencia mecánica y método para su fabricación

5 Campo

La presente divulgación se refiere a aleaciones de aluminio y métodos para fabricarlas y procesarlas. La presente divulgación se refiere adicionalmente a aleaciones de aluminio que presentan alta resistencia mecánica, conformabilidad y resistencia a la corrosión.

10

Antecedentes

Las aleaciones de aluminio reciclables con alta resistencia mecánica son deseables para mejorar el rendimiento del producto en muchas aplicaciones, incluidas las aplicaciones de transporte (que abarcan, sin limitación, p. ej., camiones, remolques, trenes y barcos), aplicaciones electrónicas y aplicaciones de automóviles. Por ejemplo, una aleación de aluminio de alta resistencia mecánica en camiones o remolques sería más liviana que las aleaciones de acero convencionales, lo que proporcionaría reducciones de emisiones significativas que son necesarias para cumplir con las nuevas regulaciones gubernamentales más estrictas sobre emisiones. Tales aleaciones deben presentar alta resistencia mecánica, alta conformabilidad y resistencia a la corrosión. Adicionalmente, es deseable que tales aleaciones se formen a partir de contenido reciclado.

20

Sin embargo, la identificación de las condiciones de procesamiento y las composiciones de aleación que proporcionarán tal aleación, en particular con contenido reciclado, han demostrado ser un desafío. La formación de aleaciones a partir de contenido reciclado puede conducir a un mayor contenido de zinc (Zn) y cobre (Cu). Las aleaciones con mayor contenido de Zn tradicionalmente carecen de resistencia mecánica, y las aleaciones que contienen Cu son susceptibles a la corrosión. El documento US2015316210 A1 divulga un material de aleación de aluminio para aplicaciones a alta presión.

25

30 Compendio

Las realizaciones cubiertas de la invención se definen mediante las reivindicaciones, 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 posteriormente en la sección Descripción Detallada más adelante. Este compendio no pretende identificar las características claves o esenciales de la materia reivindicada, ni pretende usarse de forma aislada para determinar el alcance de la materia reivindicada. El objeto debe entenderse en referencia a las partes apropiadas de la memoria descriptiva completa, cualquiera de los dibujos y cada reivindicación.

35

En el presente documento se describen aleaciones de aluminio que comprenden 0,25-1,3 % en peso de Si, 1,0-2,5 % en peso de Mg, 0,5-1,5 % en peso de Cu, hasta 0,2 % en peso de Fe, hasta 3,0 % en peso de Zn, hasta 0,15 % en peso de Zr, hasta 0,5 % en peso de Mn, hasta 0,15 % en peso de impurezas, siendo el resto Al, en donde la razón de Mg a Si es de 1,5 a 1 con respecto a 3,5 a 1. En algunos casos, las aleaciones de aluminio pueden comprender 0,55-1,1 % en peso de Si, 1,25-2,25 % en peso de Mg, 0,6-1,0 % en peso de Cu, 0,05-0,17 % en peso de Fe, 1,5-3,0 % en peso de Zn, hasta 0,15 % en peso de impurezas, siendo el resto Al. En algunos casos, las aleaciones de aluminio pueden comprender 0,65-1,0 % en peso de Si, 1,5-2,25 % en peso de Mg, 0,6-1,0 % en peso de Cu, 0,12-0,17 % en peso de Fe, 2,0-3,0 % en peso de Zn, hasta 0,15 % en peso de impurezas, siendo el resto Al.

40

45

La razón de Mg a Si (es decir, la razón Mg/Si) es de 1,5 a 1 a 3,5 a 1. Por ejemplo, la razón Mg/Si puede ser de 2,0 a 1 a 3,0 a 1. Opcionalmente, la razón de Zn con respecto a la razón Mg/Si (es decir, la razón Zn/(Mg/Si)) es de 0,75 a 1 a 1,4 a 1. Por ejemplo, la razón Zn/(Mg/Si) puede ser de 0,8 a 1 a 1,1 a 1. Opcionalmente, la razón de Cu con respecto a la razón Zn/(Mg/Si) (es decir, la razón Cu/[Zn/(Mg/Si)]) es de 0,7 a 1 a 1,4 a 1. Por ejemplo, la razón Cu/[Zn/(Mg/Si)] es de 0,8 a 1 a 1,1 a 1.

50

55

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. El producto de aleación de aluminio puede tener un límite elástico de al menos aproximadamente 340 MPa (p. ej., de 360 MPa a 380 MPa) en el temple T6. Los productos de aleación de aluminio descritos en el presente documento son resistentes a la corrosión y pueden tener una profundidad de picadura de corrosión intergranular promedio de menos de 100 µm en el temple T6. Los productos de aleación de aluminio también muestran una excelente plegabilidad y pueden tener una razón r/t (plegabilidad) de 0,5 o menos en el temple T4.

60

Opcionalmente, el producto de aleación de aluminio comprende uno o más precipitados seleccionados del grupo que consiste en MgZn₂/Mg(Zn,Cu)₂, Mg₂Si, y Al₄Mg₈Si₇Cu₂. El producto de aleación de aluminio puede comprender MgZn₂/Mg(Zn,Cu)₂ en una cantidad promedio de al menos 300.000.000 de partículas por mm²,

65

Mg₂Si en una cantidad promedio de al menos 600.000.000 de partículas por mm², y/o Al₄Mg₈Si₇Cu₂ en una cantidad promedio de al menos 600.000.000 de partículas por mm². En algunos ejemplos, el producto de aleación de aluminio comprende MgZn₂/Mg(Zn,Cu)₂, Mg₂Si, y Al₄Mg₈Si₇Cu₂. Una razón de Mg₂Si con respecto a Al₄Mg₈Si₇Cu₂ puede ser de 1:1 a 1,5:1, una razón de Mg₂Si con respecto a MgZn₂/Mg(Zn,Cu)₂ puede ser de 1,5:1 a 3:1, y una razón de Al₄Mg₈Si₇Cu₂ con respecto a MgZn₂/Mg(Zn,Cu)₂ puede ser de 1,5:1 a 3:1.

Adicionalmente se describe en el presente documento un método para producir una aleación de aluminio. El método comprende colar una aleación de aluminio como se describe en el presente documento para formar un producto de colada de aleación de aluminio, homogeneizar el producto de colada de aleación de aluminio, laminar en caliente el producto de colada de aleación de aluminio homogeneizado para proporcionar una aleación de aluminio de calibre final y realizar un tratamiento térmico de disolución de aleación de aluminio de calibre final. El método puede comprender adicionalmente el envejecimiento previo de la aleación de aluminio de calibre final. Opcionalmente, la aleación de aluminio se cuela a partir de una aleación de aluminio fundido que comprende chatarra de metal, tal como chatarra de metal que contiene una aleación de aluminio de la serie 6xxx, una aleación de aluminio de la serie 7xxx, o una combinación de estas.

Breve descripción de las figuras

La Figura 1 es un gráfico que muestra un aumento en los precipitados de magnesio-zinc con un mayor contenido de magnesio en aleaciones de aluminio preparadas de acuerdo con ciertos aspectos de la presente divulgación.

La Figura 2 es un gráfico de calorimetría de barrido diferencial de una aleación de aluminio de acuerdo con ciertos aspectos de la presente divulgación.

La Figura 3 es un gráfico de calorimetría de barrido diferencial de una aleación de aluminio de acuerdo con ciertos aspectos de la presente divulgación.

La Figura 4A es una micrografía de microscopio electrónico de transmisión que muestra tipos de precipitados en una aleación de aluminio de acuerdo con ciertos aspectos de la presente divulgación.

La Figura 4B es una micrografía de microscopio electrónico de transmisión que muestra tipos de precipitados en una aleación de aluminio de acuerdo con ciertos aspectos de la presente divulgación.

La Figura 5 es un gráfico que muestra la composición de precipitado de una aleación de aluminio de acuerdo con ciertos aspectos de la presente divulgación.

La Figura 6 es una serie de micrografías ópticas que muestran la formación de precipitados después de varias etapas de procesamiento de una aleación de aluminio de acuerdo con ciertos aspectos de la presente divulgación.

La Figura 7 es una serie de micrografías ópticas que muestran la formación de precipitados después de varias etapas de procesamiento de una aleación de aluminio de acuerdo con ciertos aspectos de la presente divulgación.

La Figura 8 es una serie de micrografías ópticas que muestran la formación de precipitados después de varias etapas de procesamiento de una aleación de aluminio de acuerdo con ciertos aspectos de la presente divulgación.

La Figura 9 es una serie de micrografías ópticas que muestran la población de partículas y la estructura de grano de una aleación de aluminio de acuerdo con ciertos aspectos de la presente divulgación.

La Figura 10 es una serie de micrografías ópticas que muestran la población de partículas y la estructura de grano de una aleación de aluminio de acuerdo con ciertos aspectos de la presente divulgación.

La Figura 11 es un gráfico que muestra las conductividades eléctricas de una aleación de aluminio de acuerdo con ciertos aspectos de la presente divulgación.

La Figura 12 es un gráfico que muestra las conductividades eléctricas de una aleación de aluminio de acuerdo con ciertos aspectos de la presente divulgación.

La Figura 13 es un gráfico que muestra el límite elástico (histograma izquierdo en cada conjunto), la resistencia a la tracción máxima (histograma derecho en cada conjunto), el alargamiento uniforme (círculo vacío) y el alargamiento total (rombo vacío) de aleaciones de aluminio de acuerdo con ciertos aspectos de presente divulgación.

La Figura 14A es un gráfico que muestra el límite elástico (histograma izquierdo en cada conjunto), la resistencia a la tracción máxima (histograma derecho en cada conjunto), el alargamiento uniforme (círculo vacío) y el alargamiento total (rombo vacío) de aleaciones de aluminio de acuerdo con ciertos aspectos del presente divulgación.

5

La Figura 14B es un gráfico que muestra el límite elástico (histograma izquierdo en cada conjunto), la resistencia a la tracción máxima (histograma derecho en cada conjunto), alargamiento uniforme (círculo vacío) y alargamiento total (rombo vacío) de aleaciones de aluminio de acuerdo con ciertos aspectos del presente divulgación.

10

La Figura 15 es un gráfico que muestra el límite elástico (histograma izquierdo en cada conjunto), la resistencia a la tracción máxima (histograma derecho en cada conjunto), el alargamiento uniforme (círculo vacío) y el alargamiento total (rombo vacío) de aleaciones de aluminio de acuerdo con ciertos aspectos de presente divulgación.

15

La Figura 16A es un gráfico que muestra el límite elástico (histograma izquierdo en cada conjunto), la resistencia a la tracción máxima (histograma derecho en cada conjunto), el alargamiento uniforme (círculo vacío) y el alargamiento total (rombo vacío) de aleaciones de aluminio de acuerdo con ciertos aspectos del presente divulgación.

20

La Figura 16B es un gráfico que muestra el límite elástico (histograma izquierdo en cada conjunto), la resistencia a la tracción máxima (histograma derecho en cada conjunto), el alargamiento uniforme (círculo vacío) y el alargamiento total (rombo vacío) de aleaciones de aluminio de acuerdo con ciertos aspectos del presente divulgación.

25

La Figura 17A es un gráfico que muestra el límite elástico (histograma izquierdo en cada conjunto), la resistencia a la tracción máxima (histograma derecho en cada conjunto), el alargamiento uniforme (círculo vacío) y el alargamiento total (rombo vacío) de aleaciones de aluminio de acuerdo con ciertos aspectos del presente divulgación.

30

La Figura 17B es un gráfico que muestra el límite elástico (histograma izquierdo en cada conjunto), la resistencia a la tracción máxima (histograma derecho en cada conjunto), el alargamiento uniforme (círculo vacío) y el alargamiento total (rombo vacío) de aleaciones de aluminio de acuerdo con ciertos aspectos del presente divulgación.

35

La Figura 18A es un gráfico que muestra el límite elástico (histograma izquierdo en cada conjunto), la resistencia a la tracción máxima (histograma derecho en cada conjunto), el alargamiento uniforme (círculo vacío) y el alargamiento total (rombo vacío) de aleaciones de aluminio de acuerdo con ciertos aspectos del presente divulgación.

40

La Figura 18B es un gráfico que muestra el límite elástico (histograma izquierdo en cada conjunto), la resistencia a la tracción máxima (histograma derecho en cada conjunto), el alargamiento uniforme (círculo vacío) y el alargamiento total (rombo vacío) de aleaciones de aluminio de acuerdo con ciertos aspectos del presente divulgación.

45

La Figura 19 es un gráfico que muestra datos de desplazamiento de carga de una prueba de plegamiento de 90° de aleaciones de aluminio de acuerdo con ciertos aspectos de la presente divulgación.

La Figura 20 es un gráfico que muestra datos de desplazamiento de carga de una prueba de plegamiento de 90° de aleaciones de aluminio de acuerdo con ciertos aspectos de la presente divulgación.

50

La Figura 21 es un gráfico que muestra datos de desplazamiento de carga de una prueba de plegamiento de 90° de una aleación de aluminio de acuerdo con ciertos aspectos de la presente divulgación.

La Figura 22 es una serie de micrografías ópticas que muestran el ataque de corrosión en aleaciones de aluminio de acuerdo con ciertos aspectos de la presente divulgación.

55

La Figura 23 es una serie de micrografías ópticas que muestran el ataque de corrosión en aleaciones de aluminio de acuerdo con ciertos aspectos de la presente divulgación.

60

La Figura 24A es una micrografía óptica de una aleación de aluminio de acuerdo con ciertos aspectos de la presente divulgación.

La Figura 24B es una micrografía óptica de una aleación de aluminio de acuerdo con ciertos aspectos de la presente divulgación.

65

La Figura 24C es una micrografía óptica de una aleación de aluminio de acuerdo con ciertos aspectos de la presente divulgación.

Descripción detallada

- 5 En el presente documento se describen aleaciones de aluminio de alta resistencia mecánica y métodos de fabricación y procesamiento de tales aleaciones. Las aleaciones de aluminio descritas en el presente documento exhiben propiedades de resistencia mecánica, deformabilidad y resistencia a la corrosión mejoradas. Además, las aleaciones de aluminio pueden prepararse a partir de materiales reciclados. Los
- 10 productos de aleación de aluminio preparados a partir de las aleaciones descritas en el presente documento incluyen precipitados para mejorar la resistencia, tales como $MgZn_2/Mg(Zn,Cu)_2$, Mg_2Si , y $Al_4Mg_8Si_7Cu_2$.

Definiciones y Descripciones:

- 15 Los términos "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 que figuran más adelante.

- 20 En esta descripción, se hace referencia a las aleaciones que se identifican mediante las designaciones de la industria del aluminio, tales como "serie" o "6xxx". Para comprender el sistema de designación numérica más comúnmente utilizado para la denominación e identificación del aluminio y sus aleaciones, véanse "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", ambas publicados por The
- 25 Aluminum Association.

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

- 30 Como se emplea en el presente documento, una chapa generalmente tiene un grosor superior a aproximadamente 6 mm. Por ejemplo, una chapa puede referirse a un producto de aluminio que tiene un grosor superior a 6 mm, superior a 10 mm, 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.

- 35 Como se emplea en el presente documento, el término "planchón" indica un espesor de aleación en un intervalo de aproximadamente 5 mm a aproximadamente 50 mm. Por ejemplo, un planchón puede tener un espesor de 5 mm, 10 mm, 15 mm, 20 mm, 25 mm, 30 mm, 35 mm, 40 mm, 45 mm o 50 mm.

- 40 Como se emplea en el presente documento, una placa "shate" (también denominada plancha de chapa) generalmente tiene un grosor de aproximadamente 4 mm a aproximadamente 15 mm. Por ejemplo, una placa puede tener un grosor 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.

- 45 Como se emplea en el presente documento, una lámina generalmente se refiere a un producto de aluminio que tiene un grosor menor de aproximadamente 4 mm. Por ejemplo, una lámina puede tener un grosor 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.

- 50 En esta solicitud se hace referencia al temple o condición 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 T4 se refiere a una aleación de aluminio después del tratamiento térmico de disolución (SHT, por sus siglas en inglés) (es decir, soluciónización) seguido por un envejecimiento natural. Una condición o temple T6
- 55 se refiere a una aleación de aluminio después del tratamiento térmico de disolución seguido por un envejecimiento artificial (AA, por sus siglas en inglés). Una condición o temple T8x se refiere a una aleación de aluminio después del tratamiento térmico de disolución, seguido por un trabajo en frío y a continuación, por un envejecimiento artificial.

- 60 Como se emplean en el presente documento, los términos tales como "artículo de metal colado", "artículo colado" y similares son intercambiables y se refieren a un producto producido por colada con enfriamiento directo(incluida la co-colada 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,
- 65 colada superior caliente o cualquier otro método de colada.

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

- 5 Debe entenderse que todos los intervalos divulgados en el presente documento abarcan todos y cada uno de los subintervalos incluidos en estos. Por ejemplo, debe considerarse que un intervalo establecido de "1 a 10" incluye todos y cada uno de los subintervalos entre (e inclusive) el valor mínimo de 1 y el valor máximo de 10; es decir, todos los subintervalos que comienzan con un valor mínimo de 1 o más, p. ej., de 1 a 6,1, y finalizan con un valor máximo de 10 o menos, p. ej., de 5,5 a 10.

10

Las siguientes aleaciones de aluminio se describen en términos de su composición elemental en porcentaje en peso (% en peso) basándose en el peso total de la aleación. El resto de cada aleación es aluminio, con un % en peso máximo de 0,15 % para la suma de las impurezas.

15 *Composiciones de Aleación*

A continuación se describen nuevas aleaciones de aluminio. En ciertos aspectos, las aleaciones exhiben una alta resistencia, alta conformabilidad y resistencia a la corrosión. Las propiedades de las aleaciones se logran debido a las composiciones elementales de las aleaciones, así como a los métodos de procesamiento de las aleaciones para producir productos de aleación de aluminio, incluidas láminas, planchas y placas.

20

En ciertos aspectos, para un efecto combinado de endurecimiento, conformabilidad y resistencia a la corrosión, la aleación tiene un contenido de Cu de 0,5 % en peso a 1,5 % en peso, un contenido de Zr de 0,07 % en peso a 0,12 % en peso, y una razón controlada de Si a Mg, como se describe adicionalmente más adelante.

25

Las aleaciones pueden tener la siguiente composición elemental como se proporciona en la Tabla 1:

Tabla 1

Elemento	Porcentaje en peso (% en peso)
Si	0,25-1,3
Fe	0-0,2
Mn	0-0,5
Mg	1,0-2,5
Cu	0,5-1,5
Zn	0-3,0
Zr	0-0,15
Otros	0-0,05 (cada uno) 0-0,15 (total)
Al	Resto

- 30 En algunos ejemplos las aleaciones pueden tener la siguiente composición elemental como se proporciona en la Tabla 2.

Tabla 2

Elemento	Porcentaje en peso (% en peso)
Si	0,55-1,1
Fe	0,05-0,17
Mn	0,05-0,3
Mg	1,25-2,25
Cu	0,6-1,0
Zn	1,5-3,0
Zr	0,09-0,12
Otros	0-0,05 (cada uno) 0-0,15 (total)
Al	Resto

- 35 En algunos ejemplos las aleaciones pueden tener la siguiente composición elemental como se proporciona en la Tabla 3.

Tabla 3

Elemento	Porcentaje en peso (% en peso)
Si	0,65-1,0
Fe	0,12-0,17
Mn	0,05-0,2
Mg	1,5-2,25
Cu	0,6-1,0
Zn	2,0-3,0
Zr	0,08-0,11
Otros	0-0,05 (cada uno) 0-0,15 (total)
Al	Resto

Las aleación divulgada incluye silicio (Si) en una cantidad de 0,25 % a 1,3 % (p. ej., de 0,55 % a 1,1 % o de 0,65 % a 1,0 %) basándose en el peso total de la aleación. Por ejemplo, la aleación puede incluir 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 %, 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 %, 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 %, o 1,3 % de Si. Todos los porcentajes se expresan en % en peso.

En algunos ejemplos, la aleación descrita en el presente documento incluye hierro (Fe) en una cantidad de hasta 0,2 % (p. ej., de 0,05 % a 0,17 % o de 0,12 % a 0,17 %) basándose 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 %, o 0,2 % de Fe. En algunos casos, el Fe no está presente en la aleación (es decir, es 0 %). Todos los porcentajes se expresan en % en peso.

En algunos ejemplos, la aleación descrita en el presente documento incluye manganeso (Mn) en una cantidad de hasta 0,5 % (p. ej., de 0,05 % a 0,3 % o de 0,05 % a 0,2 %) basándose 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 casos, el Mn no está presente en la aleación (es decir, es 0 %). Todos los porcentajes se expresan en % en peso.

La aleación divulgada incluye magnesio (Mg) en una cantidad de 1,0 % a 2,5 % (p. ej., de 1,25 % a 2,25 % o de 1,5 % a 2,25 %) basándose en el peso total de la aleación. Por ejemplo, la aleación puede incluir 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 %, 1,5 %, 1,51 %, 1,52 %, 1,53 %, 1,54 %, 1,55 %, 1,56 %, 1,57 %, 1,58 %, 1,59 %, 1,6 %, 1,61 %, 1,62 %, 1,63 %, 1,64 %, 1,65 %, 1,66 %, 1,67 %, 1,68 %, 1,69 %, 1,7 %, 1,71 %, 1,72 %, 1,73 %, 1,74 %, 1,75 %, 1,76 %, 1,77 %, 1,78 %, 1,79 %, 1,8 %, 1,81 %, 1,82 %, 1,83 %, 1,84 %, 1,85 %, 1,86 %, 1,87 %, 1,88 %, 1,89 %, 1,9 %, 1,91 %, 1,92 %, 1,93 %, 1,94 %, 1,95 %, 1,96 %, 1,97 %, 1,98 %, 1,99 %, 2,0 %, 2,01 %, 2,02 %, 2,03 %, 2,04 %, 2,05 %, 2,06 %, 2,07 %, 2,08 %, 2,09 %, 2,1 %, 2,11 %, 2,12 %, 2,13 %, 2,14 %, 2,15 %, 2,16 %, 2,17 %, 2,18 %, 2,19 %, 2,2 %, 2,21 %, 2,22 %, 2,23 %, 2,24 %, 2,25 %, 2,26 %, 2,27 %, 2,28 %, 2,29 %, 2,3 %, 2,31 %, 2,32 %, 2,33 %, 2,34 %, 2,35 %, 2,36 %, 2,37 %, 2,38 %, 2,39 %, 2,4 %, 2,41 %, 2,42 %, 2,43 %, 2,44 %, 2,45 %, 2,46 %, 2,47 %, 2,48 %, 2,49 %, o 2,5 %, de Mg. Todos los porcentajes se expresan en % en peso.

La aleación divulgada incluye cobre (Cu) en una cantidad de 0,5 % a 1,5 % (p. ej., de 0,6 % a 1,0 % o de 0,6 % a 0,9 %) basándose 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 %, 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 Cu. Todos los porcentajes se expresan en % en peso.

En algunos ejemplos, la aleación descrita en el presente documento incluye zinc (Zn) en una cantidad de hasta 3,0 % en peso (p. ej., de 1,0 % a 3,0 %, de 1,5 % a 3,0 %, o de 2,0 % a 3,0 %) basándose 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 %, 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 %, 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 %, 1,5 %, 1,51 %, 1,52 %, 1,53 %, 1,54 %, 1,55 %, 1,56 %, 1,57 %, 1,58 %, 1,59 %, 1,6 %, 1,61 %, 1,62 %, 1,63 %, 1,64 %, 1,65 %, 1,66 %, 1,67 %, 1,68 %, 1,69 %, 1,7 %, 1,71 %, 1,72 %, 1,73 %, 1,74 %, 1,75 %, 1,76 %, 1,77 %, 1,78 %, 1,79 %, 1,8 %, 1,81 %, 1,82 %, 1,83 %, 1,84 %, 1,85 %, 1,86 %, 1,87 %, 1,88 %, 1,89 %, 1,9 %, 1,91 %, 1,92 %, 1,93 %, 1,94 %, 1,95 %, 1,96 %, 1,97 %, 1,98 %, 1,99 %, 2,0 %, 2,01 %, 2,02 %, 2,03 %, 2,04 %, 2,05 %, 2,06 %, 2,07 %, 2,08 %, 2,09 %, 2,1 %, 2,11 %, 2,12 %, 2,13 %, 2,14 %, 2,15 %, 2,16 %, 2,17 %, 2,18 %, 2,19 %, 2,2 %, 2,21 %, 2,22 %, 2,23 %, 2,24 %, 2,25 %, 2,26 %, 2,27 %, 2,28 %, 2,29 %, 2,3 %, 2,31 %, 2,32 %, 2,33 %, 2,34 %, 2,35 %, 2,36 %, 2,37 %, 2,38 %, 2,39 %, 2,4 %, 2,41 %, 2,42 %, 2,43 %, 2,44 %, 2,45 %, 2,46 %, 2,47 %, 2,48 %, 2,49 %, 2,5 %, 2,51 %, 2,52 %, 2,53 %, 2,54 %, 2,55 %, 2,56 %, 2,57 %, 2,58 %, 2,59 %, 2,6 %, 2,61 %, 2,62 %, 2,63 %, 2,64 %, 2,65 %, 2,66 %, 2,67 %, 2,68 %, 2,69 %, 2,7 %, 2,71 %, 2,72 %, 2,73 %, 2,74 %, 2,75 %, 2,76 %, 2,77 %, 2,78 %, 2,79 %, 2,8 %, 2,81 %, 2,82 %, 2,83 %, 2,84 %, 2,85 %, 2,86 %, 2,87 %, 2,88 %, 2,89 %, 2,9 %, 2,91 %, 2,92 %, 2,93 %, 2,94 %, 2,95 %, 2,96 %, 2,97 %, 2,98 %, 2,99 %, o 3,0 % de Zn. En algunos casos, el Zn no está presente en la aleación (es decir, es 0 %). Todos los porcentajes se expresan en % en peso.

Opcionalmente, se puede incluir circonio (Zr) en las aleaciones descritas en el presente documento. En algunos ejemplos, las aleaciones incluyen Zr en una cantidad de hasta 0,15 % en peso (p. ej., de 0,07 % a 0,15 %, de 0,09 % a 0,12 %, o de 0,08 % a 0,11 %) basándose 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 %, o 0,15 % de Zr. En algunos ejemplos, el Zr no está presente en las aleaciones (es decir, es 0 %). Todos los porcentajes se expresan en % en peso. En ciertos aspectos, se añade Zr a las composiciones descritas anteriormente para formar dispersoides $(Al, Si)_3Zr$ (dispersoides DO_{22}/DO_{23}) y/o dispersoides Al_3Zr (dispersoides L_{12}).

Opcionalmente, las composiciones de aleación pueden incluir adicionalmente 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, o 0,01 % o menos cada uno. Estas impurezas pueden incluir, pero sin limitarse a, Ga, V, Ni, Sc, Ag, B, Bi, Li, Pb, Sn, Ca, Cr, Ti, Hf, Sr o combinaciones de los mismos. En consecuencia, Ga, V, Ni, Sc, Ag, B, Bi, Li, Pb, Sn, Ca, Cr, Ti, 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. La suma de todas las impurezas no supera 0,15 % (p. ej., 0,1 %). Todos los porcentajes se expresan en % en peso. El porcentaje restante de la aleación es aluminio.

Las aleaciones ilustrativas adecuadas pueden incluir, por ejemplo, 1,0 % de Si, 2,0 %-2,25 % de Mg, 0,6 %-0,7 % de Cu, 2,5 %-3,0 % de Zn, 0,07 %-0,10 % de Mn, 0,14 %-0,17 % de Fe, 0,09 %-0,10 % de Zr, y hasta 0,15 % de impurezas totales, siendo el resto Al. En algunos casos, las aleaciones ilustrativas adecuadas pueden incluir 0,55 %-0,65 % de Si, 1,5 % de Mg, 0,7 %-0,8 % de Cu, 1,55 % de Zn, 0,14 %-0,15 % de Mn, 0,16 %-0,18 % de Fe, y hasta 0,15 % de impurezas totales, siendo el resto Al. En algunos casos, las aleaciones ilustrativas adecuadas pueden incluir 0,65 % de Si, 1,5 % de Mg, 1,0 % de Cu, 2,0 %-3,0 % de Zn, 0,14 %-0,15 % de Mn, 0,17 % de Fe y hasta el 0,15 % de impurezas totales, siendo el resto Al.

Microestructura de aleación y propiedades

En ciertos aspectos, las razones de Cu, Mg y Si y el contenido de Zn se controlan para mejorar la resistencia a la corrosión, la resistencia mecánica y la conformabilidad. El contenido de Zn puede controlar la morfología de la corrosión como se describe a continuación, por ejemplo, induciendo corrosión por picadura y suprimiendo la corrosión intergranular (IGC, por sus siglas en inglés).

La razón de Mg a Si (también denominada en el presente documento como razón Mg/Si) es de 1,5:1 a 3,5:1 (p. ej., de 1,75:1 a 3,0:1 o de 2,0:1 a 3,0:1). Por ejemplo, la razón Mg/Si puede ser 1,5:1, 1,6:1, 1,7:1, 1,8:1, 1,9:1, 2,0:1, 2,1:1, 2,2:1, 2,3:1, 2,4:1, 2,5:1, 2,6:1, 2,7:1, 2,8:1, 2,9:1, 3,0:1, 3,1:1, 3,2:1, 3,3:1, 3,4:1, 3,5:1, 3,6:1, 3,7:1, 3,8:1, 3,9:1 o 4,0:1. En algunos ejemplos no limitantes, una aleación de aluminio que tiene una razón Mg/Si de 1,5:1 a 3,5:1 (p. ej., de 2,0:1 a 3,0:1) puede exhibir alta resistencia mecánica y mayor conformabilidad.

En algunos ejemplos no limitantes, una aleación de aluminio que tiene una razón Mg/Si de 2,0:1-3,0:1 y un contenido de Zn de 2,5 % en peso- 3,0 % en peso puede exhibir supresión de IGC típicamente observada en aleaciones de aluminio que tienen Mg y Si como elementos de aleación predominantes, y en su lugar puede inducir la corrosión por picadura. En algunos casos, la corrosión por picadura puede ser favorable sobre la IGC debido a una profundidad de ataque limitada, ya que la IGC puede ocurrir a lo largo de los límites del grano y propagarse más profundamente en la aleación de aluminio que la corrosión por picadura. En algunos ejemplos no limitantes, una razón de Zn con respecto a la razón Mg/Si (es decir, la razón Zn/(Mg/Si)) puede ser de 0,75:1 a 1,4:1 (p. ej., de 0,8:1 a 1,1:1). Por ejemplo, la razón Zn/(Mg/Si) puede ser de 0,75:1, 0,8:1, 0,85:1, 0,9:1, 0,95:1, 1,0:1, 1,05:1, 1,1:1, 1,15:1, 1,2:1, 1,25:1, 1,3:1, 1,35:1 o 1,4:1.

En algunos otros ejemplos no limitantes adicionales, una razón de Cu con respecto a la razón Zn/(Mg/Si) (es decir, la razón Cu/[Zn/(Mg/Si)]) puede ser de 0,7:1 a 1,4:1 (p. ej., la razón Cu/[Zn/(Mg/Si)] puede ser de 0,8:1 a 1,1:1). Por ejemplo, la razón Cu/[Zn/(Mg/Si)] puede ser de 0,7:1, 0,75:1, 0,8:1, 0,85:1, 0,9:1, 0,95:1, 1,0:1, 1,05:1, 1,1:1, 1,15:1, 1,2:1, 1,25:1, 1,3:1, 1,35:1, o 1,4:1. En algunos ejemplos no limitantes, la razón Cu/[Zn/(Mg/Si)] puede proporcionar alta resistencia mecánica, alta deformabilidad y alta resistencia a la corrosión.

En ciertos aspectos, Cu, Si y Mg pueden formar precipitados en la aleación para dar como resultado una aleación con mayor resistencia mecánica y resistencia a la corrosión mejorada. Estos precipitados pueden formarse durante los procedimientos de envejecimiento, después del tratamiento térmico de disolución. El contenido de Mg y Cu puede proporcionar la precipitación de una fase M/η o una fase M (p. ej., $MgZn_2/Mg(Zn,Cu)_2$), lo que da como resultado precipitados que pueden aumentar la resistencia mecánica en la aleación de aluminio. Durante el procedimiento de precipitación, se pueden formar zonas metaestables de Guinier Preston (GP), que a su vez se transfieren a precipitados en forma de aguja β'' (p. ej., siliciuro de magnesio, Mg_2Si) que contribuyen al endurecimiento por precipitación de las aleaciones divulgadas. En ciertos aspectos, la adición de Cu conduce a la formación de precipitación en fase L en forma de torno (p. ej., $Al_4Mg_8Si_7Cu_2$), que es un precursor de la formación de la fase de precipitado Q' y que adicionalmente contribuye a la resistencia mecánica.

En algunos ejemplos, los precipitados de la fase M, que incluyen $MgZn_2$ y/o $Mg(Zn,Cu)_2$, pueden estar presentes en la aleación de aluminio en una cantidad promedio de al menos 300.000.000 de partículas por milímetro cuadrado (mm^2). Por ejemplo, los precipitados de fase M pueden estar presentes en una cantidad de al menos 310.000.000 de partículas por mm^2 , al menos 320.000.000 de partículas por mm^2 , al menos 330.000.000 de partículas por mm^2 , al menos 340.000.000 de partículas por mm^2 , al menos 350.000.000 de partículas por mm^2 , al menos 360.000.000 de partículas por mm^2 , al menos 370.000.000 de partículas por mm^2 , al menos 380.000.000 de partículas por mm^2 , al menos 390.000.000 de partículas por mm^2 , o al menos 400.000.000 de partículas por mm^2 .

En algunos ejemplos, los precipitados de la fase L, incluido $Al_4Mg_8Si_7Cu_2$, pueden estar presentes en la aleación de aluminio en una cantidad promedio de al menos 600.000.000 de partículas por milímetro cuadrado (mm^2). Por ejemplo, los precipitados de fase L pueden estar presentes en una cantidad de al menos 610.000.000 de partículas por mm^2 , al menos 620.000.000 de partículas por mm^2 , al menos 630.000.000 de partículas por mm^2 , al menos 640.000.000 de partículas por mm^2 , al menos 650.000.000 de partículas por mm^2 , al menos 660.000.000 de partículas por mm^2 , al menos 670.000.000 de partículas por mm^2 , al menos 680.000.000 de partículas por mm^2 , al menos 690.000.000 de partículas por mm^2 , o al menos 700.000.000 de partículas por mm^2 .

En algunos ejemplos, los precipitados de la fase β'' , incluido Mg_2Si , pueden estar presentes en la aleación de aluminio en una cantidad promedio de al menos 600.000.000 de partículas por milímetro cuadrado (mm^2). Por ejemplo, los precipitados de la fase β'' puede estar presentes en una cantidad de al menos 610.000.000 de partículas por mm^2 , al menos 620.000.000 de partículas por mm^2 , al menos 630.000.000 de partículas por mm^2 , al menos 640.000.000 de partículas por mm^2 , al menos 650.000.000 de partículas por mm^2 , al menos 660.000.000 de partículas por mm^2 , al menos 670.000.000 de partículas por mm^2 , al menos 680.000.000 de partículas por mm^2 , al menos 690.000.000 de partículas por mm^2 , al menos 700.000.000 de partículas por mm^2 , al menos 710.000.000 de partículas por mm^2 , al menos 720.000.000 de partículas por mm^2 , al menos 730.000.000 de partículas por mm^2 , al menos 740.000.000 de partículas por mm^2 , o al menos 750.000.000 de partículas por mm^2 .

En algunos ejemplos, la razón de los precipitados en la fase β'' (p. ej., Mg_2Si) con respecto a los precipitados en la fase L (p. ej., $Al_4Mg_8Si_7Cu_2$) puede ser de 1:1 a 1,5:1 (p. ej., de 1,1:1 a 1,4:1). Por ejemplo, la razón de los precipitados de la fase β'' con respecto a los precipitados de la fase L puede ser de 1:1, 1,1:1, 1,2:1, 1,3:1, 1,4:1 o 1,5:1.

5

En algunos ejemplos, la razón de los precipitados de la fase β'' (p. ej., Mg_2Si) con respecto a los precipitados de la fase M (p. ej., $MgZn_2$ y/o $Mg(Zn,Cu)_2$) puede ser de 1,5:1 a 3:1 (p. ej., de 1,6:1 a 2,8:1 o de 2,0:1 a 2,5:1). Por ejemplo, la razón de los precipitados de la fase β'' con respecto a los precipitados de la fase M puede ser 1,5:1, 1,6:1, 1,7:1, 1,8:1, 1,9:1, 2,0:1, 2,1:1, 2,2:1, 2,3:1, 2,4:1, 2,5:1, 2,6:1, 2,7:1, 2,8:1, 2,9:1, o 3,0:1.

10

En algunos ejemplos, la razón de los precipitados de la fase L (p. ej., $Al_4Mg_8Si_7Cu_2$) con respecto a los precipitados de la fase M (p. ej., $MgZn_2$ y/o $Mg(Zn,Cu)_2$) puede ser de 1,5:1 a 3:1 (p. ej., de 1,6:1 a 2,8:1 o de 2,0:1 a 2,5:1). Por ejemplo, la razón de los precipitados de fase L con respecto a los precipitados de fase M puede ser de 1,5:1, 1,6:1, 1,7:1, 1,8:1, 1,9:1, 2,0:1, 2,1:1, 2,2:1, 2,3:1, 2,4:1, 2,5:1, 2,6:1, 2,7:1, 2,8:1, 2,9:1 o 3,0:1.

15

Las aleaciones descritas en el presente documento muestran propiedades mecánicas excepcionales, como se proporciona adicionalmente a continuación. Las propiedades mecánicas de las aleaciones de aluminio pueden controlarse adicionalmente por medio de diversas condiciones de envejecimiento según el uso deseado. Como un ejemplo, la aleación puede producirse (o proporcionarse) en el temple T4 o el temple T6. Se pueden proporcionar artículos de aleación de aluminio T4 que experimentan tratamiento térmico de disolución y se envejecen naturalmente. Estos artículos de aleación de aluminio T4 pueden someterse opcionalmente a uno o varios tratamientos de envejecimiento adicionales para cumplir con los requisitos de resistencia mecánica al recibirlos. Por ejemplo, los artículos de aleación de aluminio pueden suministrarse en otros temples, tal como el temple T6, al someter el material de aleación T4 al tratamiento de envejecimiento apropiado como se describe en el presente documento o de otra manera conocida por los expertos en la técnica. A continuación se proporcionan propiedades ilustrativas en temples ilustrativos.

20

25

En ciertos aspectos, la aleación de aluminio puede tener un límite elástico de al menos 340 MPa en el temple T6. En ejemplos no limitantes, el límite elástico puede ser al menos 350 MPa, al menos 360 MPa o al menos 370 MPa. En algunos casos, el límite elástico es de 340 MPa a 400 MPa. Por ejemplo, el límite elástico puede ser de 350 MPa a 390 MPa o de 360 MPa a 380 MPa.

30

En ciertos aspectos, la aleación de aluminio puede tener una resistencia a la tracción máxima de al menos 400 MPa en el temple T6. En ejemplos no limitantes, la resistencia a la tracción máxima puede ser al menos 410 MPa, al menos 420 MPa o al menos 430 MPa. En algunos casos, la resistencia a la tracción máxima es de 400 MPa a 450 MPa. Por ejemplo, la resistencia a la tracción máxima puede ser de 410 MPa a 440 MPa o de 415 MPa a 435 MPa.

35

En ciertos aspectos, la aleación de aluminio tiene suficiente ductilidad o tenacidad para cumplir con una plegabilidad de 90° de 1,0 o menos en el temple T4 (p. ej., 0,5 o menos). En ciertos ejemplos, la razón de plegabilidad r/t es 1,0 o menos, 0,9 o menos, 0,8 o menos, 0,7 o menos, 0,6 o menos, 0,5 o menos, 0,4 o menos, 0,3 o menos, 0,2 o menos, o 0,1 o menos, donde r es el radio de la herramienta (matriz) utilizada y t es el grosor del material.

40

45

En ciertos aspectos, la aleación de aluminio presenta un alargamiento uniforme de 20 % o más en el temple T4 y un alargamiento total de 30 % o más en el temple T4. En ciertos aspectos, las aleaciones presentan un alargamiento uniforme de 22 % o más y un alargamiento total de 35 % o más. Por ejemplo, las aleaciones pueden presentar un alargamiento uniforme de 20 % o más, 21 % o más, 22 % o más, 23 % o más, 24 % o más, 25 % o más, 26 % o más, 27 % o más, o 28 % o más. Las aleaciones pueden presentar un alargamiento total de 30 % o más, 31 % o más, 32 % o más, 33 % o más, 34 % o más, 35 % o más, 36 % o más, 37 % o más, 38 % o más, 39 % o más, o 40 % o más.

50

En ciertos aspectos, la aleación de aluminio exhibe una resistencia adecuada a IGC, medida por ISO 11846B. Por ejemplo, la picadura en las aleaciones de aluminio puede suprimirse por completo o mejorarse, de modo que la profundidad promedio de la picadura de corrosión intergranular de una aleación en el temple T6 sea inferior a 100 μm . Por ejemplo, la profundidad promedio de la picadura de corrosión intergranular puede ser inferior a 90 μm , inferior a 80 μm , inferior a 70 μm , inferior a 60 μm , inferior a 50 μm o inferior a 40 μm .

55

60 *Métodos de preparación de las aleaciones de aluminio*

En ciertos aspectos, la composición de aleación divulgada es un producto de un método divulgado. Sin pretender limitar la divulgación, las propiedades de la aleación de aluminio están parcialmente determinadas por la formación de microestructuras durante la preparación de la aleación. En ciertos 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.

65

Moldeo

- La aleación descrita en el presente documento puede colarse usando un método de moldeo. En algunos ejemplos no limitantes, la aleación de aluminio como se describe en el presente documento puede colarse a partir de una aleación de aluminio fundido que incluye aleaciones de chatarra (p. ej., de una chatarra de aleación de aluminio de la serie AA6xxx, una chatarra de aleación de aluminio de la serie AA7xxx o una combinación de estas). El procedimiento de colada puede incluir un procedimiento de colada por enfriamiento directo (DC, por sus siglas en inglés). Opcionalmente, el lingote se puede escarpar antes del procesamiento corriente abajo. Opcionalmente, el procedimiento de colada puede incluir un procedimiento de colada continua (CC, por sus siglas en inglés). La aleación de aluminio colada puede someterse a continuación a etapas adicionales de procesamiento. Por ejemplo, los métodos de procesamiento como se describen en el presente documento pueden incluir las etapas de homogeneización, laminado en caliente, tratamiento térmico de disolución y enfriamiento rápido. En algunos casos, los métodos de procesamiento también pueden incluir una etapa de pre-envejecimiento y/o una etapa de envejecimiento artificial.

Homogeneización

- La etapa de homogeneización puede incluir calentar un lingote preparado a partir de una composición de aleación que se describe en el presente documento para alcanzar una temperatura pico del metal (PMT, por sus siglas en inglés) de aproximadamente, o al menos aproximadamente, 500 °C (p. ej., al menos 520 °C, al menos 530 °C, al menos 540 °C, al menos 550 °C, al menos 560 °C, al menos 570 °C, o al menos 580 °C). Por ejemplo, el lingote puede calentarse a una temperatura de 500 °C a 600 °C, de 520 °C a 580 °C, de 530 °C a 575 °C, de 535 °C a 570 °C, de 540 °C a 565 °C, de 545 °C a 560 °C, o de 530 °C a 560 °C, o de 550 °C a 580 °C. En algunos casos, la velocidad de calentamiento para la PMT puede ser de 70 °C/hora o menor, 60 °C/hora o menor, 50 °C/hora o menor, 40 °C/hora o menor, 30 °C/hora o menor, 25 °C/hora o menor, 20 °C/hora o menor, o 15 °C/hora o menor. En otros casos, la velocidad de calentamiento para la PMT puede ser de 10 °C/min a 100 °C/min (p. ej., 10 °C/min a 90 °C/min, 10 °C/min a 70 °C/min, 10 °C/min a 60 °C/min, de 20 °C/min a 90 °C/min, de 30 °C/min a 80 °C/min, de 40 °C/min a 70 °C/min, o de 50 °C/min a 60 °C/min).

- Después, el lingote se deja homogeneizar (es decir, se mantiene a la temperatura indicada) durante un período de tiempo. De acuerdo con un ejemplo no limitante, el lingote se somete a estabilización térmica durante hasta 6 horas (p. ej., de 30 minutos hasta 6 horas, inclusive). Por ejemplo, el lingote puede someterse a estabilización térmica a una temperatura de al menos 500 °C durante 30 minutos, 1 hora, 2 horas, 3 horas, 4 horas, 5 horas o 6 horas, o cualquier valor intermedio.

Laminado en caliente

- Tras la etapa de homogeneización, se puede realizar una etapa de laminado en caliente para formar una banda en caliente. En ciertos casos, los lingotes se depositan y laminan en caliente con una temperatura de salida que varía de 230 °C a 300 °C (p. ej., de 250 °C a 300 °C). Por ejemplo, la temperatura de salida del cilindro de laminado en caliente puede ser de 230 °C, 235 °C, 240 °C, 245 °C, 250 °C, 255 °C, 260 °C, 265 °C, 270 °C, 275 °C, 280 °C, 285 °C, 290 °C, 295 °C, o 300 °C.
- En ciertos casos, el lingote se puede laminar en caliente a un espesor de 4 mm a 15 mm (p. ej., espesor de 5 mm a 12 mm). Por ejemplo, el lingote se puede laminar en caliente a un espesor de 4 mm, espesor de 5 mm, espesor de 6 mm, espesor de 7 mm, espesor de 8 mm, espesor de 9 mm, espesor de 10 mm, espesor de 11 mm, espesor de 12 mm, espesor de 13 mm, espesor de 14 mm, o espesor de 15 mm. En ciertos casos, el lingote puede laminarse en caliente hasta alcanzar un calibre superior a 15 mm de espesor (p. ej., una chapa). En otros casos, el lingote puede laminarse en caliente hasta un calibre menor de 4 mm (p. ej., una lámina).

Tratamiento térmico de disolución

- Después de la etapa de laminado en caliente, la banda en caliente se puede enfriar con aire y a continuación, se puede solucionar en una etapa de tratamiento térmico de disolución. El tratamiento térmico de disolución puede incluir calentar la aleación de aluminio de calibre final desde la temperatura ambiente hasta una temperatura 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 aleación de aluminio de calibre final puede someterse a estabilización térmica a la temperatura durante un período de tiempo. En ciertos aspectos, la aleación de aluminio de calibre final se somete a estabilización térmica durante hasta aproximadamente 2 horas (p. ej., de 10 segundos a 120 minutos, inclusive). Por ejemplo, la aleación de aluminio de calibre final puede someterse a estabilización térmica a la temperatura de 525 °C a 590 °C durante 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, 125 segundos, 130 segundos, 135 segundos, 140 segundos, 145 segundos, 150 segundos, 5 minutos, 10 minutos, 15 minutos, 20

minutos, 25 minutos, 30 minutos, 35 minutos, 40 minutos, 45 minutos, 50 minutos, 55 minutos, 60 minutos, 65 minutos, 70 minutos, 75 minutos, 80 minutos, 85 minutos, 90 minutos, 95 minutos, 100 minutos, 105 minutos, 110 minutos, 115 minutos o 120 minutos, o cualquier valor intermedio.

5 *Enfriamiento rápido*

En ciertos aspectos, la aleación de aluminio de calibre final puede enfriarse a continuación, a una temperatura de 35 °C a una velocidad de enfriamiento rápido que puede variar entre 50 °C/s a 400 °C/s en una etapa de enfriamiento rápido que se basa en el calibre seleccionado. Por ejemplo, la velocidad de enfriamiento rápido puede ser de 50 °C/s a 375 °C/s, de 60 °C/s a 375 °C/s, de 70 °C/s a 350 °C/s, de 80 °C/s a 325 °C/s, de 90 °C/s a 300 °C/s, de 100 °C/s a 275 °C/s, de 125 °C/s a 250 °C/s, de 150 °C/s a 225 °C/s, o de 175 °C/s a 200 °C/s.

En la etapa de enfriamiento rápido, la aleación de aluminio de calibre final se enfría rápidamente con un líquido (p. ej., agua) y/o gas u otro medio de enfriamiento rápido seleccionado. En ciertos aspectos, la aleación de aluminio de calibre final puede enfriarse rápidamente con agua.

Pre-Envejecimiento

Opcionalmente, se puede realizar una etapa de pre-envejecimiento. La etapa de pre-envejecimiento puede incluir calentar la aleación de aluminio de calibre final después de la etapa de enfriamiento rápido a una temperatura de 100 °C a 160 °C (p. ej., de 105 °C a 155 °C, de 110 °C a 150 °C, de 115 °C a 145 °C, de 120 °C a 140 °C, o de 125 °C a 135 °C). En ciertos aspectos, la lámina, chapa o placa de aleación de aluminio se somete a estabilización térmica durante hasta tres horas (p. ej., durante hasta 10 minutos, durante hasta 20 minutos, durante hasta 30 minutos, durante hasta 40 minutos, durante hasta 45 minutos, durante hasta 60 minutos, durante hasta 90 minutos, durante hasta dos horas, o durante hasta tres horas).

Envejecimiento

La aleación de aluminio de calibre final puede envejecerse de forma natural o artificial. En algunos ejemplos, la aleación de aluminio de calibre final puede envejecerse naturalmente durante un período de tiempo para dar como resultado el temple T4. En ciertos aspectos, la aleación de aluminio de calibre final en el temple T4 puede envejecerse artificialmente (AA) 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. Opcionalmente, la aleación de aluminio de calibre final puede envejecerse artificialmente durante un período de 15 minutos a 8 horas (p. ej., 15 minutos, 30 minutos, 1 hora, 2 horas, 3 horas, 4 horas, 5 horas, 6 horas, 7 horas u 8 horas o cualquier valor intermedio) para dar como resultado un temple T6.

Métodos de uso

Las aleaciones y los métodos descritos en el presente documento pueden usarse en aplicaciones automotrices, electrónicas y de transporte, tales como aplicaciones comerciales de vehículos, aeronaves o trenes u otras aplicaciones. Por ejemplo, las aleaciones podrían usarse para chasis, travesaños y componentes internos del chasis (que abarcan, pero sin limitarse a, todos los componentes entre los dos canales C en un chasis de vehículo comercial) para ganar resistencia mecánica, sirviendo como un reemplazo completo o parcial de aceros de alta resistencia mecánica. En ciertos ejemplos, las aleaciones pueden usarse en temples T4 y T6.

En ciertos 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 divulgados pueden usarse para preparar piezas de carrocería de automóviles, tales como parachoques, 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 divulgados en el presente documento también pueden usarse en aplicaciones de vehículos aéreos o ferroviarios para preparar, por ejemplo, paneles exteriores e interiores. En ciertos aspectos, las aleaciones divulgadas pueden usarse para otras aplicaciones especializadas, tales como chapas/placas de baterías de automóviles.

Las aleaciones y los métodos descritos también pueden usarse para preparar carcasas para dispositivos electrónicos, que incluyen teléfonos móviles y ordenadores tipo *tableta*. Por ejemplo, las aleaciones pueden usarse para preparar carcasas para el revestimiento exterior de teléfonos móviles (p. ej., teléfonos inteligentes) y chasis inferior de *tabletas*, con o sin anodización. Las aleaciones también se pueden usar para preparar otros productos electrónicos de consumo y piezas de productos. Los productos electrónicos de consumo ilustrativos incluyen teléfonos móviles, dispositivos de audio, dispositivos de video, cámaras, ordenadores portátiles, ordenadores de escritorio, ordenadores de tipo *tableta*, 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., frontales) y piezas interiores para los productos electrónicos de consumo.

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

Ejemplos

Ejemplo 1: Composiciones de aleación de aluminio

Las Tablas 4A y 4B a continuación resumen ejemplos de aleaciones de aluminio ilustrativas y la Tabla 5 proporciona las propiedades de las aleaciones, incluyendo el límite elástico (YS, por sus siglas en inglés), las profundidades de picadura de corrosión intergranular (IGC) y la plegabilidad de 90° (Flexión).

Tabla 4A

Aleación	Cu	Mg	Mn	Si	Zn	Fe	Zr
1	0,60	0,9-1,2	0,19	0,9-1,1	<0,01	0,16-0,19	0
2	0,80	1,0	0,17-0,19	1,1	1,5-3,0	0,18-0,20	0,006
3	0,6-0,7	2,0-2,25	0,07-0,10	1,0	2,5-3,0	0,14-0,17	0,09-0,10
4	0,7-0,8	1,5	0,14-0,15	0,55-0,65	1,55	0,16-0,18	0
5	1,0	1,5	0,14-0,15	0,63-0,67	2,0-3,0	0,17	0

Todo se expresa en % en peso; impurezas totales hasta 0,15 % en peso; el resto Al.

Tabla 4B

Aleación	Mg/Si	Zn/(Mg/Si)	Cu/[Zn/(Mg/Si)]
1	0,87-1,19	0	0
2	0,97-1,1	1,3-3,1	0,25-0,62
3	2,0-2,25	1,1-1,5	0,4-0,64
4	2,3-2,8	0,55-0,67	1,04-1,4
5	2,2-2,4	0,8-1,4	0,71-1,25

Tabla 5

Aleación	YS (MPa)	IGC (µm)	Flexión (90°)
1	380	300	Falla
2	370	250	Falla
3	340	0	Pasa
4	360	200	Falla
5	370	120	Pasa

Las propiedades de las aleaciones se lograron controlando las razones de los elementos de aleación. La Aleación 1 representa aleaciones de aluminio de la serie AA6xxx comparativas que exhiben una alta resistencia mecánica debido a precipitados de endurecimiento de Mg₂Si en la aleación de aluminio. La Aleación 2 representa aleaciones de aluminio comparativas que exhiben una resistencia a la corrosión mejorada y una ligera disminución en la resistencia mecánica al añadir Zn. Las Aleaciones 1 y 2, en donde la razón Cu/[Zn/(Mg/Si)] no se encuentra en el intervalo de aproximadamente 0,7 a aproximadamente 1,4, exhiben IGC significativa y fallan en una prueba de plegabilidad de 90°. La Aleación 3 representa aleaciones de aluminio ilustrativas en donde las razones de Cu/[Zn/(Mg/Si)] están más cercanas al intervalo de 0,7 a 1,4 que la Aleación 2, exhibiendo una disminución en la resistencia mecánica con excelente conformabilidad y resistencia a IGC. La Aleación 4 representa aleaciones de aluminio ilustrativas en donde las razones de Cu/[Zn/(Mg/Si)] están dentro del intervalo de 0,7 a 1,4, pero las razones de Zn/(Mg/Si) no están dentro de un intervalo de 0,75 a 1,4, exhibiendo una IGC significativa y una escasa conformabilidad, y una mayor resistencia mecánica en comparación con la Aleación 3. La Aleación 5 representa aleaciones de aluminio ilustrativas en donde las razones de Mg/Si, Zn/(Mg/Si) y Cu/[Zn/(Mg/Si)] se encuentran dentro de los intervalos respectivos, exhibiendo alta resistencia mecánica, buena conformabilidad y buena resistencia a la corrosión.

Además, se produjeron aleaciones ilustrativas de acuerdo con los métodos de colada con enfriamiento directo descritos en el presente documento. Las composiciones de aleación se resumen en la Tabla 6 a continuación:

5 Tabla 6

Aleación	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
A	0,65	0,20	1,10	0,15	1,50	0,05	2,0	0,02
B	0,65	0,20	1,10	0,15	1,50	0,05	2,5	0,02
C	0,65	0,20	1,10	0,15	1,50	0,05	3,0	0,02
Todos se expresa en % en peso, el resto Al.								

Ejemplo 2: Microestructura de aleación de aluminio

Se produjeron aleaciones ilustrativas por colada con enfriamiento directo y se procesaron de acuerdo con los métodos descritos en el presente documento. Como se describió anteriormente, el contenido de Mg y Cu puede proporcionar la precipitación de una fase *M* (p. ej., $\text{MgZn}_2/\text{Mg}(\text{Zn,Cu})_2$), proporcionando precipitados que pueden aumentar la resistencia mecánica en la aleación de aluminio. La evaluación de los precipitados de la fase *M* (p. ej., MgZn_2) se realizaron en función del contenido de Mg en las aleaciones ilustrativas. La Figura 1 es un gráfico que muestra un aumento en el contenido de Mg de 1,0 % en peso a 3,0 % en peso. Como se evidencia en el gráfico, una fracción de masa de los precipitados de fase *M* (i) aumenta proporcionalmente al aumentar el contenido de Mg de 1,0 % en peso a 1,5 % en peso, (ii) permanece constante cuando el contenido de Mg aumenta de 1,5 % en peso a 2,0 % en peso, (iii) aumenta proporcionalmente al aumentar el contenido de Mg de 2,0 % en peso a 2,5 % en peso, y (iv) alcanza una meseta con un contenido de Mg superior a 2,5 % en peso. El aumento en los precipitados de fase *M* proporcionan una mayor resistencia mecánica en las aleaciones ilustrativas.

La Figura 2 es un gráfico que muestra el análisis de calorimetría diferencial de barrido (DSC) de muestras de la Aleación 3 ilustrativa descrita anteriormente (a las que se hace referencia como "H1", "H2" y "H3"). El pico exotérmico A indica la formación de precipitados en las aleaciones ilustrativas y el pico endotérmico B indica puntos de fusión para las muestras ilustrativas de la Aleación 3.

La Figura 3 es un gráfico que muestra el análisis DSC de muestras de la Aleación 5 ilustrativa descrita anteriormente (a las que se hace referencia como "H5", "H6" y "H7"). El pico exotérmico A indica precipitados de fase *M*. El pico exotérmico B indica precipitados β (Mg_2Si), que muestran la formación de los precipitados de endurecimiento durante una etapa de envejecimiento artificial y que corresponden al aumento de la resistencia mecánica de las aleaciones de aluminio ilustrativas. El pico endotérmico C indica puntos de fusión para las muestras ilustrativas de la Aleación 5.

La Figura 4A es una micrografía de microscopio electrónico de transmisión (TEM, por sus siglas en inglés) que muestra tres fases distintas de precipitado de endurecimiento, *M* (MgZn_2) 410, β (Mg_2Si) 420 y *L* ($\text{Al}_4\text{Mg}_8\text{Si}_7\text{Cu}_2$) 430. Una combinación de las tres fases de precipitados produce un límite elástico de aproximadamente 370 MPa en un temple T6 para una aleación de aluminio de calibre 10 mm (p. ej., la Aleación 5). La Figura 4B es una micrografía TEM que muestra partículas de precipitado que contienen Zr 440. El exceso de Zr en las aleaciones ilustrativas puede causar la formación de partículas gruesas en forma de aguja. Las partículas gruesas de precipitado, con forma de aguja que contienen Zr 440 pueden reducir la conformabilidad de las aleaciones ilustrativas. Del mismo modo, muy poco Zr en las aleaciones ilustrativas puede fallar para proporcionar los dispersoides de Al_3Zr y/o $(\text{Al,Si})_3\text{Zr}$ deseados.

La Figura 5 es un gráfico que muestra la densidad de cada fase de precipitado de endurecimiento distinta, *M* (MgZn_2), *L* ($\text{Al}_4\text{Mg}_8\text{Si}_7\text{Cu}_2$) y β (Mg_2Si), en número de partículas de precipitado por milímetro cuadrado ($\#/\text{mm}^2$) y como fracción del área analizada, cada fase de precipitado distinta ocupa (%) para la Aleación C (véase la Tabla 6). Los precipitados β son predominantes tanto en la densidad como en el área ocupada debido a su forma. Los precipitados *M* y *L* más pequeños ocupan menos área en consecuencia, y están presentes en densidades comparables a los precipitados β .

La Figura 6 muestra micrografías ópticas de muestras de la Aleación 3 como se describió anteriormente. Los precipitados se analizaron en muestras de colada (fila superior), muestras homogeneizadas (fila central) y muestras laminadas en caliente reducidas a un calibre de 10 mm (fila inferior). Los precipitados en fase eutéctica son evidentes en las muestras de colada. Los precipitados no se disolvieron completamente después de la homogeneización, como se muestra en la fila central de las micrografías. Los precipitados gruesos (p. ej., mayores de aproximadamente 5 micras) son evidentes en las muestras laminadas en caliente.

La Figura 7 muestra micrografías ópticas de muestras de la Aleación 3 descritas anteriormente después de la colada, homogeneización, laminado en caliente a un calibre de 10 mm y varios procedimientos de tratamiento térmico de disolución para lograr la disolución máxima de los precipitados de endurecimiento durante el

tratamiento térmico de disolución. La Figura 7, panel A muestra una muestra de la Aleación 3 solucionizada a una temperatura de 555 °C durante 45 minutos. La Figura 7, panel B muestra una muestra de la Aleación 3 solucionizada a una temperatura de 350 °C durante 45 minutos, después a una temperatura de 500 °C durante 30 minutos, y finalmente a una temperatura de 565 °C durante 30 minutos. La Figura 7, panel C muestra una muestra de la Aleación 3 solucionizada a una temperatura de 350 °C durante 45 minutos, después a una temperatura de 500 °C durante 30 minutos y finalmente a una temperatura de 565 °C durante 60 minutos. La Figura 7, panel D muestra una muestra de la Aleación 3 solucionizada a una temperatura de 560 °C durante 120 minutos. La Figura 7, panel E muestra una muestra de la Aleación 3 solucionizada a una temperatura de 500 °C durante 30 minutos, después a una temperatura de 570 °C durante 30 minutos. La Figura 7, panel F muestra una muestra de la Aleación 3 solucionizada a una temperatura de 500 °C durante 30 minutos, después a una temperatura de 570 °C durante 60 minutos.

La Figura 8 muestra micrografías ópticas de muestras de la Aleación 5 como se describió anteriormente. Los precipitados se analizaron en muestras de colada (fila superior) y muestras homogeneizadas (fila inferior). Los precipitados en fase eutéctica son evidentes en las muestras de colada. Los precipitados no se disolvieron completamente después de la homogeneización, como se observa en la fila inferior de las micrografías. La Aleación 5, sin embargo, exhibió menos precipitados no disueltos en comparación con la Aleación 3 después de la homogeneización, debido a cambios en los niveles de soluto (p. ej., los niveles de Mg, los niveles de Si y la razón Mg/Si).

La Figura 9 muestra micrografías ópticas de muestras de la Aleación 5 descritas anteriormente después del laminado en caliente a un calibre de 10 mm. La Figura 9, paneles A, B y C muestra partículas de precipitado (observadas como manchas oscuras) en las muestras de aleación ilustrativas después del laminado en caliente a un calibre de 10 mm. La Figura 9, paneles D, E y F muestra la estructura del grano después del laminado en caliente de las muestras ilustrativas de la Aleación 5 a un calibre de 10 mm. Los granos no se recrystalizaron completamente debido a una temperatura de salida baja del laminado en caliente de aproximadamente 280 °C a aproximadamente 300 °C.

La Figura 10 muestra micrografías ópticas de muestras de la Aleación 5 descritas anteriormente después del laminado en caliente a un calibre de 10 mm, tratamiento térmico de disolución y envejecimiento natural a un temple T4. La Figura 10, paneles A, B y C muestra muy pocas partículas de precipitado en las muestras de aleación ilustrativas en el temple T4. La Figura 10, paneles D, E y F muestra una estructura de granos completamente recrystalizados de las muestras ilustrativas de la Aleación 5 en el temple T4.

La Figura 11 es un gráfico que muestra las conductividades eléctricas de las muestras de la Aleación 3 después de la colada, homogeneización, laminado en caliente, diversos procedimientos de tratamiento térmico de disolución y envejecimiento artificial (AA). Los datos de conductividad eléctrica (es decir, conductividad como porcentaje del Estándar Internacional de Cobre Recocido (% IACS)) muestran grandes cantidades de precipitación después del laminado en caliente. Se evaluaron varios procedimientos de tratamiento térmico de disolución en un intento de disolver los precipitados. El tratamiento térmico de disolución no fue efectivo para disolver los precipitados. Además, hubo una formación insuficiente de precipitado de endurecimiento durante el envejecimiento artificial para proporcionar una resistencia mecánica óptima.

La Figura 12 es un gráfico que muestra las conductividades eléctricas de las muestras de la Aleación 5 (denominadas "HR5", "HR6" y "HR7") después de la colada, la homogeneización, el laminado en caliente, el tratamiento térmico de disolución y el envejecimiento artificial. Los datos de las pruebas electroquímicas muestran grandes cantidades de precipitación después del laminado en caliente. Se evaluaron varios procedimientos de tratamiento térmico de disolución en un intento de disolver el precipitado de endurecimiento. El tratamiento térmico de disolución fue efectivo para disolver los precipitados. Además, el envejecimiento artificial proporcionó una formación de precipitado de endurecimiento que proporciona una resistencia mecánica óptima.

Ejemplo 3: Propiedades mecánicas de la aleación de aluminio

La Figura 13 es un gráfico que muestra el límite elástico (histograma izquierdo en cada conjunto), la resistencia a la tracción máxima (histograma derecho en cada conjunto), el alargamiento uniforme (círculo vacío) y el alargamiento total (rombo vacío) para las Aleaciones ilustrativas A, B, y C descritas anteriormente. Las aleaciones se solucionizaron a una temperatura de 565 °C durante 45 minutos, se envejecieron previamente a una temperatura de 125 °C durante 2 horas y se envejecieron artificialmente a una temperatura de 200 °C durante 4 horas para dar como resultado un temple T6. Cada aleación exhibió un límite elástico mayor que 370 MPa, una resistencia a la tracción máxima mayor que 425 MPa, un alargamiento uniforme mayor que 10 % y un alargamiento total mayor que 17 %. El aumento del contenido de Zn no afectó significativamente a la resistencia mecánica de las aleaciones de aluminio ilustrativas, pero sí mejoró la resistencia a la corrosión intergranular y la conformabilidad.

La Figura 14A es un gráfico que muestra el límite elástico (histograma izquierdo en cada conjunto), la

resistencia máxima a la tracción (histograma derecho en cada conjunto), el alargamiento uniforme (círculo vacío) y el alargamiento total (rombo vacío) para muestras de la Aleación 3 ilustrativa en el temple T4 (denominadas "H1 T4", "H2 T4" y "H3 T4"). La Figura 14B es un gráfico que muestra el límite elástico (histograma izquierdo en cada conjunto), la resistencia a la tracción máxima (histograma derecho en cada conjunto), el alargamiento uniforme (círculo vacío) y el alargamiento total (rombo vacío) para las muestras de la Aleación 3 ilustrativa en el temple T6 (denominadas "H1 T6", "H2 T6" y "H3 T6").

La Figura 15 es un gráfico que muestra el límite elástico (histograma izquierdo en cada conjunto), la resistencia a la tracción máxima (histograma derecho en cada conjunto), el alargamiento uniforme (círculo vacío) y el alargamiento total (rombo vacío) para las muestras de la Aleación 3 ilustrativa en el temple T6 (denominadas "H1", "H2" y "H3") después de varios procedimientos de envejecimiento, como se indica en el eje x del gráfico. Como se observa en el gráfico, un procedimiento de envejecimiento en tres etapas fue capaz de producir una aleación de aluminio de alta resistencia (p. ej., 348 MPa). Como también se observa en el gráfico, el envejecimiento a bajas temperaturas (p. ej., menos de 250 °C) no fue suficiente para producir precipitados de endurecimiento en las muestras de aleación.

La Figura 16A es un gráfico que muestra el límite elástico (histograma izquierdo en cada conjunto), la resistencia a la tracción máxima (histograma derecho en cada conjunto), el alargamiento uniforme (círculo vacío) y el alargamiento total (rombo vacío) para las muestras de la Aleación 4 ilustrativa en el temple T4 (denominadas "HR1", "HR2", "HR3" y "HR4"). La Figura 16B es un gráfico que muestra el límite elástico (histograma izquierdo en cada conjunto), la resistencia a la tracción máxima (histograma derecho en cada conjunto), el alargamiento uniforme (círculo vacío) y el alargamiento total (rombo vacío) para las muestras de la Aleación 4 ilustrativa en el temple T6 después de varios procedimientos de envejecimiento (denominadas "HR1", "HR2", "HR3" y "HR4"). Como se observa en el gráfico, se logró una resistencia mecánica máxima de 360 MPa. Como también se observa en el gráfico, el envejecimiento a bajas temperaturas (p. ej., menos de 250 °C) no fue suficiente para producir precipitados de endurecimiento en las muestras de aleación.

La Figura 17A es un gráfico que muestra el límite elástico (histograma izquierdo en cada conjunto), la resistencia máxima a la tracción (histograma derecho en cada conjunto), el alargamiento uniforme (círculo vacío) y el alargamiento total (rombo vacío) para las muestras de la Aleación 5 ilustrativa en el temple T4 después de la colada, homogeneización, laminado en caliente a un calibre de 10 mm, tratamiento térmico de disolución y varias técnicas de enfriamiento rápido (denominadas "HR5", "HR6" y "HR7"). Las muestras enfriadas con aire se denominan "AC" y las muestras sometidas a enfriamiento rápido con agua se denominan "WQ" después del laminado en caliente. La Figura 17B es un gráfico que muestra el límite elástico (histograma izquierdo en cada conjunto), la resistencia a la tracción máxima (histograma derecho en cada conjunto), el alargamiento uniforme (círculo vacío) y el alargamiento total (rombo vacío) para las muestras de la Aleación 5 ilustrativa en el temple T6 después de la colada, homogeneización, laminado en caliente a un calibre de 10 mm, tratamiento térmico de disolución, diversas técnicas de enfriamiento rápido y diversos procedimientos de envejecimiento (denominadas "HR5", "HR6" y "HR7"). Las muestras enfriadas con aire se denominan "AC" y las muestras sometidas a enfriamiento rápido con agua se denominan "WQ" después del laminado en caliente. El envejecimiento artificial a un temple T6 proporcionó aleaciones de aluminio de alta resistencia con un límite elástico de aproximadamente 360 MPa a aproximadamente 370 MPa.

La Figura 18A es un gráfico que muestra el límite elástico (histograma izquierdo en cada conjunto), la resistencia máxima a la tracción (histograma derecho en cada conjunto), el alargamiento uniforme (círculo vacío) y el alargamiento total (rombo vacío) para las muestras de la Aleación 5 ilustrativa en el temple T4 (denominadas "HR5", "HR6" y "HR7") después de la colada, homogeneización, laminado en caliente a un calibre de 10 mm y tratamiento térmico de disolución. La Figura 18B es un gráfico que muestra el límite elástico (histograma izquierdo en cada conjunto), la resistencia a la tracción máxima (histograma derecho en cada conjunto), el alargamiento uniforme (círculo vacío) y el alargamiento total (rombo vacío) para las muestras de la Aleación 5 ilustrativa en el temple T6 (denominadas "HR5", "HR6" y "HR7") después de la colada, homogeneización, laminado en caliente a un calibre de 10 mm, tratamiento térmico de disolución y diversos procedimientos de envejecimiento, como se indica en el gráfico. El envejecimiento artificial a un temple T6 proporcionó aleaciones de aluminio de alta resistencia mecánica con un límite elástico de aproximadamente 360 MPa a aproximadamente 370 MPa.

La Figura 19 es un gráfico que muestra datos de desplazamiento de carga para una conformabilidad de prueba de plegamiento de 90° de muestras de la Aleación 5 ilustrativa como se describió anteriormente (denominadas "HR5", "HR6" y "HR7"). Las muestras sometidas a prueba en una dirección longitudinal a una dirección de laminación se indican con "-L", y la muestra sometida a prueba en una dirección transversal a la dirección de laminación se indica con "-T". La Aleación 5 se sometió a colada, homogeneización, laminado en caliente a un calibre de 10 mm, tratamiento térmico de disolución y envejecimiento natural durante una semana para proporcionar las muestras de la Aleación 5 en el temple T4. Las muestras se sometieron a una prueba de plegamiento de 90° y se registraron el desplazamiento de carga (eje izquierdo) y la carga máxima (eje derecho).

La Figura 20 es un gráfico que muestra datos de desplazamiento de carga para una conformabilidad de prueba

de plegamiento de 90° de muestras de la Aleación 5 ilustrativa como se describió anteriormente (denominadas "HR5", "HR6" y "HR7"). Las muestras sometidas a prueba en una dirección longitudinal con respecto a una dirección de laminación se indican con "-L", y la muestra sometida a prueba en una dirección transversal con respecto a la dirección de laminación se indican con "-T". La aleación 5 se sometió a colada, homogeneización,

- 5 laminado en caliente a un calibre de 10 mm, tratamiento térmico de disolución, pre-envejecimiento a una temperatura de 125 °C durante 2 horas (denominado "PX") y envejecimiento natural durante una semana para proporcionar muestras de la Aleación 5 en el temple T4. Las muestras se sometieron a una prueba de plegamiento de 90° y se registraron el desplazamiento de carga (eje izquierdo) y la carga máxima (eje derecho).
- 10 La Figura 21 es un gráfico que muestra datos de desplazamiento de carga para una conformabilidad de prueba de plegamiento de 90° de muestras de la Aleación 5 ilustrativa como se describió anteriormente. La muestra sometida a prueba en una dirección longitudinal con respecto a una dirección de laminación se indica con "-L" y la muestra sometida a prueba en una dirección transversal con respecto a la dirección de laminación se indica con "-T". Las muestras se sometieron a colada, homogeneización, laminado en caliente a un calibre de 10 mm,
- 15 tratamiento térmico de disolución, pre-envejecimiento a una temperatura de 125 °C durante 2 horas y envejecimiento natural durante un mes para proporcionar muestras de la Aleación 5 en el temple T4. Las muestras se sometieron a una prueba de plegamiento de 90° y se registraron el desplazamiento de carga (eje izquierdo) y la carga máxima (eje derecho). No hubo cambios significativos en la conformabilidad de una semana de envejecimiento natural a un mes de envejecimiento natural empleando pre-envejecimiento durante
- 20 la producción.

La Figura 22 muestra micrografías ópticas que muestran los efectos de las pruebas de corrosión en las aleaciones descritas anteriormente. Las aleaciones se sometieron a pruebas de corrosión de acuerdo con el estándar ISO 11846B (p. ej., inmersión de 24 horas en una solución que contiene 3,0 % en peso de cloruro de sodio (NaCl) y 1,0 % en volumen de ácido clorhídrico (HCl) en agua). La Figura 22, panel A, y la Figura 22,

25 panel B muestran los efectos de las pruebas de corrosión en la Aleación comparativa 2 descrita anteriormente. La morfología de la corrosión es un ataque de corrosión intergranular (IGC). La Figura 22, paneles C, D y E muestra los efectos de las pruebas de corrosión en la Aleación 3 ilustrativa como se describió anteriormente. La morfología de la corrosión es un ataque de picadura. Un ataque de picadura es una morfología de corrosión más deseable que causa menos daño a la aleación e indica la resistencia a la corrosión en las aleaciones

30 ilustrativas.

La Figura 23 muestra micrografías ópticas que muestran los efectos de las pruebas de corrosión en muestras de la Aleación 4 ilustrativa como se describió anteriormente. Como se observa en las micrografías hay un ataque de IGC significativo debido a la composición de la Aleación 4, en donde la razón $\text{Cu}/[\text{Zn}/(\text{Mg}/\text{Si})]$ está dentro del intervalo de 0,7 a 1,4, pero la razón $\text{Zn}/(\text{Mg}/\text{Si})$ no está dentro del intervalo de 0,75 a 1,4, lo que da como resultado un ataque de IGC significativo.

35

Las Figuras 24A, 24B y 24C son micrografías ópticas que muestran los resultados de las pruebas de corrosión en las aleaciones ilustrativas descritas anteriormente. La Figura 24A muestra el ataque de corrosión intergranular (IGC) en la aleación A. La Figura 24B muestra el ataque de corrosión intergranular en la aleación B. La Figura 24C muestra el ataque de corrosión intergranular en la aleación C. Como se observa en las Figuras 24A, 24B y 24C el aumento del contenido de Zn cambia la morfología de la corrosión de IGC a picadura, y la profundidad del ataque de corrosión disminuye de aproximadamente 150 µm (Aleación A, Figura 24A) a menos

40

45 de 100 µm (Aleación C, Figura 24C).

Se han descrito diversas realizaciones de la invención en cumplimiento de los diversos objetivos de la invención. Debe reconocerse que estas realizaciones son meramente ilustrativas de los principios de la presente invención.

50

REIVINDICACIONES

1. Una aleación de aluminio que comprende 0,25-1,3 % en peso de Si, 1,0-2,5 % en peso de Mg, 0,5-1,5 % en peso de Cu, hasta 0,2 % en peso de Fe, hasta 3,0 % en peso de Zn, hasta 0,15% en peso de Zr, hasta 0,5% en peso de Mn, hasta 0,15 % en peso de impurezas, siendo el resto Al, en donde la razón de Mg a Si (razón Mg/Si) es de 1,5 a 1 a 3,5 a 1.
2. La aleación de aluminio de la reivindicación 1, que comprende 0,55-1,1 % en peso de Si, 1,25-2,25 % en peso de Mg, 0,6-1,0 % en peso de Cu, 0,05-0,17 % en peso de Fe, 1,5-3,0 % en peso de Zn, hasta 0,15 % en peso de impurezas, siendo el resto Al.
3. La aleación de aluminio de la reivindicación 1 o 2, que comprende 0,65-1,0 % en peso de Si, 1,5-2,25 % en peso de Mg, 0,6-1,0 % en peso de Cu, 0,12-0,17 % en peso de Fe, 2,0-3,0 % en peso de Zn, hasta 0,15 % en peso de impurezas, siendo el resto Al.
4. La aleación de aluminio de una cualquiera de las reivindicaciones 1-3, que comprende Zr y en particular, en donde Zr está presente en una cantidad de 0,09-0,12 % en peso.
5. La aleación de aluminio de una cualquiera de las reivindicaciones 1-4, que comprende Mn y en particular, en donde Mn está presente en una cantidad de 0,05-0,3 % en peso.
6. La aleación de aluminio de una cualquiera de las reivindicaciones 1-5, en donde la razón Mg/Si es de 2,0 a 1 a 3,0 a 1.
7. La aleación de aluminio de la reivindicación 6, en donde la razón de Zn con respecto a la razón Mg/Si (la razón Zn/(Mg/Si)) es de 0,75 a 1 a 1,4 a 1 y en particular, en donde la razón Zn/(Mg/Si) es de 0,8 a 1 a 1,1 a 1.
8. La aleación de aluminio de la reivindicación 7, en donde la razón de Cu con respecto a la razón Zn/(Mg/Si) (la razón Cu/[Zn/(Mg/Si)]) es de 0,7 a 1 a 1,4 a 1 y en particular, en donde la razón Cu/[Zn/(Mg/Si)] es de 0,8 a 1 a 1,1 a 1.
9. Un producto de aleación de aluminio que comprende la aleación de aluminio según una cualquiera de las reivindicaciones 1-8.
10. El producto de aleación de aluminio de la reivindicación 9, en donde el producto de aleación de aluminio comprende un límite elástico de al menos 340 MPa en un temple T6 y en particular, en donde el límite elástico es de 360 MPa a 380 MPa en el Temple T6 y/o en donde el producto de aleación de aluminio comprende una profundidad de picadura de corrosión intergranular promedio de menos de 100 μm en un temple T6 y/o en donde el producto de aleación de aluminio comprende una razón r/t (plegabilidad) de 0,5 o menos en un temple T4.
11. El producto de aleación de aluminio de una cualquiera de las reivindicaciones 9 o 10, en donde el producto de aleación de aluminio comprende uno o más precipitados seleccionados del grupo que consiste en $\text{MgZn}_2/\text{Mg}(\text{Zn},\text{Cu})_2$, Mg_2Si , y $\text{Al}_4\text{Mg}_8\text{Si}_7\text{Cu}_2$.
12. El producto de aleación de aluminio de la reivindicación 11, en donde el producto de aleación de aluminio comprende $\text{MgZn}_2/\text{Mg}(\text{Zn},\text{Cu})_2$ en una cantidad promedio de al menos 300.000.000 de partículas por mm^2 el producto de aleación de aluminio comprende Mg_2Si en una cantidad promedio de al menos 600.000.000 de partículas por mm^2 y/o en donde el producto de aleación de aluminio comprende $\text{Al}_4\text{Mg}_8\text{Si}_7\text{Cu}_2$ en una cantidad promedio de al menos 600.000.000 de partículas por mm^2 .
13. El producto de aleación de aluminio de una cualquiera de las reivindicaciones 11 o 12, en donde el producto de aleación de aluminio comprende $\text{MgZn}_2/\text{Mg}(\text{Zn},\text{Cu})_2$, Mg_2Si , y $\text{Al}_4\text{Mg}_8\text{Si}_7\text{Cu}_2$.
14. El producto de aleación de aluminio de la reivindicación 13, en donde una razón de Mg_2Si con respecto a $\text{Al}_4\text{Mg}_8\text{Si}_7\text{Cu}_2$ es de 1:1 a 1,5:1 y/o en donde la razón de Mg_2Si con respecto a $\text{MgZn}_2/\text{Mg}(\text{Zn},\text{Cu})_2$ es de 1,5:1 a 3:1 y/o en donde la razón de $\text{Al}_4\text{Mg}_8\text{Si}_7\text{Cu}_2$ con respecto a $\text{MgZn}_2/\text{Mg}(\text{Zn},\text{Cu})_2$ es de 1,5:1 a 3:1.
15. Un método para producir una aleación de aluminio, que comprende:
 colar una aleación de aluminio según una cualquiera de las reivindicaciones 1-8, para formar un producto colado de aleación de aluminio;
 homogeneizar el producto colado de aleación de aluminio;

laminar en caliente para proporcionar una aleación de aluminio de calibre final; y

realizar tratamiento térmico de disolución de la aleación de aluminio de calibre final.

- 5 16. El método de la reivindicación 15, que comprende adicionalmente el pre-envejecimiento de la aleación de aluminio de calibre final y/o en donde la aleación de aluminio es colada a partir de aleación de aluminio fundida que comprende chatarra de metal y, en particular, en donde la chatarra de metal comprende una aleación de aluminio de la serie 6xxx, una aleación de aluminio de la serie 7xxx, o una combinación de estas.

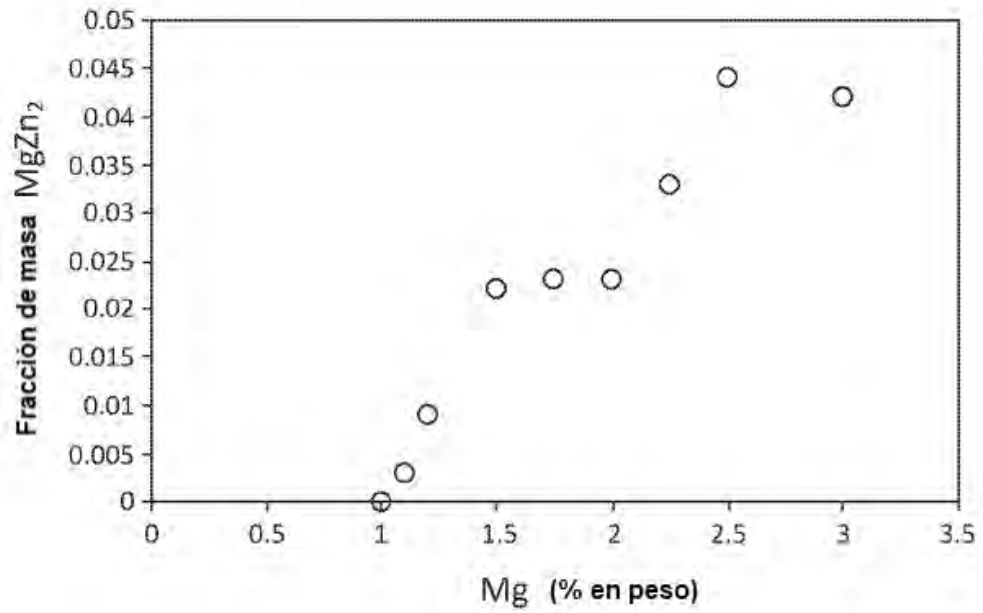


FIGURA 1

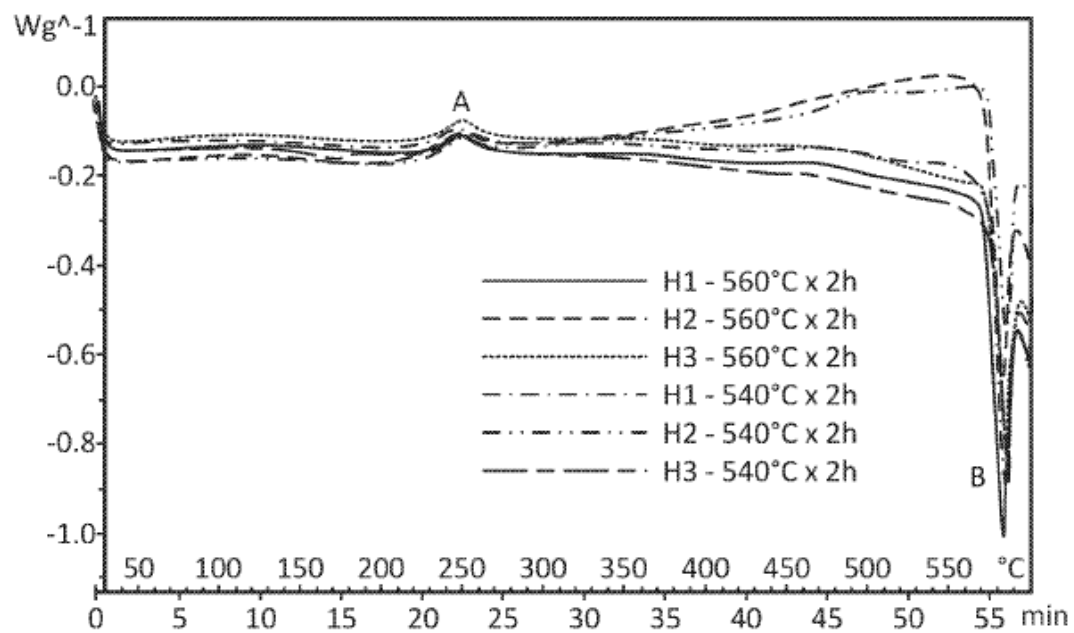


FIGURA 2

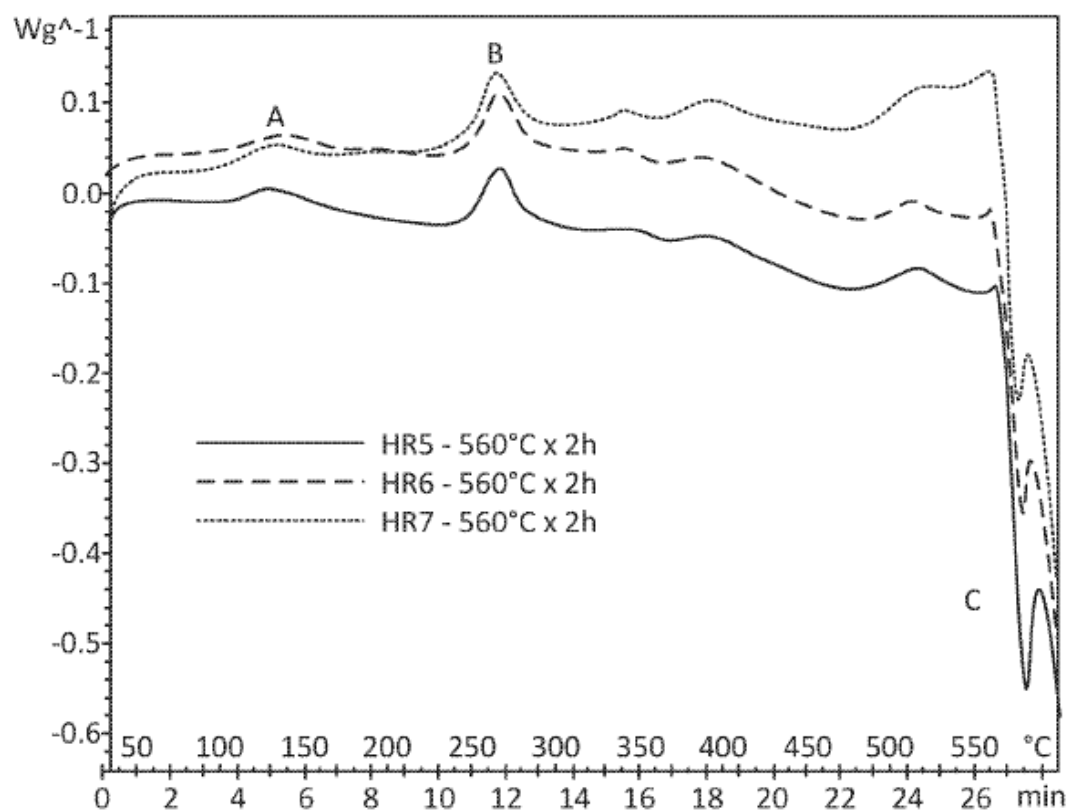


FIGURA 3

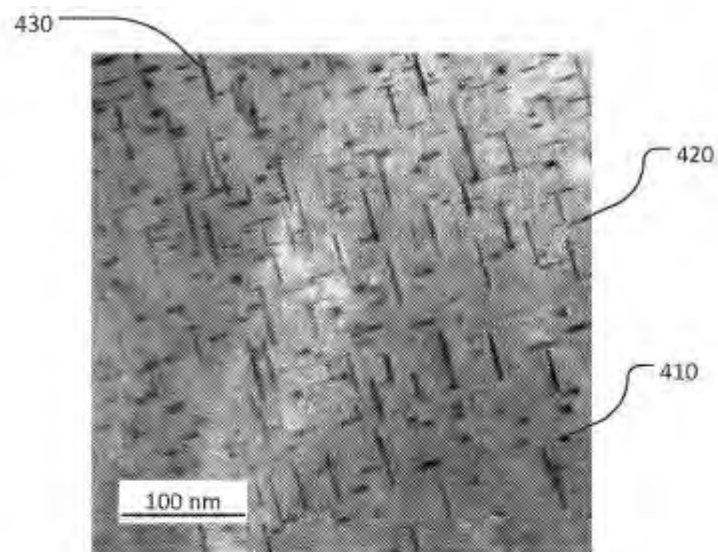


FIGURA 4A

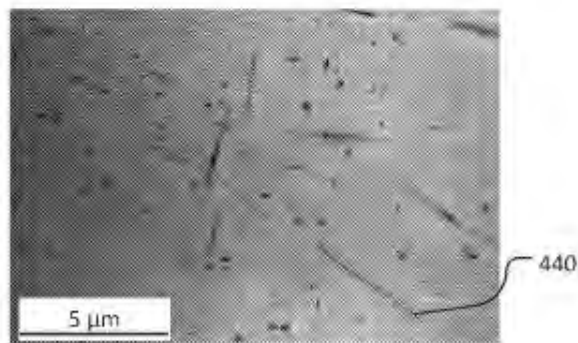


FIGURA 4B

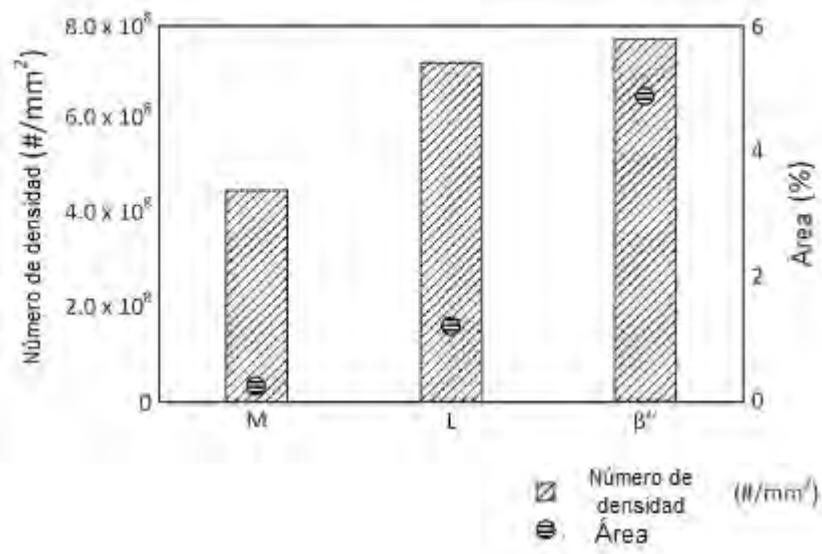


FIGURA 5

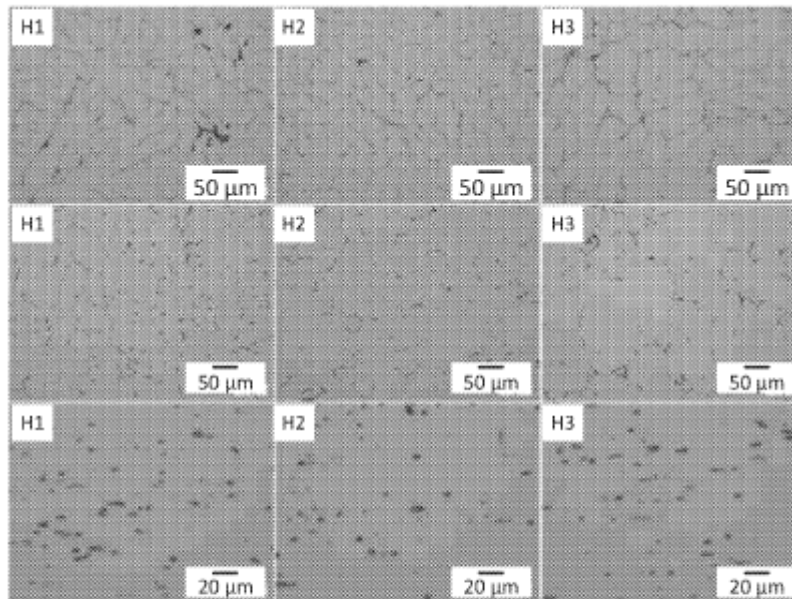


FIGURA 6

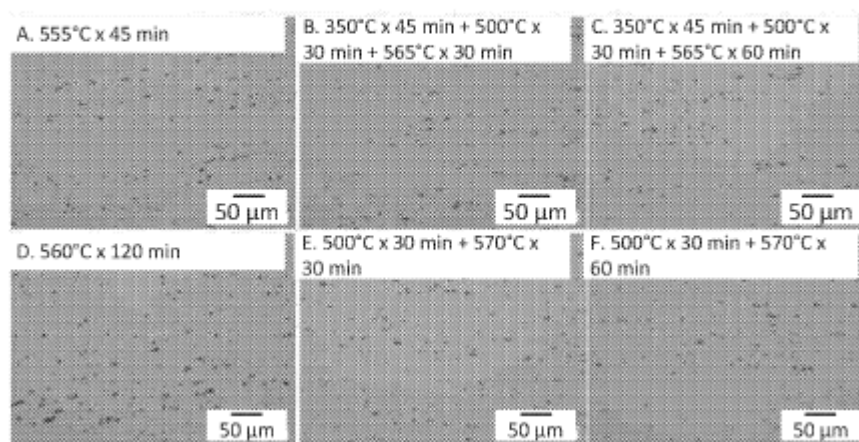


FIGURA 7

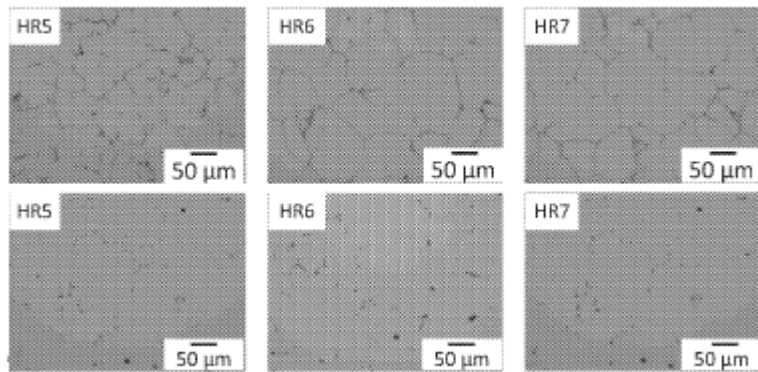


FIGURA 8

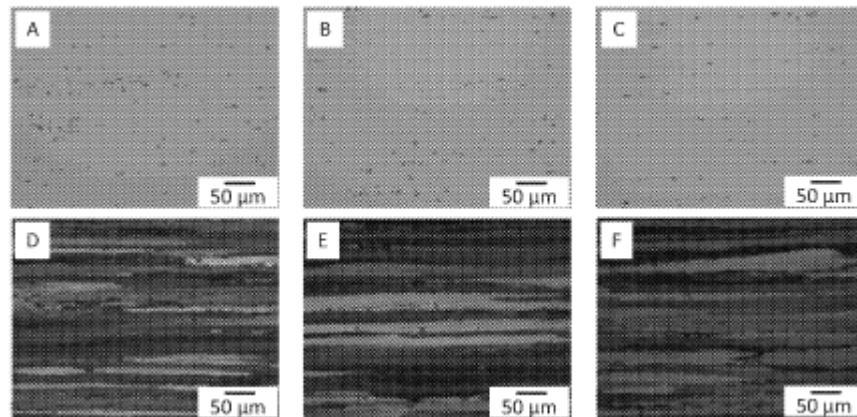


FIGURA 9

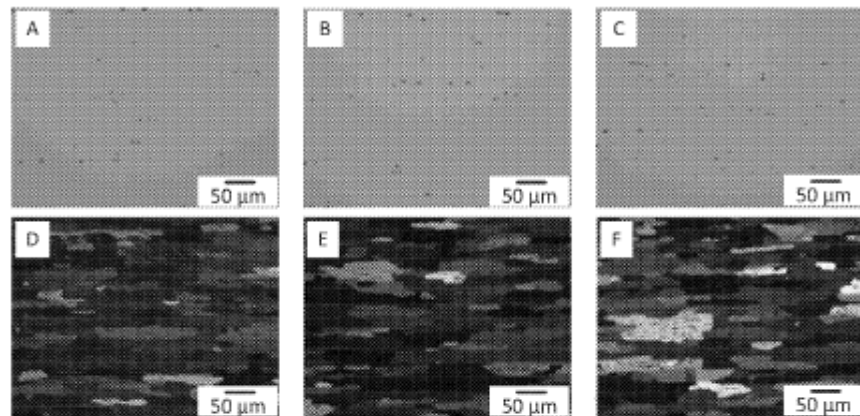


FIGURA 10

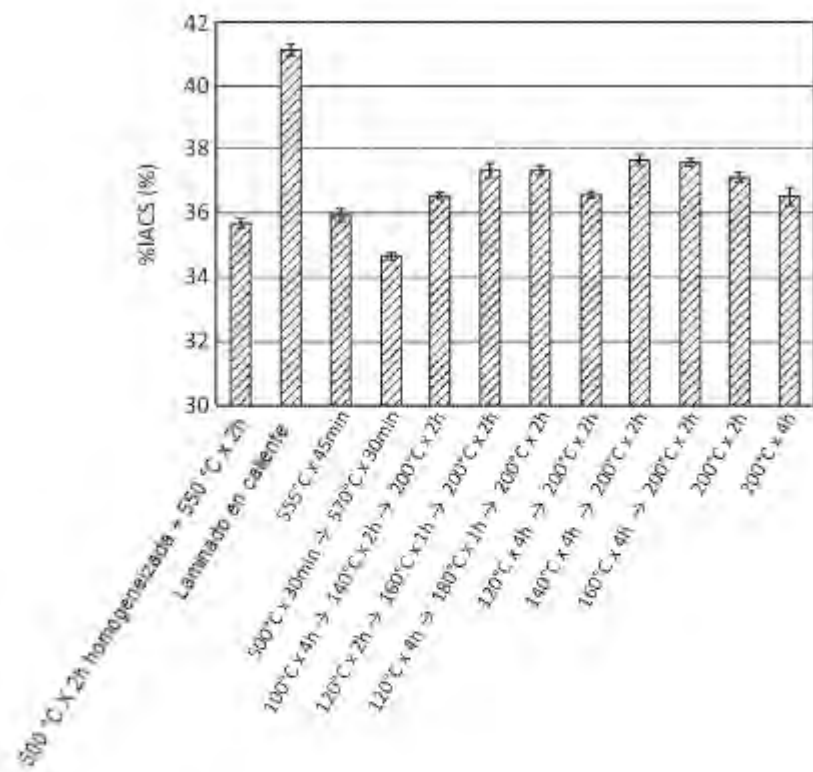


FIGURA 11

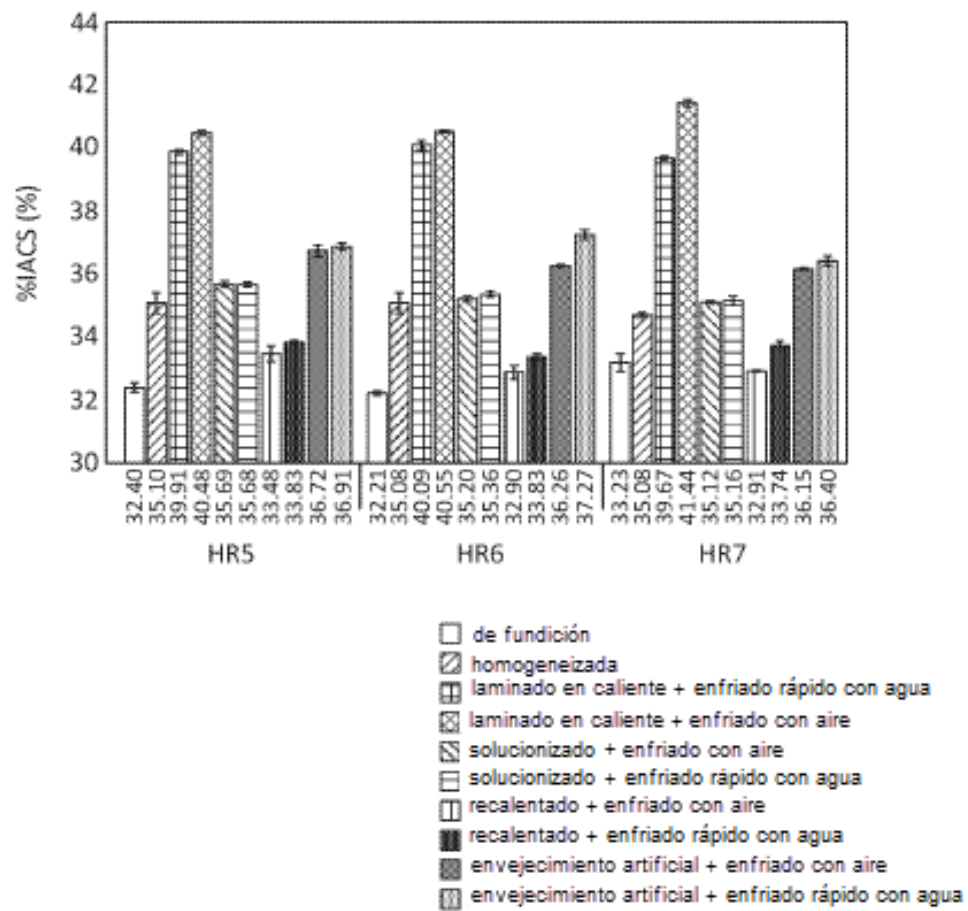


FIGURA 12

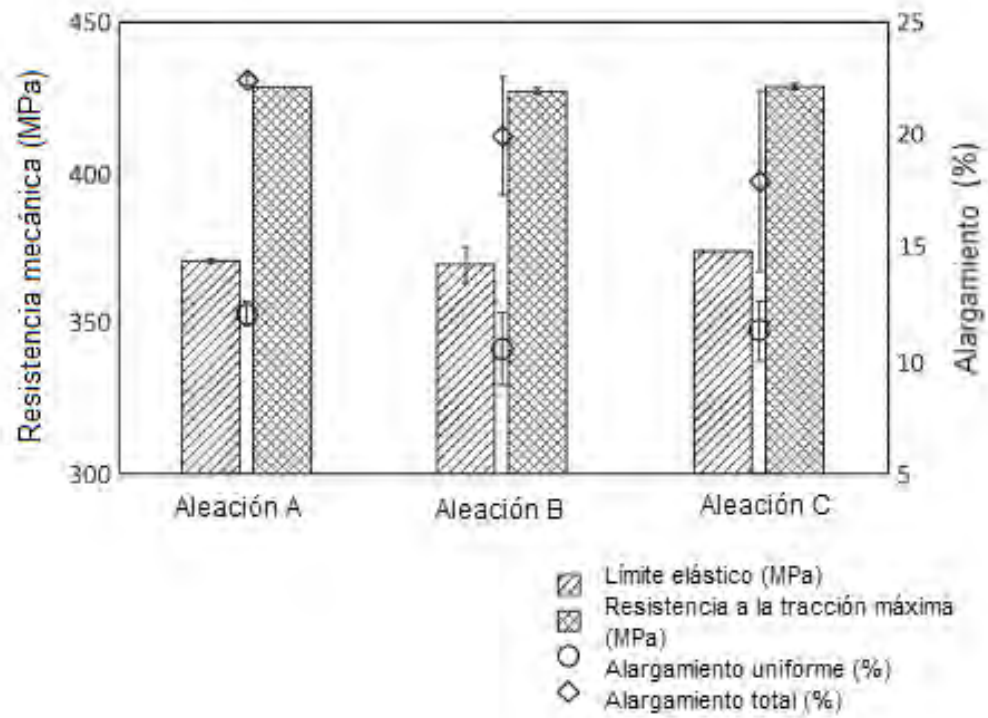


FIGURA 13

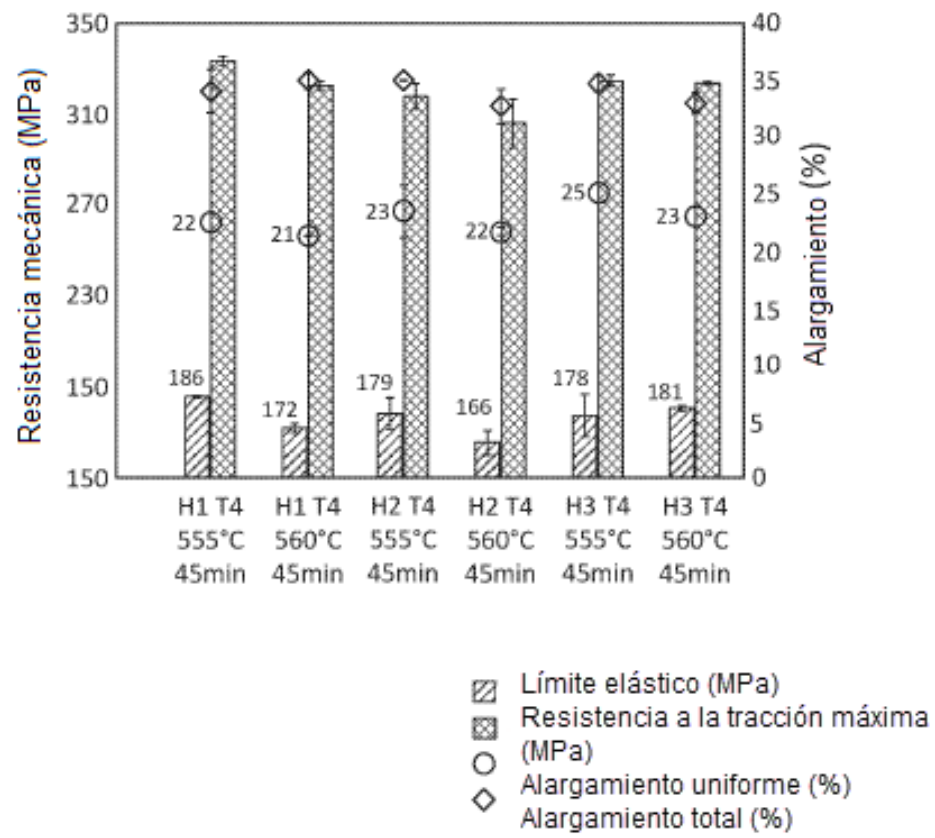


FIGURA 14A

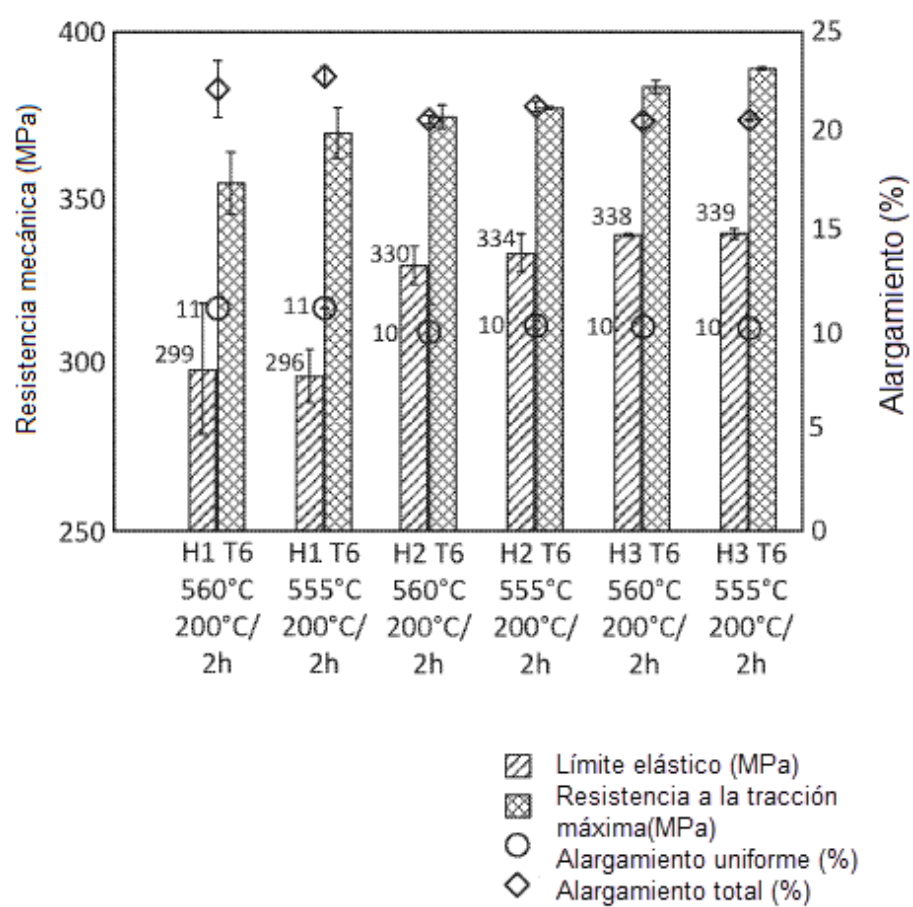


FIGURA 14B

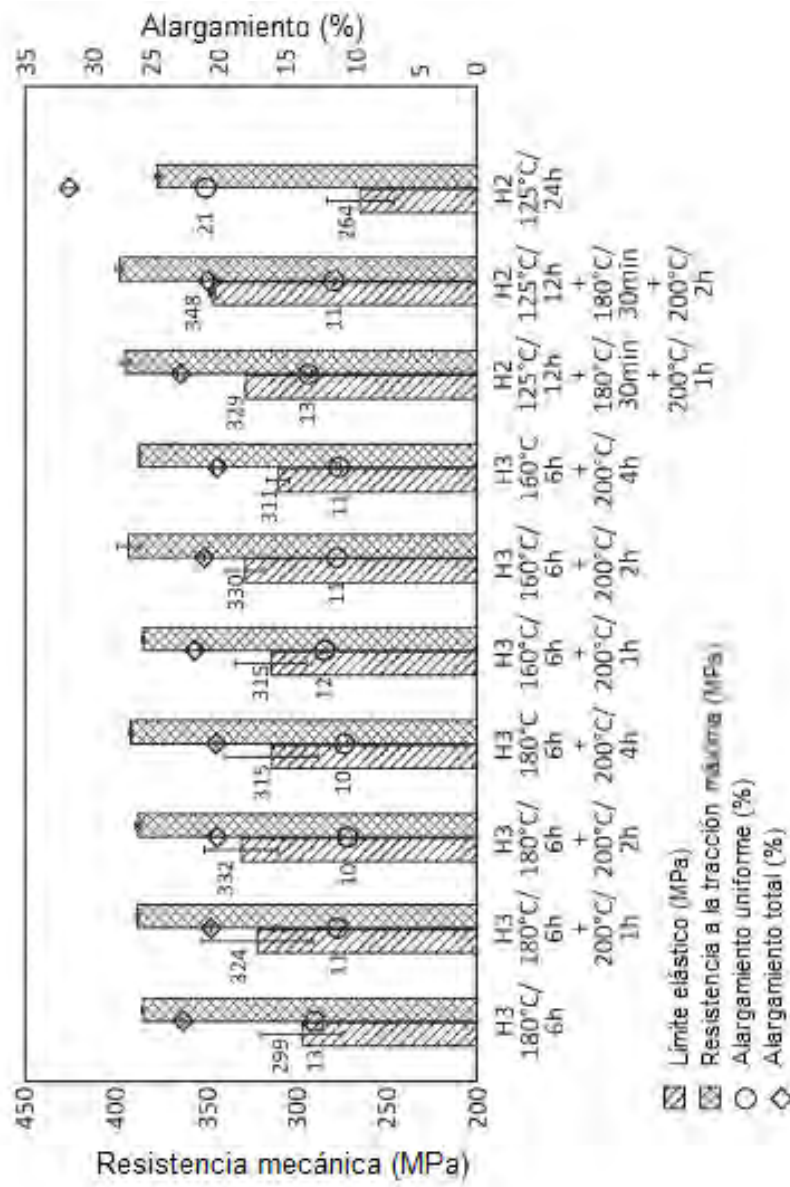


FIGURA 15

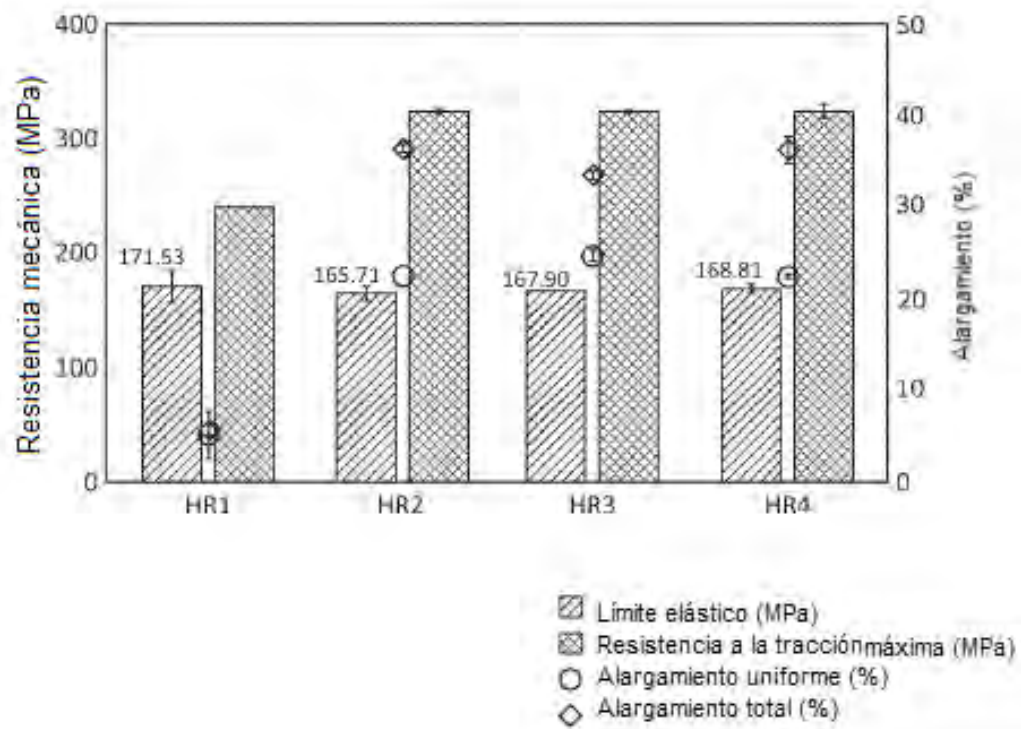


FIGURA 16A

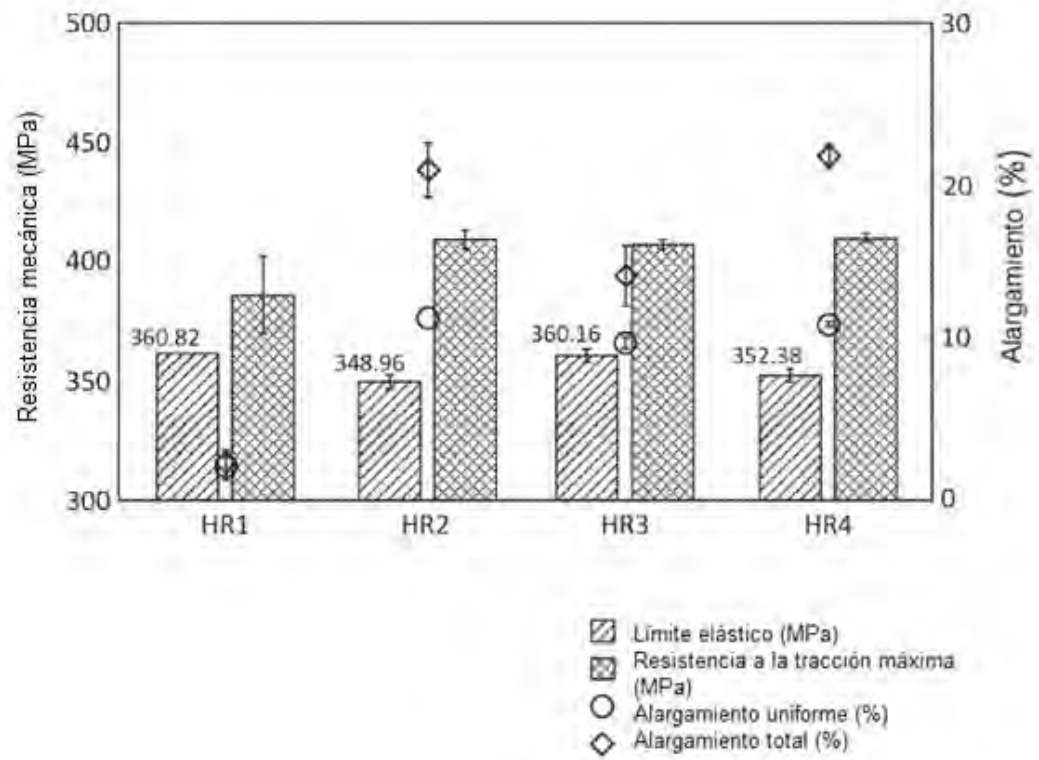


FIGURA 16B

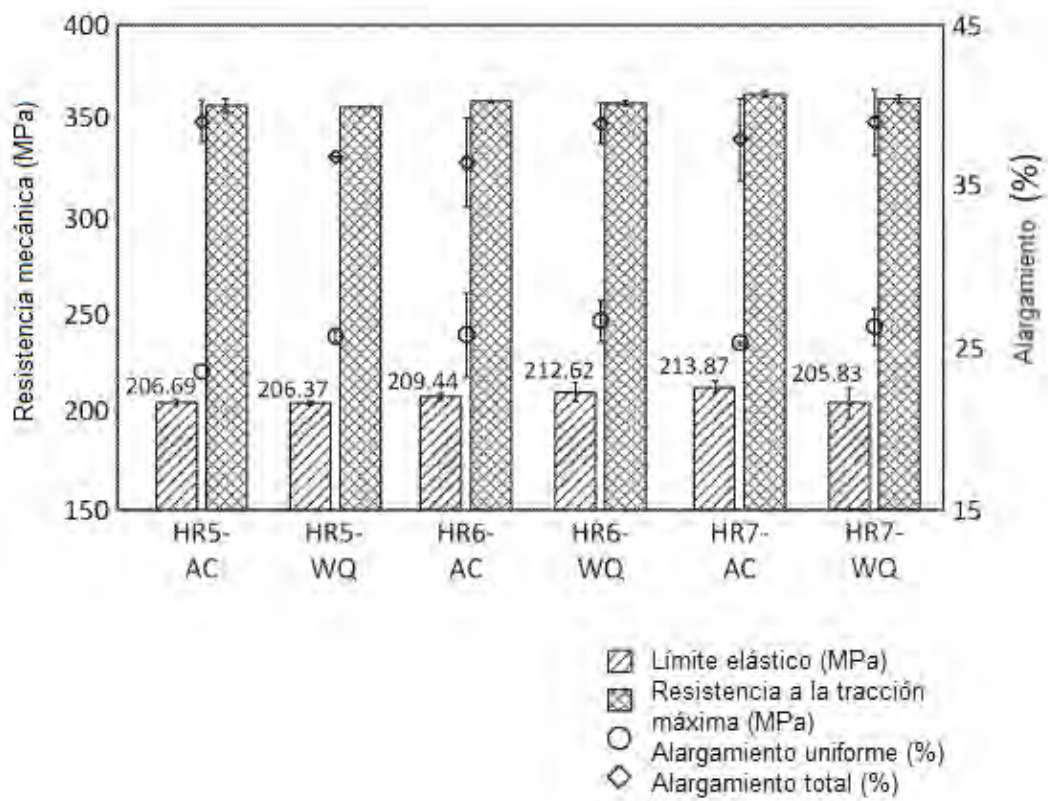


FIGURA 17A

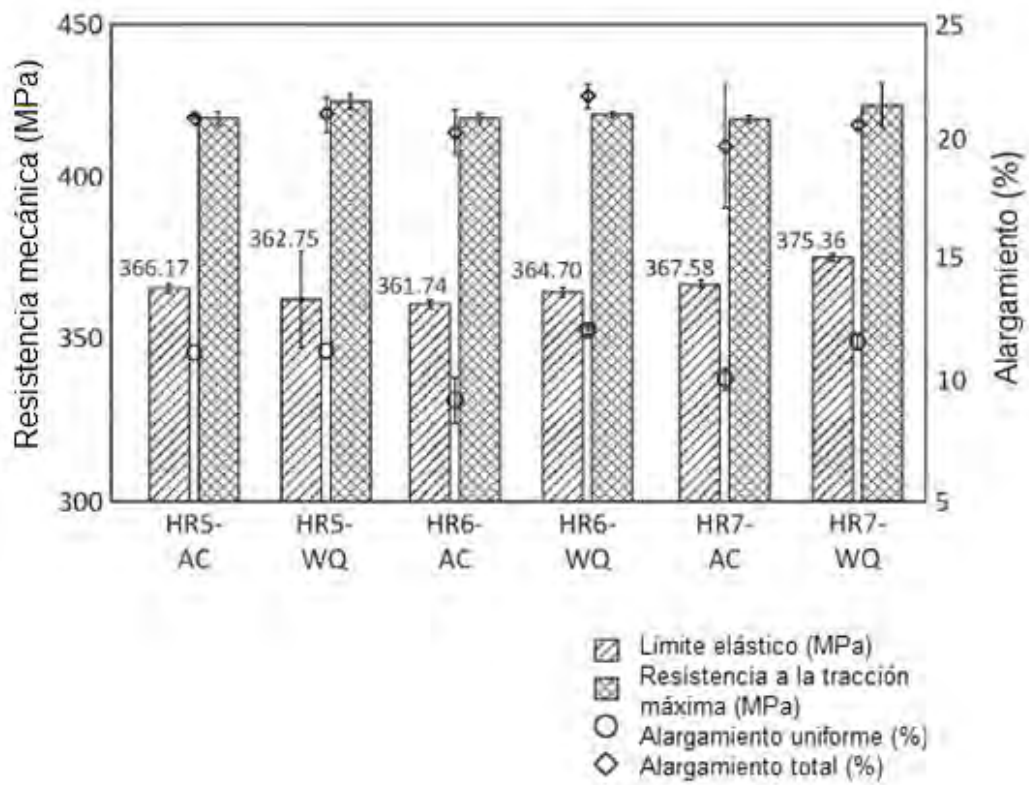


FIGURA 17B

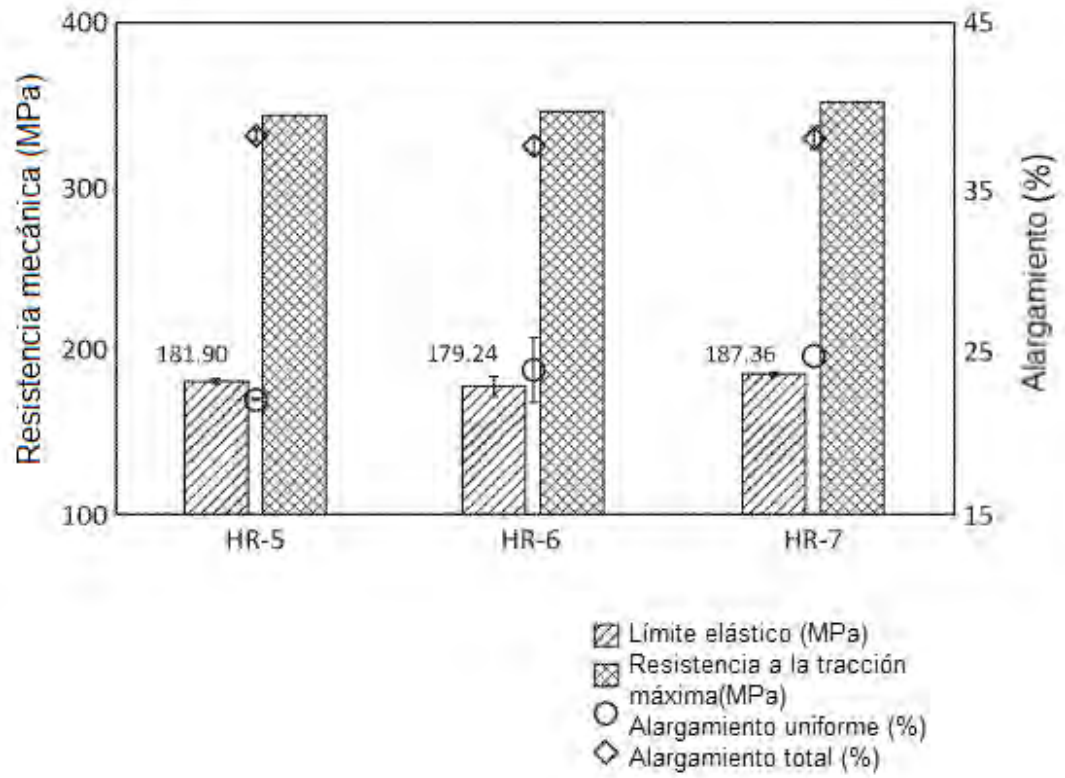


FIGURA 18A

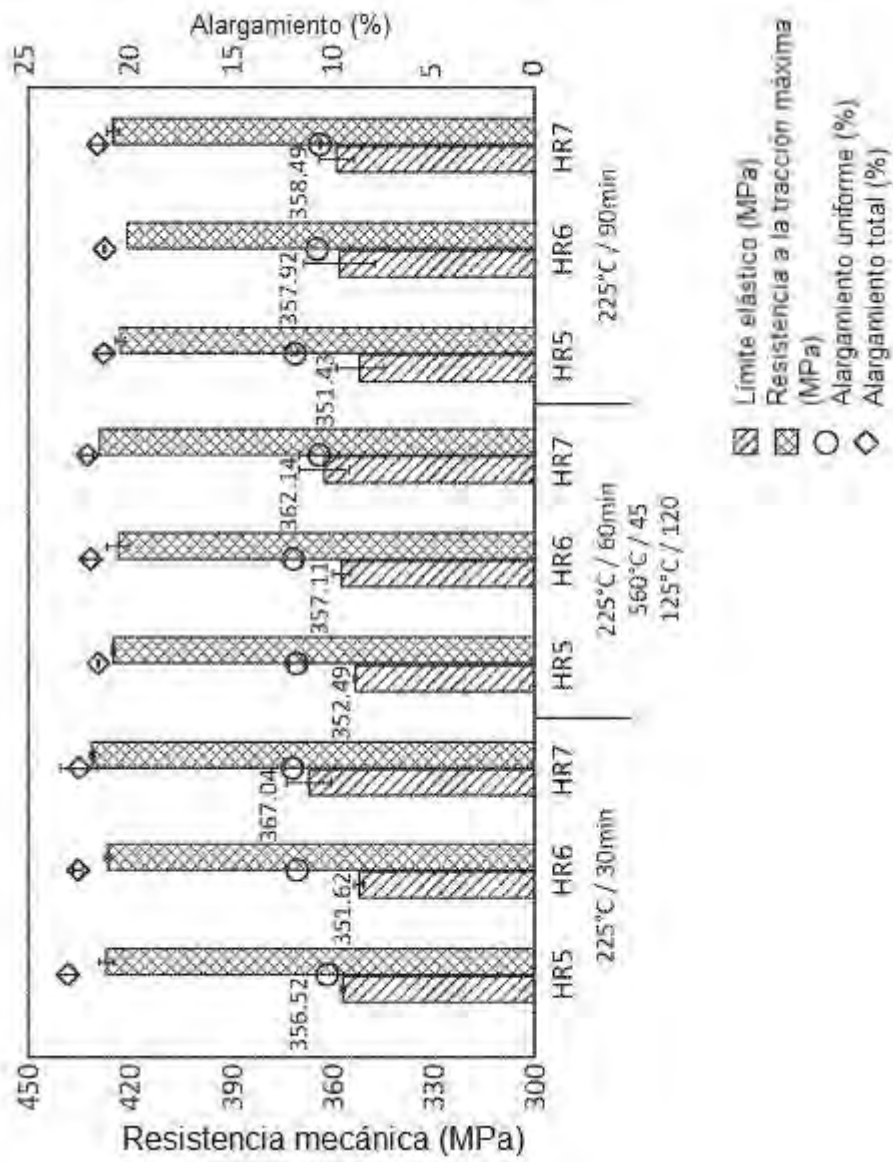


FIGURA 18B

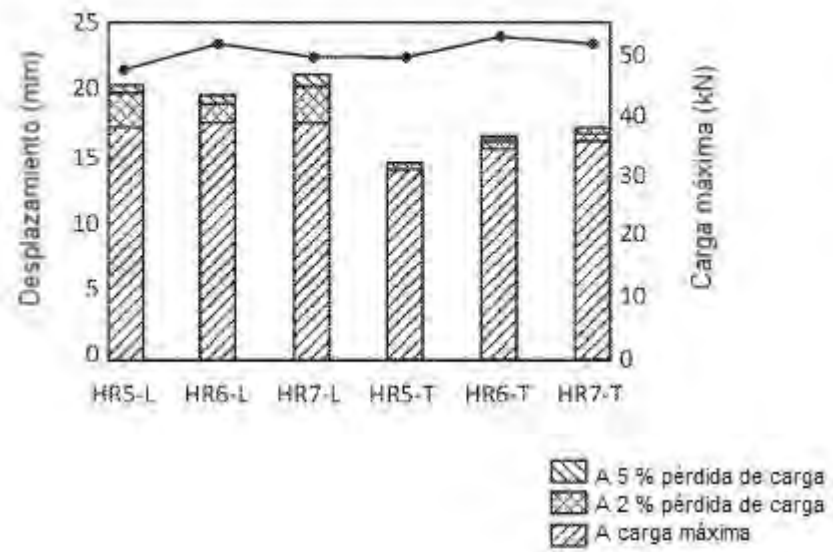


FIGURA 19

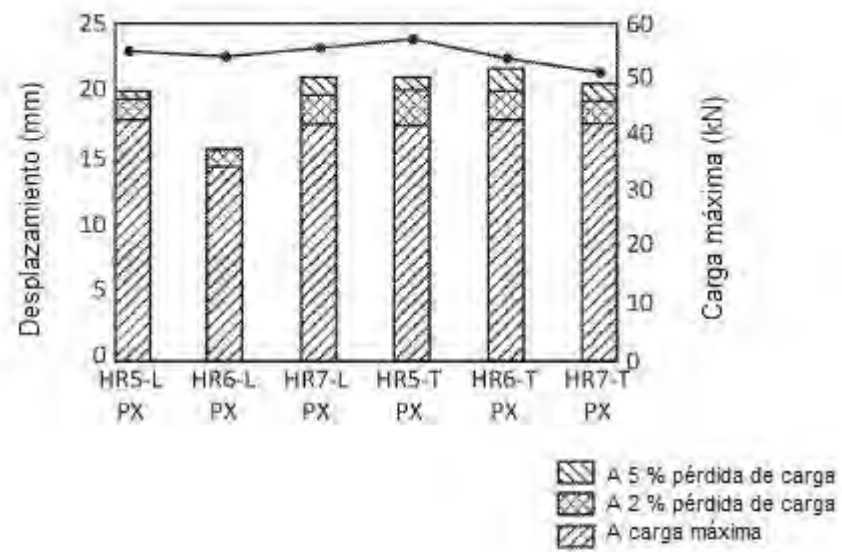


FIGURA 20

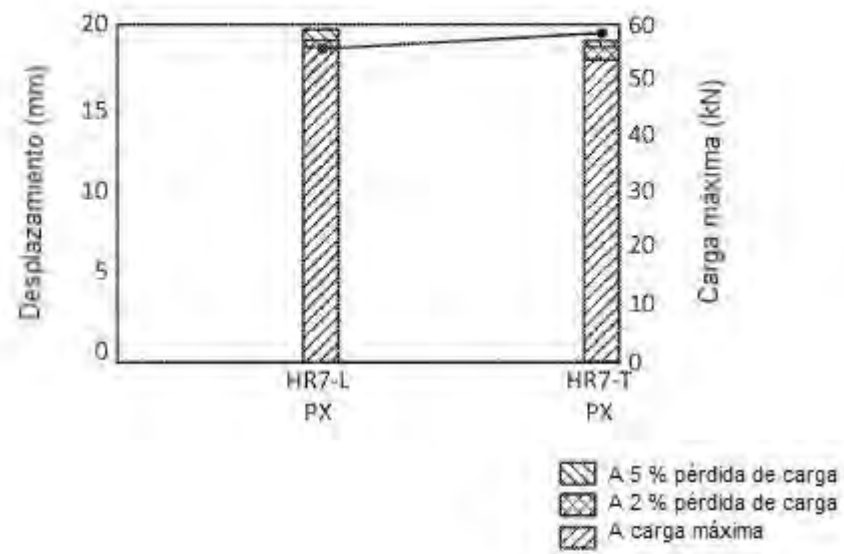


FIGURA 21

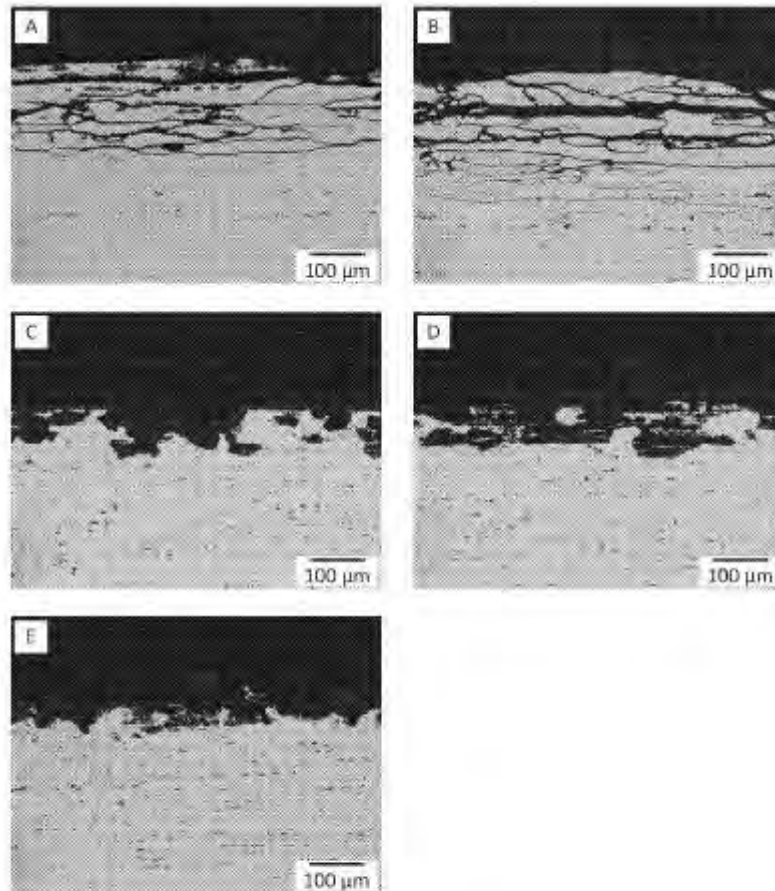


FIGURA 22

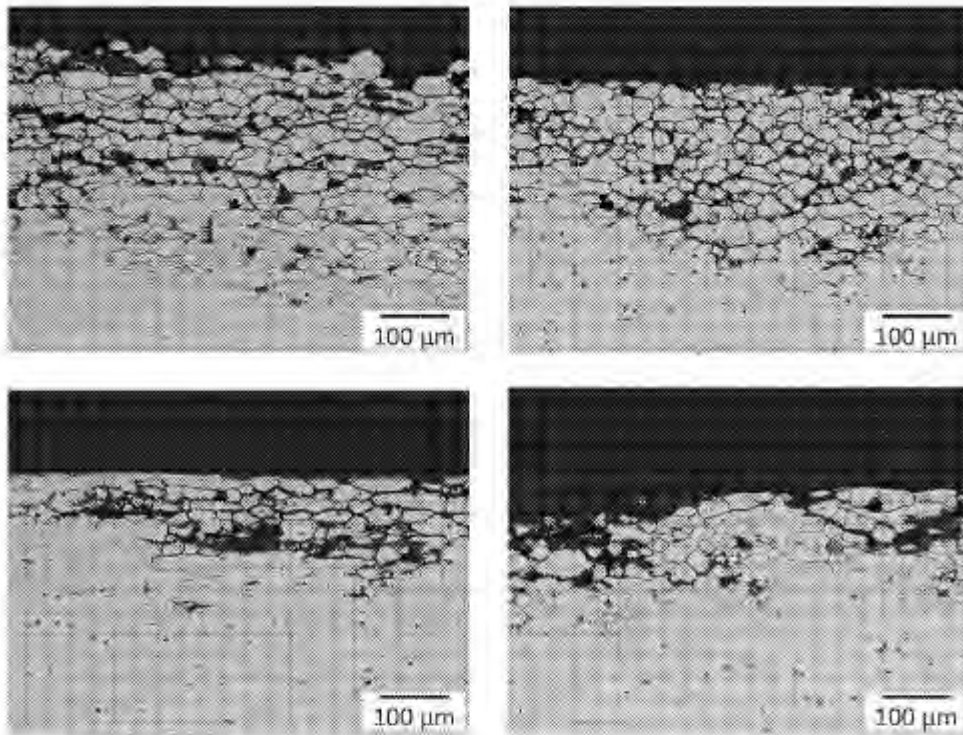


FIGURA 23

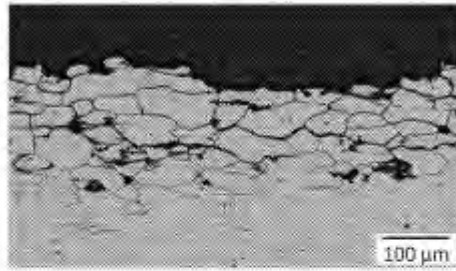


FIGURA 24A

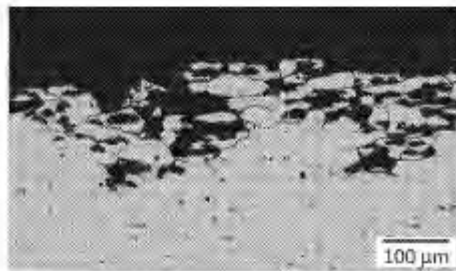


FIGURA 24B

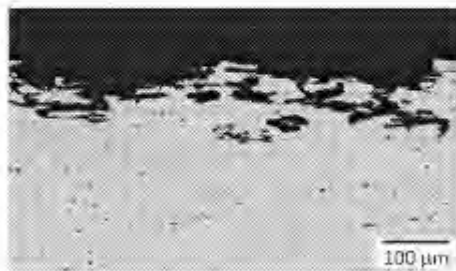


FIGURA 24C