

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 749 644**

51 Int. Cl.:

C22C 21/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **31.03.2015 PCT/CA2015/050258**

87 Fecha y número de publicación internacional: **08.10.2015 WO15149175**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.03.2015 E 15773587 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.07.2019 EP 3126536**

54 Título: **Composición de aleación de aluminio y método**

30 Prioridad:

31.03.2014 US 201461972948 P

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

23.03.2020

73 Titular/es:

**UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À CHICOUTIMI
(100.0%)
555 boulevard de l'Université
Saguenay, Québec G7H 2B1, CA**

72 Inventor/es:

**CHEN, XIAO-GUANG;
SHAKIBA, MOHAMMAD y
PARSON, NICHOLAS C.**

74 Agente/Representante:

FÚSTER OLAGUIBEL, Gustavo Nicolás

ES 2 749 644 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

Composición de aleación de aluminio y método

Referencia cruzada a solicitud relacionada

5 La presente solicitud es no provisional y reivindica prioridad con respecto a la Solicitud Provisional de Estados Unidos N°. 61/972.948, presentada el 31 de marzo de 2014.

Campo técnico

Generalmente, la invención se refiere a una composición de aleación de aluminio y métodos de fabricación y/o homogeneización que se pueden usar con la composición, y más específicamente, a una aleación de aluminio de tipo Al-Fe-Si de la serie 1XXX y métodos que incluyen homogeneización para aumentar la aptitud de extrusión.

10 Antecedentes

Con frecuencia, las aleaciones de aluminio se someten a colada para producir lingotes o tochos que finalmente se someten a laminado o extrusión para producir diversos productos de aleación de aluminio. Normalmente, se requiere un procedimiento de homogeneización para laminar o someter a extrusión, con el fin de lograr las propiedades deseadas, tales como una distribución elemental más uniforme y/o una microestructura específica. Un grupo
15 comúnmente usado de aleaciones de aluminio son las series 1XXX de las aleaciones de tipo Al-Fe-Si, que típicamente se homogeneizan a temperaturas elevadas de 580 °C y mayores. La publicación internacional WO 2013/150957 divulga una aleación de serie 1XXX que tiene excelente aptitud de extrusión y que se homogeneiza a una temperatura dentro del intervalo de 550-590 °C.

Uno de los factores principales que afectan a la productividad de extrusión de aleaciones basadas en Al-Fe-Si es la
20 tensión de flujo a temperatura elevada. Una prensa de extrusión concreta con un tonelaje concreto y un diámetro de recipiente tiene una presión específica máxima disponible para desplazar el tocho a través de la boquilla. La presión requerida para someter el tocho a extrusión es una función directa de la tensión de flujo de la aleación. Las aleaciones de aluminio se conocen por exhibir sensibilidad a la tasa de deformación. Cuanto mayor es la tasa de deformación o la velocidad de pistón, mayor es la tensión de flujo. Para una capacidad de prensa y una geometría
25 de perfil concretos, la tensión de flujo del material dicta la máxima velocidad de pistón a la cual puede operar la prensa. La velocidad de extrusión también está limitada por el perfil de temperatura de salida. Típicamente, a medida que se aproxima el sólido de aleación, el acabado superficial del producto se deteriora. Típicamente, un material con una tensión de flujo menor se puede someter a extrusión a una temperatura de tocho más baja, lo cual retarda o evita la aparición de defectos superficiales. Adicionalmente, las aleaciones con baja tensión de flujo se
30 pueden someter a extrusión a velocidades más rápidas que las aleaciones con tensión de flujo más elevada. De este modo, cuando se someten a extrusión aleaciones 1XXX u otras aleaciones de aluminio, la reducción de la tensión de flujo a temperatura elevada puede contribuir a lograr una productividad de extrusión mayor y/o mejor calidad de extrusión. Se pueden obtener beneficios similares para aleaciones usadas en otras técnicas de procesamiento, tales como el laminado.

35 Por consiguiente, existe una demanda de materiales de aleación de aluminio que tengan baja tensión de flujo a alta temperatura y métodos de producción de dichos materiales.

La presente composición y método se proporcionan para abordar los problemas comentados anteriormente y otros
40 problemas, y para proporcionar ventajas y aspectos no proporcionados por las composiciones anteriores y métodos de este tipo. Una discusión completa de las características y ventajas de la presente invención se pospone a la siguiente descripción detallada, que transcurre con referencia a los dibujos adjuntos.

Sumario breve

A continuación, se presenta un sumario general de aspectos de la invención con el fin de proporcionar una
45 comprensión básica de la invención. El presente sumario, no es una visión amplia de la invención. No se pretende identificar elementos críticos o clave de la invención o delimitar el alcance de la invención. El siguiente sumario simplemente presenta algunos conceptos de la invención de forma general como preludeo de una descripción más detallada que se proporciona a continuación.

Los aspectos de la presente divulgación hacen referencia a un método que incluye la homogeneización de una composición de aleación de aluminio que incluye, en porcentaje en peso:

hasta un 0,70 de hierro;

50 hasta un 0,30 de silicio; y

cobre, si cualquier contenido de cobre es hasta un 0,30 % o hasta un 0,05 %

- siendo el equilibrio aluminio y otros elementos presentes como impurezas inevitables, estando presentes otros elementos hasta un 0,05 por ciento en peso de cada uno y hasta un 0,15 por ciento total. La homogeneización se lleva a cabo a una temperatura de homogeneización de 520 °C a 570 °C durante 2-10 horas. La homogeneización se puede llevar a cabo durante 2-10 horas. La aleación de aluminio homogeneizada posteriormente se somete a extrusión para crear un producto sometido a extrusión, o a laminado para crear un producto laminado. La aleación puede ser una aleación de la serie 1XXX en algunos aspectos.
- De acuerdo con un aspecto, el contenido de hierro de la aleación es de un 0,20 a un 0,40 % en peso, y el contenido de silicio de la aleación es de un 0,05 a un 0,20 % en peso. En una realización, la aleación puede tener una tensión de flujo máxima tras la homogeneización de 27,5 MPa a una temperatura de 450 °C, una tasa de deformación de 1/s y una deformación de 0,8.
- De acuerdo con otro aspecto, la temperatura de homogeneización está dentro del intervalo de 540 °C a 570 °C, o puede ser de aproximadamente 550 °C en una realización.
- De acuerdo con un aspecto adicional, el método también incluye el enfriamiento de la composición de aleación de aluminio homogeneizada hasta una temperatura de 400 °C o menos a una tasa de 450 °C por hora o menos.
- De acuerdo con otro aspecto, la aleación tras la homogeneización tiene una función de fase α -AlFeSi de no más que una diferencia de un 5 % tras la homogeneización, en comparación con la aleación antes de la homogeneización. La aleación homogeneizada puede tener una fase α -AlFeSi, una fase de Al_3Fe y una fase de Al_6Fe , en una realización, y la fracción de fase de α -AlFeSi en la aleación homogeneizada puede ser de al menos un 10 %.
- De acuerdo con una realización adicional, la aleación tiene una conductividad eléctrica tras homogeneización que es al menos un 1,5 % IACS mayor que la aleación antes de la homogeneización. Los aspectos adicionales de la divulgación se refieren a un método descrito en la presente memoria, que además incluye la colada de la composición de aleación de aluminio para formar un producto de aleación de aluminio colado. El producto de aleación de aluminio colado puede estar en forma de tocho u otro producto intermedio. El producto colado puede someterse posteriormente a homogeneización como se ha descrito en la presente memoria, y opcionalmente se puede procesar de forma adicional, tal como por medio de extrusión, laminado, etc.
- Aspectos adicionales de la divulgación se refieren a una aleación de aluminio tal como se describe en la presente memoria o un producto de aleación de aluminio homogeneizado formado por tal aleación. La composición de la aleación, como se describe en la presente memoria, puede incluir, en porcentaje en peso:
- hasta un 0,70 de hierro;
 - hasta un 0,30 de silicio; y
 - cobre, si cualquier contenido de cobre es hasta un 0,30 % o hasta un 0,05 %
- siendo el equilibrio aluminio y otros elementos, estando presentes los otros elementos hasta un 0,05 por ciento en peso cada uno y hasta un 0,15 por ciento en peso total. La aleación además puede tener un contenido de hierro de un 0,20 a un 0,40 % en peso y/o un contenido de silicio de un 0,05 a un 0,20 % en peso.
- De acuerdo con un aspecto, tras la homogeneización, el producto de aleación puede tener cualesquiera de las propiedades descritas en la presente memoria, incluyendo tensión de flujo, conductividad, microestructura, etc. La homogeneización se puede llevar a cabo a 520 °C a 570 °C durante 2-10 horas en una realización.
- De acuerdo con otro aspecto, un tocho u otro producto formado por una aleación como se ha descrito anteriormente, que tenga un contenido de hierro de un 0,20 a un 0,40 % en peso y un contenido de silicio de un 0,05 a un 0,20 % en peso, y que se homogeneice a 520 °C a 570 °C, puede tener una tensión de flujo máxima de 27,5 MPa a una temperatura de 450 °C, una tasa de deformación de 1/s y una deformación de 0,8.
- Otras ventajas y características de la divulgación resultarán evidentes a partir de la siguiente descripción tomada junto con los dibujos adjuntos.
- Breve descripción de los dibujos**
- Algunas realizaciones se ilustran a modo de ejemplo, y no a modo de limitación, en las figuras de los dibujos adjuntos.
- La Figura 1 es una representación gráfica de la evolución de las fracciones en volumen de fase de intermetálicos ricos en Fe en condiciones de colada en bruto y homogeneizadas de una aleación de aluminio de acuerdo con determinadas realizaciones.
- La Figura 2 es una representación gráfica de la evolución de las fracciones en volumen de fase de intermetálicos ricos en Fe en condiciones de colada en bruto y homogeneizadas de una aleación de aluminio de acuerdo con

determinadas realizaciones.

La Figura 3 es una representación gráfica del efecto de homogeneización sobre la conductividad eléctrica de una aleación de aluminio de acuerdo con determinadas realizaciones.

5 La Figura 4 es una representación gráfica del efecto de homogeneización sobre la conductividad eléctrica de una aleación de aluminio de acuerdo con determinadas realizaciones.

La Figura 5 es una representación gráfica del efecto de homogeneización de la tensión de flujo usando una temperatura de deformación de 400 °C y una tasa de deformación de 1/s de acuerdo con determinadas realizaciones.

10 La Figura 6 es una representación gráfica del efecto de homogeneización sobre la tensión de flujo usando una temperatura de tocho de 500 °C y una tasa de deformación de 0,1/s de acuerdo con determinadas realizaciones.

La Figura 7 es una representación gráfica del efecto de homogeneización sobre la conductividad eléctrica de aleaciones de aluminio de acuerdo con determinadas realizaciones.

La Figura 8 es una representación gráfica del efecto de homogeneización sobre la tensión de flujo a una temperatura de 450 °C y una tasa de deformación de 1/s de acuerdo con determinadas realizaciones.

15 **Descripción detallada**

En general, se proporcionan composiciones de aleación de aluminio homogeneizadas (por ejemplo, 1XXX) que tienen reducido valor de tensión de flujo a temperatura elevada. También se proporcionan métodos de homogeneización de las composiciones de aleación de aluminio que dan como resultado composiciones de aleación de aluminio homogeneizadas que tienen reducido valor de tensión de flujo a temperatura elevada. También se proporcionan métodos de fabricación de productos que usan dichas aleaciones basadas en Al-Fe-Si, incluyendo la homogeneización de la aleación antes de la extrusión. Dichos métodos de fabricación pueden incluir extrusión o laminado. Los productos con conductividad térmica y eléctrica mejorada y estabilidad de fase Al-Fe-Si se detallan de forma adicional en la presente memoria.

20 En una o más realizaciones, una composición de aleación de aluminio puede comprender, consistir en o consistir esencialmente en, en porcentaje en peso:

menor o igual que un 0,70 de hierro;

menor o igual que un 0,30 de silicio; y

menor o igual que un 0,30 de cobre,

30 siendo el equilibrio aluminio y otros elementos, estando presentes los otros elementos individuales hasta un 0,05 por ciento en peso, estando presentes los otros elementos totales hasta un 0,15 por ciento en peso, y siendo el porcentaje total en peso combinado de hierro y silicio de hasta 1,00.

En diversas realizaciones, el contenido de hierro de la aleación puede ser de hasta un 0,70 % en peso o hasta un 0,40 % en peso. Adicionalmente, la aleación puede tener un contenido mínimo de hierro de un 0,05 % en peso o un 0,20 % en peso en algunas realizaciones, es decir, 0,05 – 0,70 % en peso, 0,05 – 0,40 % en peso, 0,20 – 0,40 % en peso o 0,20 – 0,70 % en peso.

En algunas realizaciones, el contenido de silicio de la aleación puede ser de hasta un 0,30 % en peso, hasta un 0,25 % en peso o hasta un 0,20 % en peso. Adicionalmente, la aleación puede tener un contenido mínimo de silicio de un 0,03 % en peso o un 0,05 % en peso en algunas realizaciones, es decir, 0,03 – 0,30 % en peso, 0,03 – 0,25 % en peso, 0,03 – 0,20 % en peso, 0,05 – 0,30 % en peso, 0,05 – 0,25 % en peso, o 0,05 – 0,20 % en peso.

40 En una o más realizaciones, el contenido de cobre de la aleación puede ser de hasta un 0,30 % en peso o hasta un 0,05 % en peso. El cobre puede estar presente en la aleación como adición intencionada, impureza controlada o impureza inevitable en diversas realizaciones. En determinadas realizaciones, la aleación puede estar libre o esencialmente libre de cobre y/o puede tener adición intencionada o no intencionada de cobre.

45 “Otros elementos” pueden estar presentes en la aleación en forma de adiciones, impurezas controladas o impurezas inevitables. En algunas realizaciones, otros elementos pueden incluir Mn, Cr, Ni, Zn, Ti, V o combinaciones de los mismos. Por ejemplo, se puede añadir Ti con fines de refinado de grano, lo que se puede lograr a través de la adición de una aleación maestra de Ti-B. En determinadas realizaciones, la aleación puede estar libre o esencialmente libre de otros elementos y/o puede presentar adición intencionada o no intencionada de otros elementos. En algunas realizaciones, otros elementos individuales pueden estar presentes, de forma individual, hasta un 0,05 por ciento en peso y el contenido total de los citados otros elementos puede ser de un 0,15 por ciento en peso.

En diversas realizaciones, la composición de aleación de aluminio es una aleación basada en Al-Fe-Si de la serie 1XXX. Las aleaciones de aluminio de la serie 1XXX incluyen, sin limitación, aleación de Asociación de Aluminio (AA) tales como AA1100, AA1235, AA1435, AA1050, AA1060 o AA1350.

5 En determinadas realizaciones, la composición de aleación de aluminio se puede someter a colada para producir un producto de aleación de aluminio bruto colado (es decir, un producto intermedio). La expresión "producto intermedio", tal y como se usa en la presente memoria, se puede referir a un lingote, tocho u otro producto semi-terminado, que se puede producir por medio de una diversidad de técnicas, incluyendo técnicas de colada tales como colada continua, semicontinua y otras.

10 En diversas realizaciones, la composición de aleación de aluminio (es decir, en forma de un producto intermedio) se homogeneiza a temperaturas de 520-570 °C. En otra realización, la temperatura de homogeneización puede ser de 540-570 °C. La inmersión de homogeneización se puede llevar a cabo durante 2-10 horas en una realización, por ejemplo, homogeneización durante aproximadamente 6 horas. Adicionalmente, la aleación se puede enfriar tras homogeneización a una tasa de 450 °C/h o menos, hasta una temperatura de 400 °C o menos, en una realización. La homogeneización se puede llevar a cabo usando diversas técnicas, tales como homogeneización continua, (es decir, un horno de homogeneización continua), homogeneización por lotes o otras técnicas.

15 La conductividad eléctrica de la aleación de aluminio puede ser indicativa del nivel de los elementos en la disolución de sólidos. Generalmente, cuanto mayor son los niveles en la disolución de sólidos, menor es la conductividad eléctrica. Como se comenta con más detalle con respecto a los Ejemplos siguientes y las Figuras 3 y 4, el uso de una menor temperatura de homogeneización tiene como resultado un aumento significativo de la conductividad, debido a la precipitación de intermetálicos. Típicamente, las temperaturas de homogeneización convencionales tienen como resultado una menor conductividad debido a la disolución de intermetálicos. En determinadas realizaciones, el producto de aleación de aluminio homogeneizado puede tener una conductividad eléctrica que sea de al menos 56,75 por ciento del Estándar Internacional de Cobre Recocido (% de IACS) o al menos un 58,5 % de IACS. Se comprende que la conductividad puede verse afectada de manera significativa por variaciones en determinados elementos (incluso en concentraciones de traza) tales como Ti y V presentes en el aluminio de materia prima usado para preparar el lote. Por consiguiente, la mayor conductividad lograda por medio del tratamiento de homogeneización descrito en la presente memoria se puede también expresar como cambio absoluto (Δ , expresado en % de IACS) o como cambio proporcional en porcentaje (es decir, Δ /(bruto-colado)). En una realización, expresado como cambio absoluto, la aleación tras homogeneización puede experimentar un aumento de al menos un 0,8 % de IACS o al menos un 1,0 % de IACS con respecto a la misma aleación tras la colada y antes de la homogeneización. En una realización, expresado en forma de cambio absoluto, la conductividad de aleación de aluminio tras homogeneización es de al menos un 1,5 % mayor que la conductividad de la misma aleación tras colada y antes de la homogeneización. En otras realizaciones, la conductividad de la aleación de aluminio tras la homogeneización es de al menos un 1,74 % mayor, al menos un 1,9 % mayor, o al menos un 2,9 % mayor que la conductividad de la misma aleación tras colada y antes de la homogeneización.

20 Las temperaturas de homogeneización menores que las comúnmente usadas en la industria (es decir, de 580 °C o más) tienen como resultado menores niveles de hierro y silicio en la disolución de sólidos. Como se comenta con más detalle con respecto a los Ejemplos siguientes y las Figuras 1 y 2, el uso de una menor temperatura de homogeneización permite que parte del silicio permanezca ligado en la fase de α -AlFeSi, al tiempo que las temperaturas de homogeneización más altas convencionales tienen como resultado mayor cantidad de silicio que penetra en la disolución y la reducción o eliminación de la fase de α -AlFeSi. Similarmente, las temperaturas de homogeneización más elevadas tienden a tener como resultado la eliminación de otras fases presentes en el producto intermedio, tal como Al_6Fe y Al_mFe . En diversas realizaciones, la aleación de aluminio homogeneizada puede tener al menos una fase α -AlFeSi, una fase de Al_3Fe y una fase de Al_6Fe . Se comprende que también pueden existir fases adicionales en la aleación homogeneizada. En una realización, la aleación de aluminio, tras la homogeneización, puede tener una fracción de fase de un 1 a un 5 % de la fase de Al_6Fe . Adicionalmente, en una realización, la aleación de aluminio, tras la homogeneización, incluye una fracción de fase de al menos un 10 % de la fase de α -AlFeSi. En otras realizaciones, la fracción de fase de α -AlFeSi en el producto de aleación de aluminio homogeneizada puede ser al menos un 15 %, al menos un 20 %, al menos un 30 %, al menos un 40 % o al menos un 50 %. Adicionalmente, en una realización, no hay más que un 5 % de diferencia entre la fracción de fase de α -AlFeSi presente en la composición de aleación de aluminio colada en bruto y la cantidad de fase de α -AlFeSi presente en la misma aleación tras la homogeneización. En otras realizaciones, esta diferencia puede no ser mayor que un 3 %.

25 Como se comenta con más detalle a continuación con respecto a los Ejemplos siguientes y las Figuras 5, 6 y 8, sorprendente e inesperadamente, el proceso de homogeneización de temperatura baja detallado en la presente memoria reduce la tensión de flujo a baja temperatura de muchas aleaciones comunes de la serie 1XXX (Al-Fe-Si), proporciona mejor velocidad de extrusión de la aleación y mejora considerablemente la productividad de extrusión y laminado. Por ejemplo, en una realización, una aleación que tiene una composición como se ha descrito anteriormente, que incluye un 0,20-0,40 % en peso de Fe y un 0,05-0,20 % en peso de Si, y un tratamiento de homogeneización como se ha descrito anteriormente puede tener una tensión de flujo que es menor o igual que 27,5 MPa, medida a una temperatura de 450 °C, a una tasa de deformación de 1/s y una deformación de 0,8. En

otra realización, esta tensión de flujo puede ser menor o igual que 26,8 MPa. Además, la reducción de la temperatura de homogeneización puede reducir los costes energéticos y los tiempos de procesado asociados a la fabricación de productos de aleación de aluminio, incluyendo la energía y el tiempo necesarios para la homogeneización. Sin pretender quedar ligado a teoría alguna, el uso de temperaturas de homogeneización menores que las que se usan comúnmente en la industria, tiene como resultado menores niveles de hierro y silicio en la disolución de sólidos, debido a mayores fracciones en volumen de las fases de Al-Fe y AlFeSi, lo cual reduce significativamente la tensión de flujo a temperatura elevada.

La composición de aluminio homogeneizada se conforma para dar lugar a un artículo de fabricación por medio de extrusión. Como se ha descrito anteriormente, la aleación se puede proporcionar en forma de producto intermedio (por ejemplo, un lingote o tocho) para su uso en dichos procesos de conformación. Por ejemplo, se puede producir un producto de aleación de aluminio sometido a extrusión (por ejemplo, formación de tubo de pared fina) mediante extrusión de la aleación de aluminio homogeneizada para formar el producto de aleación de aluminio sometido a extrusión. Una temperatura típica de extrusión puede ser de 400-500 °C, en una realización. A modo de otro ejemplo, se puede producir un producto de aleación de aluminio laminado mediante laminado de la aleación de aluminio homogeneizada para formar el producto de aleación de aluminio laminado. En algunas realizaciones, el producto de aleación de aluminio laminado se puede procesar de forma adicional para modificar la forma, el tamaño o la forma del producto. Por ejemplo, el producto de aleación de aluminio formado se puede cortar, someter a maquinizado, conectar con otros componentes, etc.

Ejemplo 1

Las aleaciones de la Tabla 1 se colaron en el interior de un molde permanente de acero de dimensiones 30 x 40 x 80 mm. Se sometieron a refinado de grano por medio de la adición de un 0,015 % en peso de Ti en forma de aleación maestra Al-5Ti-1B. Se homogeneizaron los lingotes a temperaturas de 550, 590 y 630 °C, durante 2, 6 y 12 horas. Las muestras se inactivaron en agua tras el concluir la inmersión.

Tabla 1

Composiciones de aleación (% en peso)									
Aleación	Fe	Si	Cu	Mn	Cr	Ni	Zn	Ti	V
A	0,31	0,11	< ,01	< ,01	< ,01	< ,01	< ,01	0,024	,01
B	0,31	0,26	< ,01	< ,01	< ,01	< ,01	< ,01	0,024	,01

Se evaluaron las microestructuras homogeneizadas y coladas por medio de microscopía electrónica de barrido y microscopía óptica. Se caracterizaron los tipos de fases constitutivas ricas en hierro usando una técnica EBSD (difracción con retrodispersión de electrones). Se usaron los patrones de difracción con retrodispersión de electrones para identificar de forma única las fases basadas en los datos cristalográficos publicados usando un software disponible a nivel comercial. Se examinaron un total de 12 campos con dimensiones de 150 x 150 micrómetros y en todos se identificaron intermetálicos ricos en hierro. Posteriormente, se midió la fracción en volumen de cada fase por medio de análisis de imágenes y se calculó la fracción de fase para cada fase individual dividiendo la fracción en volumen de cada fase individual entre la fracción en volumen total de intermetálicos ricos en hierro. La conductividad eléctrica de cada aleación/condición de homogeneización se midió por medio de una técnica real de remolino. Se midió la tensión de flujo por medio de compresión uniaxial en caliente usando una unidad Gleele 3800, con un tamaño de muestra de 10 mm de diámetro x 15 mm de altura. Se llevaron a cabo los ensayos a temperaturas de 400 y 500 °C y tasas de deformación de 0,01 y 1/s. Se usaron los valores de tensión de flujo a una deformación de 0,8 para comparar los diferentes tratamientos.

La Figura 1 ilustra la evolución de los diversos tipos de fase de Al-Fe-Si a partir de la condición de colada en bruto de la Aleación A con temperatura de homogeneización creciente. La Figura 2 ilustra la evolución de los diversos tipos de fase de Al-Fe-Si a partir de la condición de colada en bruto de la Aleación B con temperatura de homogeneización creciente. En la condición de colada en bruto, ambas aleaciones sometidas a ensayo tuvieron una mezcla de cuatro tipos de fase: α -AlFeSi, Al₆Fe, Al₃Fe y Al_mFe. La homogeneización a 550 °C tuvo como resultado la transformación de la fase de Al_mFe hasta Al₃Fe de equilibrio en ambas aleaciones. No obstante, α -AlFeSi y Al₆Fe permanecieron estables con homogeneización a 550 °C en ambas aleaciones. El aumento de la temperatura de homogeneización hasta 590 °C tuvo como resultado la transformación completa en Al₃Fe para la Aleación A. En el caso de la Aleación B, la pequeña cantidad de Al₆Fe se transformó en Al₃Fe, mientras que α -AlFeSi permaneció estable a una temperatura de homogeneización de 590 °C. Tuvo lugar la transformación casi completa de la fase de α -AlFeSi cuando se aplicó una temperatura de 630 °C a la Aleación B; no obstante quedó un pequeño porcentaje de fase de α -AlFeSi tras una inmersión de 6 horas a 630 °C. Por tanto, para ambas aleaciones, el uso de una temperatura de homogeneización menor tuvo como resultado una fase de α -AlFeSi estable, de manera que parte del silicio quedó unido en la fase α -AlFeSi, mientras que temperaturas de homogeneización más elevadas tuvieron

como resultado la entrada de más silicio estable en la disolución de sólidos.

Las Figuras 3 y 4 muestran valores de conductividad obtenidos para las Aleaciones A y B, respectivamente, homogeneizadas a temperaturas de 550, 590 y 630 °C, durante 2, 6 y 12 horas. La conductividad refleja los niveles de elementos en la disolución de sólidos, como se ha descrito con anterioridad. Adicionalmente, los niveles de conductividad medidos para ambas aleaciones para todas las condiciones de homogeneización se listan en las Tablas 2 y 3 siguientes, junto con el cambio (Δ) y el porcentaje de cambio ($\% \Delta$) procedente de la misma aleación colada en bruto.

Tabla 2

Conductividad para la Aleación A										
Tiempo de inmersión	Conductividad eléctrica				$\% \Delta$ vs colada en bruto			Δ vs colada en bruto		
	h	% IACS	% IACS	% IACS	% IACS	%	%	%	% IACS	% IACS
	Colada en bruto	550 °C	590 °C	630 °C	550 °C	590 °C	630 °C	550 °C	590 °C	630 °C
0	57,73	-	-	-						
2	-	59,01	58,33	57,8	2,22	1,04	0,12	1,28	0,6	0,07
6	-	58,96	58,5	57,81	2,13	1,33	0,14	1,23	0,77	0,08
12	-	58,83	58,44	57,62	1,91	1,23	-0,19	1,1	0,71	-0,11

10

Tabla 3

Conductividad para la Aleación B										
Tiempo de inmersión	Conductividad eléctrica				$\% \Delta$ vs colada en bruto			Δ vs colada en bruto		
	h	% IACS	% IACS	% IACS	% IACS	% IACS	% IACS	% IACS	% IACS	% IACS
	Colada en bruto	550 °C	590 °C	630 °C	550 °C	590 °C	630 °C	550 °C	590 °C	630 °C
0	55,75	-	-	-						
2	-	56,72	56,39	55,98	1,74	1,15	0,41	0,97	0,64	0,23
6	-	56,87	56,72	55,67	2,01	1,74	-0,14	1,12	0,97	-0,08
12	-	56,98	56,71	55,49	2,21	1,72	-0,47	1,23	0,96	-0,26

Con ambas aleaciones, la homogeneización del lingote colado en bruto a 550 °C produjo un aumento significativo de la conductividad, que fue mayor que el cambio para cualesquiera otras temperaturas de homogeneización. Como se ha presentado anteriormente, toda aleación homogeneizada a 550 °C experimentó un aumento proporcional de la conductividad de al menos un 1,74 % con respecto a la aleación colada en bruto, y ninguna de las aleaciones homogeneizadas a 590 °C o 630 °C experimentó un aumento proporcional de conductividad mayor que un 1,74 %. Dicho aumento de conductividad indica que los elevados niveles iniciales de Si y Fe sobresaturados en la disolución de sólidos (es decir, debido a las elevadas tasas de congelación durante la solidificación) se reducen por medio de la precipitación de intermetálicos. El aumento de la temperatura de homogeneización hasta 590 °C y posteriormente hasta 630 °C disminuyó progresivamente la conductividad. Dicha disminución de conductividad indica la disolución de los intermetálicos debida al aumento de la solubilidad de sólidos a temperatura elevada y la transformación de α -AlFeSi en Al₃Fe. En comparación con la Aleación A, los valores de conductividad para la Aleación B fueron siempre más bajos debido a los correspondientes niveles más elevados de silicio en la disolución de sólidos para una condición concreta.

15

20

25

30

Los resultados ilustrados en las Figuras 5 y 6 abarcan los exámenes de tensión de flujo y tasa de deformación sometidos a ensayo, que reflejan las condiciones industriales potenciales. La Figura 5 compara la tensión de flujo de las Aleaciones A y B tras la homogeneización durante seis horas a 550, 590 y 630 °C para la aleación colada en bruto usando una temperatura de deformación de 400 °C y una tasa de deformación de 1/s. La Figura 6 compara la tensión de flujo de estas aleaciones tras la homogeneización durante seis horas a 550, 590 y 630 °C para la aleación colada en bruto usando una temperatura de lingote de 500 °C y una tasa de deformación de 0,1/s. En ambas Figuras 5 y 6, la homogeneización a 550 °C redujo significativamente la tensión de flujo colada en bruto para ambas

5 aleaciones. Posteriormente, la tensión de flujo aumentó progresivamente con una temperatura de homogeneización más elevada, hasta que se aproximó a los valores iniciales de colada en bruto a 630 °C. Esto quedó reflejado de forma similar en las conductividades conocidas en las Figuras 3 y 4, en las que la conductividad disminuyó para aproximarse a los valores de colada en bruto tras la homogeneización a 630 °C. Un aumento de la temperatura de homogeneización a partir de 550 hasta 630 °C aumentó la tensión de flujo hasta un 23 y un 45 % para las Aleaciones A y B, respectivamente. Estas tendencias son coherentes con los resultados de conductividad/disolución de sólidos comentados anteriormente, e indican que la tensión de flujo se controla por medio de los niveles de Fe y Si en la disolución de sólidos debido a los efectos de transformación de fase y solubilidad de sólidos.

10 La Tabla 4 resumen los resultados en términos de reducción de la tensión de flujo tras homogeneización con respecto a la condición de colada en bruto. A lo largo de un intervalo de condiciones de deformación, la homogeneización a 550 °C redujo la tensión de flujo de la Aleación A en un 12-22 %. Al contrario, una reducción de tensión de flujo de un 8-13 % tuvo como resultado un tratamiento de homogeneización a 590 °C más convencional. La reducción de tensión de flujo para la Aleación B fue de un 10-16 % para el tratamiento de homogeneización a 550 °C y de un 5-9 % para la práctica de homogeneización a 590 °C. La homogeneización a 630 °C tuvo como resultado reducciones de tensión de flujo de un 3-4 % para la Aleación A y un aumento de la tensión de flujo de un 3-4 % para la Aleación B, con respecto a las condiciones de colada en bruto.

Tabla 4

Resultados de tensión de flujo								
Tratamiento	Aleación A				Aleación B			
	σ 400 °C - 1/s	Δ %	σ 500 °C - 0,01/s	Δ %	σ 400 °C - 1/s	Δ %	σ 500 °C - 0,01/s	Δ %
Colada en bruto	45,12	..	21,75	..	45,26	..	22,71	..
550 °C/6h	35,05	22,32	19,16	11,91	38,08	15,86	20,51	9,69
590 °C/6h	39,31	12,88	20,07	7,72	41,32	8,71	21,65	4,67
630 °C/6h	43,26	4,12	21,16	2,71	46,98	-3,80	23,47	-3,35

Ejemplo 2

20 Las aleaciones de la Tabla 5 se colaron DC en forma de tochos de extrusión de 101 mm de diámetro. Se sometieron a refinado de grano con la adición de un 0,005 % en peso de Ti en forma de aleación maestra de Al-5Ti-B. Se homogeneizaron cortes de los tochos colados durante 2 horas a temperaturas de 510, 530, 550 y 585 y 620 °C, seguido de enfriamiento a 300 °C/h.

Tabla 5

Composiciones de Aleación (% en peso)									
Aleación	Fe	Si	Cu	Mn	Cr	Ni	Zn	Ti	V
C	0,13	0,07	<,01	0,01	<,01	<,01	<,01	0,011	0,01
D	0,31	0,09	<,01	<,01	<,01	<,01	<,01	0,015	0,01

25 Se midieron las composiciones de aleación por medio de Espectroscopía Óptica de Emisión (OES). Se midió la conductividad eléctrica para cada condición de homogeneización/aleación por medio de una técnica de corriente de remolino. Se sometieron tres muestras a maquinizado para evaluación de la tensión de flujo, a partir de la posición de radio medio de los lingotes homogeneizados a 550, 585 y 620 °C. Se midió la tensión de flujo por medio de compresión uniaxial en caliente usando una unidad Gleeble 3800, con un tamaño de muestra de 10 mm de diámetro x 15 mm de alto. Se llevaron a cabo ensayos a una temperatura de 450 °C y una tasa de deformación de 1/s. Se usaron valores de tensión de flujo a una deformación de 0,8 para comparar los diferentes tratamientos.

30 La Figura 7 muestra los valores de conductividad obtenidos para las Aleaciones C y D homogeneizadas a temperaturas de 510, 530, 550, 585 y 620 °C durante 2 horas. La conductividad refleja los niveles de elementos en disolución ácida, como se ha descrito con anterioridad. Adicionalmente, los niveles de conductividad medidos de

ambas aleaciones para dichas temperaturas de homogeneización se listan en la Tabla 6 siguiente. Los valores de conductividad para las aleaciones coladas en bruto se muestran también en la Figura 7 y la Tabla 6.

Tabla 6

Conductividad eléctrica (% IACS) para Aleaciones C y D						
Aleación	Colada en bruto	510 °C	530 °C	550 °C	585 °C	620 °C
C	59,9	61,2	61,1	60,8	60,6	60,3
D	58,8	60,6	60,6	60,5	60,3	60,1

5

Con ambas aleaciones, la condición de colada en bruto presentó la conductividad más baja, que corresponde a los niveles más elevados de Si y Fe retenidos en la disolución de sólidos por medio del proceso de colada. La aplicación de cualesquiera tratamientos de homogeneización aumentó la conductividad en comparación con la condición de colada en bruto, a medida que la temperatura elevada permitió que el sistema se moviera hacia el equilibrio y precipitara Fe y Si. La conductividad más baja tuvo lugar con la temperatura de homogeneización más elevada a 620 °C, y la conductividad aumentó coherentemente a medida que la temperatura se redujo hasta, aproximadamente 530 °C, el efecto comenzó a adoptar forma de meseta. Sin quedar ligado a teoría alguna, se piensa que el aumento de conductividad con menor temperatura se debe a una mayor precipitación de soluto de Fe y Si a temperaturas más bajas. No obstante, a aproximadamente 530 °C y menos, la menor difusividad probablemente reduce la cinética para la reacción de precipitación. Por tanto, en comparación con una homogeneización típica comercial de aleaciones 1XXX a 580 °C o más, la homogeneización de las aleaciones descritas en la presente memoria dentro del intervalo de 520-570 °C puede favorecer menores niveles de soluto de Fe y Si.

10

15

La Tabla 7 resume los resultados de tensión de flujo de Aleaciones C y D tras la homogeneización durante dos horas a 550, 585 y 620 °C usando una temperatura de 450 °C y una tasa de deformación de 1/s. Estos resultados también se presentan gráficamente en la Figura 8. Con ambas aleaciones, la tensión de flujo disminuyó progresivamente a media que se redujo la temperatura de homogeneización a partir de las temperaturas de homogeneización convencionales por encima de 580 °C hasta 550 °C, lo cual produjo la tensión de flujo más baja. Estas tendencias son coherentes con los resultados de conductividad/disolución de sólidos comentados anteriormente, e indican que la tensión de flujo se ve significativamente afectada por los niveles de Fe y Si en la disolución de sólidos, debido a la solubilidad de sólidos y los efectos de transformación de fase.

20

25

Tabla 7

Resultados de tensión de flujo (MPa)			
Aleación	550 °C	585 °C	620 °C
C	25,72	27,25	28,38
D	26,77	27,68	28,49

Como se muestra anteriormente en la Figura 8, la reducción de la temperatura de homogeneización desde 620 °C hasta 550 °C produjo una reducción de la tensión de flujo de aproximadamente un 9 % para la Aleación C y de aproximadamente un 6 % para la Aleación D. Estas reducciones son significativas en términos de mejora de la productividad de extrusión potencial.

30

Las composiciones, productos y métodos descritos en la presente memoria proporcionan ventajas con respecto a las composiciones, productos y métodos existentes, como queda evidenciado por medio de los Ejemplos anteriores. Por ejemplo, las aleaciones de acuerdo con las composiciones descritas en la presente memoria pueden exhibir una menor tensión de flujo.

35

La homogeneización de la aleación a las temperaturas descritas en la presente memoria también contribuye a lograr este resultado. Esta reducción de la tensión de flujo hace que estas aleaciones resulten eficaces en aplicaciones de extrusión, y las aleaciones pueden lograr mejoras en las velocidades de extrusión y productividad. También se pueden obtener ventajas en otras técnicas de conformación, tales como el laminado. Adicionalmente, la aleación puede proporcionar una conductividad eléctrica y térmica mejorada con respecto a las aleaciones existentes, lo cual podría proporcionar ventajas de uso en cables eléctricos, conductores y conectores o componentes usados en aplicaciones de transferencia de calor tales como tubos o disipadores térmicos. Se reconocen ventajas adicionales y beneficios por parte de los expertos en la técnica.

40

Aunque se ha descrito la invención con respecto a los ejemplos específicos que incluyen los modos actualmente preferidos para llevar a cabo la invención, se define el alcance la misma por medio de las reivindicaciones adjuntas.

5 Cuando se dice en la presente memoria que los productos tienen, incluyen o comprenden componentes específicos, o cuando se dice que los procesos descritos en la presente memoria tienen, incluyen o comprenden etapas específicas de proceso, se contempla que los productos de diversas realizaciones pueden también consistir esencialmente en, o consistir en, los componentes citados, y que los procesos de las diversas realizaciones también consisten esencialmente en, o consisten en las etapas de proceso citadas.

REIVINDICACIONES

- 1.- Un método que comprende:
- 5 homogeneizar una aleación de aluminio a una temperatura de homogeneización dentro del intervalo de 520 °C a 570 °C durante 2-10 horas, en el que la aleación de aluminio tiene una composición que comprende, en porcentaje en peso:
- hasta un 0,70 % en peso de hierro;
- hasta un 0,30 % en peso de silicio;
- y opcionalmente:
- 10 cobre , si cualquier contenido de cobre es de hasta un 0,30 % en peso o hasta un 0,05 % en peso, otros elementos presentes como impurezas inevitables, si cualquier contenido de los otros elementos es de hasta un 0,05 % en peso cada uno y un 0,15 % en peso en total, siendo el equilibrio aluminio,
- 15 que además comprende someter a extrusión la aleación de aluminio homogeneizada, formando de este modo un producto de aleación de aluminio sometido a extrusión.
- 2.- El método de la reivindicación 1, en el que
- el contenido de hierro de la aleación es de un 0,20 a un 0,40 % en peso; y
- el contenido de silicio de la aleación es de un 0,05 a un 0,20 % en peso.
- 20 3.- El método de la reivindicación 1 o 2, en el que los otros elementos incluyen manganeso, cromo, níquel, cinc, titanio, vanadio o combinaciones de los mismos.
- 4.- El método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que la temperatura de homogeneización está dentro del intervalo de 540 °C a 570 °C.
- 5.- El método de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, que además comprende enfriar la composición de aleación de aluminio homogeneizada hasta una temperatura de 400 °C o menos a una tasa de 450 °C por hora o menos.
- 25 6.- El método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que la aleación es una aleación de la serie 1XXX.
- 7.- El método de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, que además comprende colar la aleación de aluminio antes de la homogeneización de la aleación de aluminio y enfriar el producto de aleación de aluminio colado hasta 400 °C a una tasa de 450 °C por hora o menos, formando de este modo una composición de aleación de aluminio
- 30 homogeneizada y enfriada.

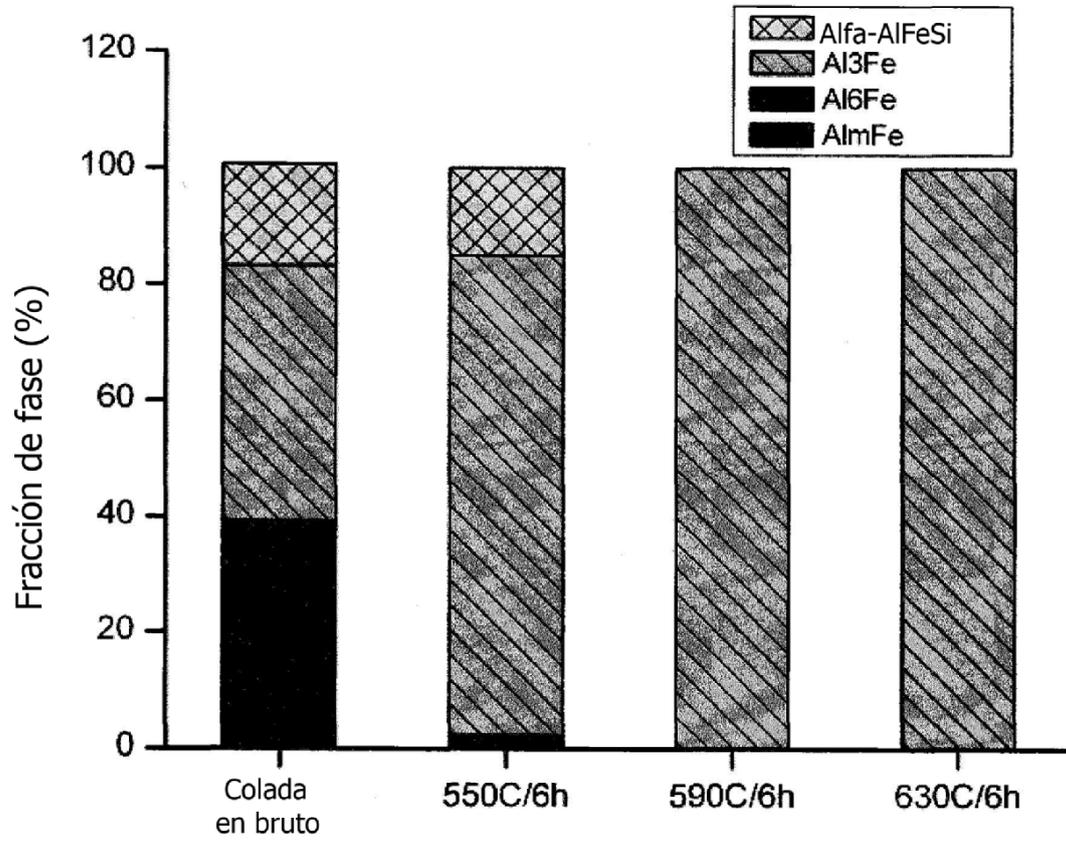


FIG. 1

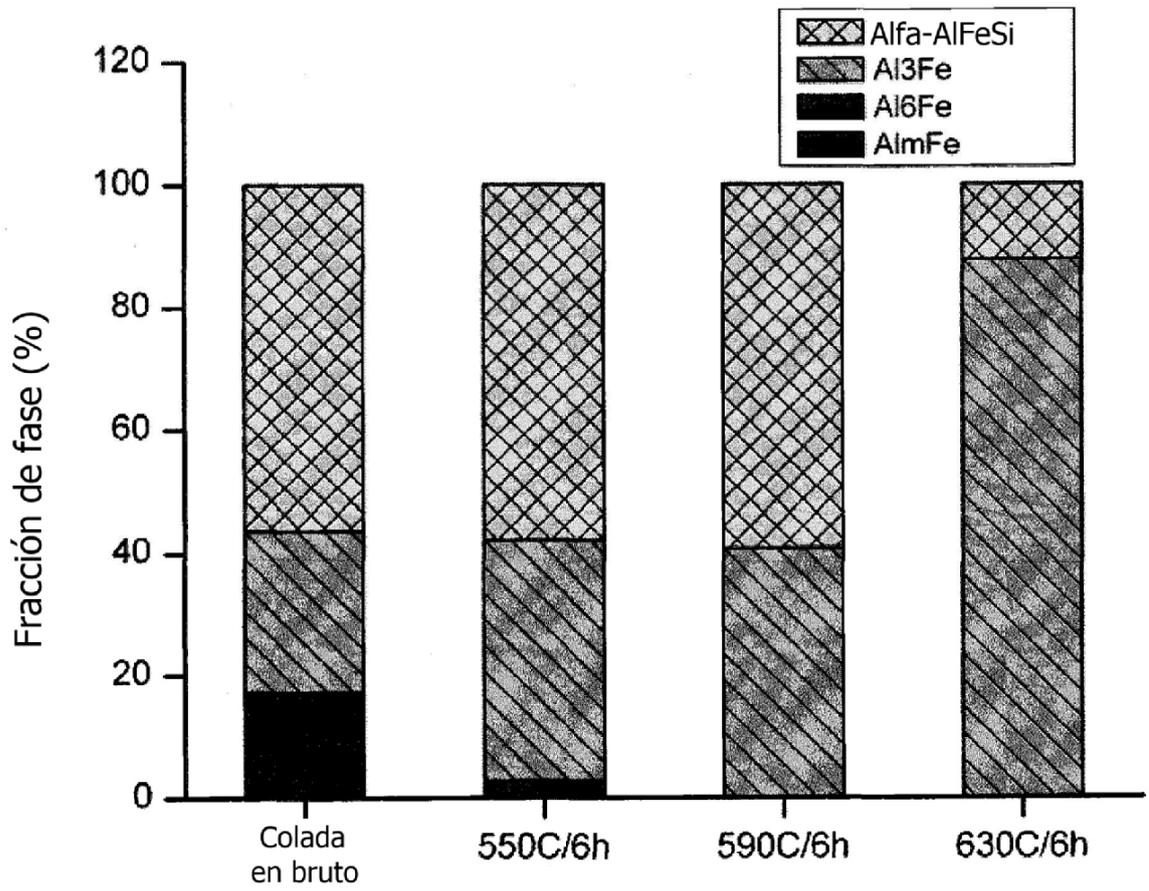


FIG. 2

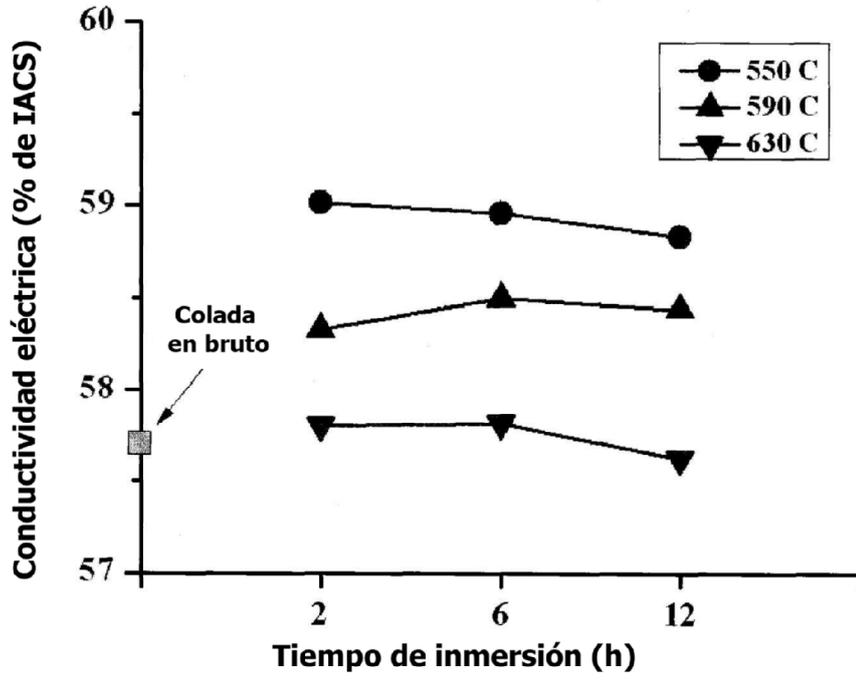


FIG. 3

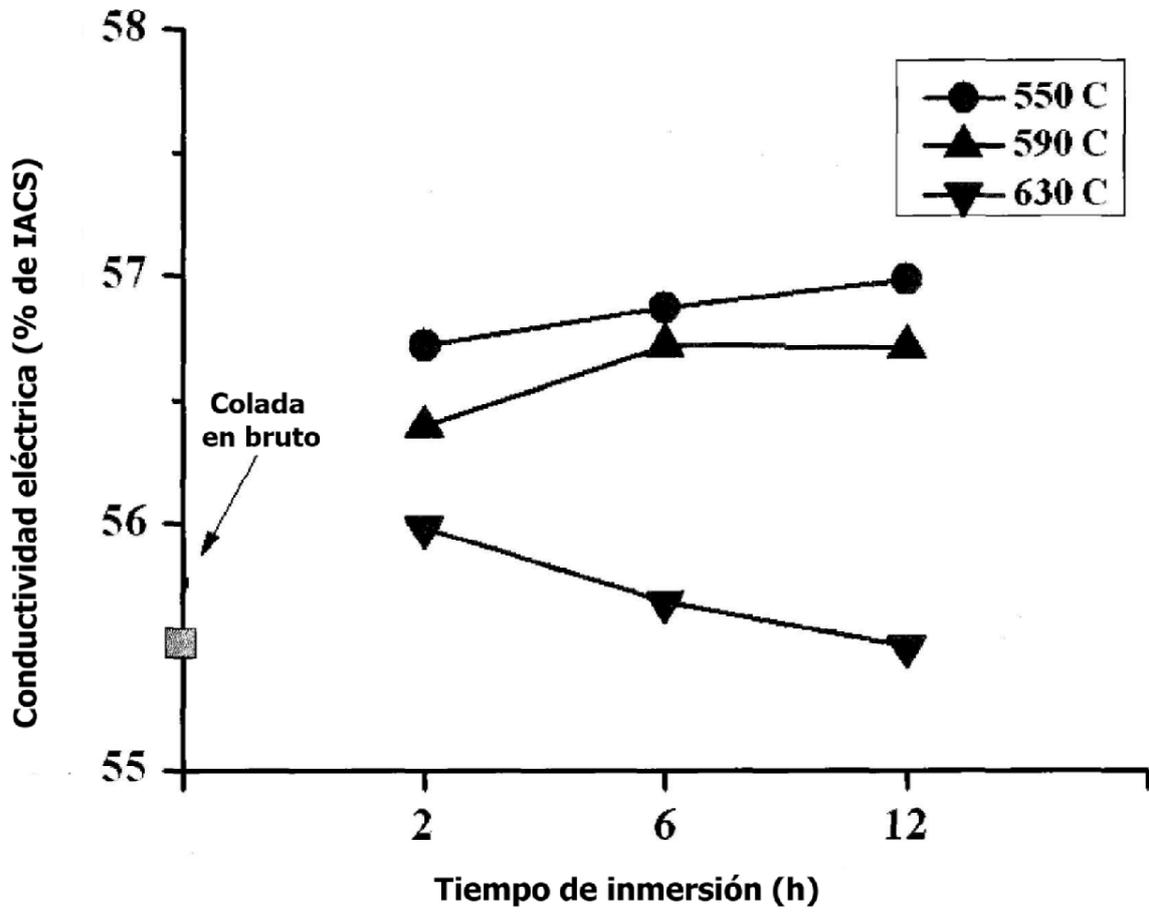


FIG. 4

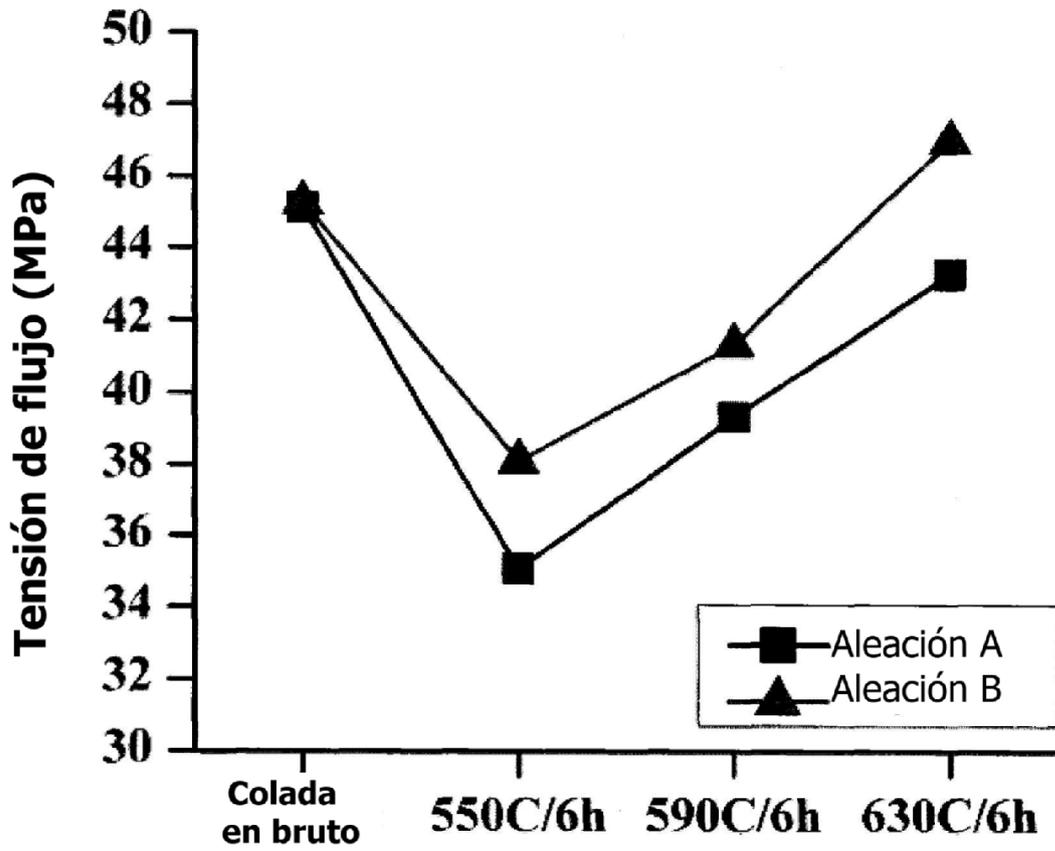


FIG. 5

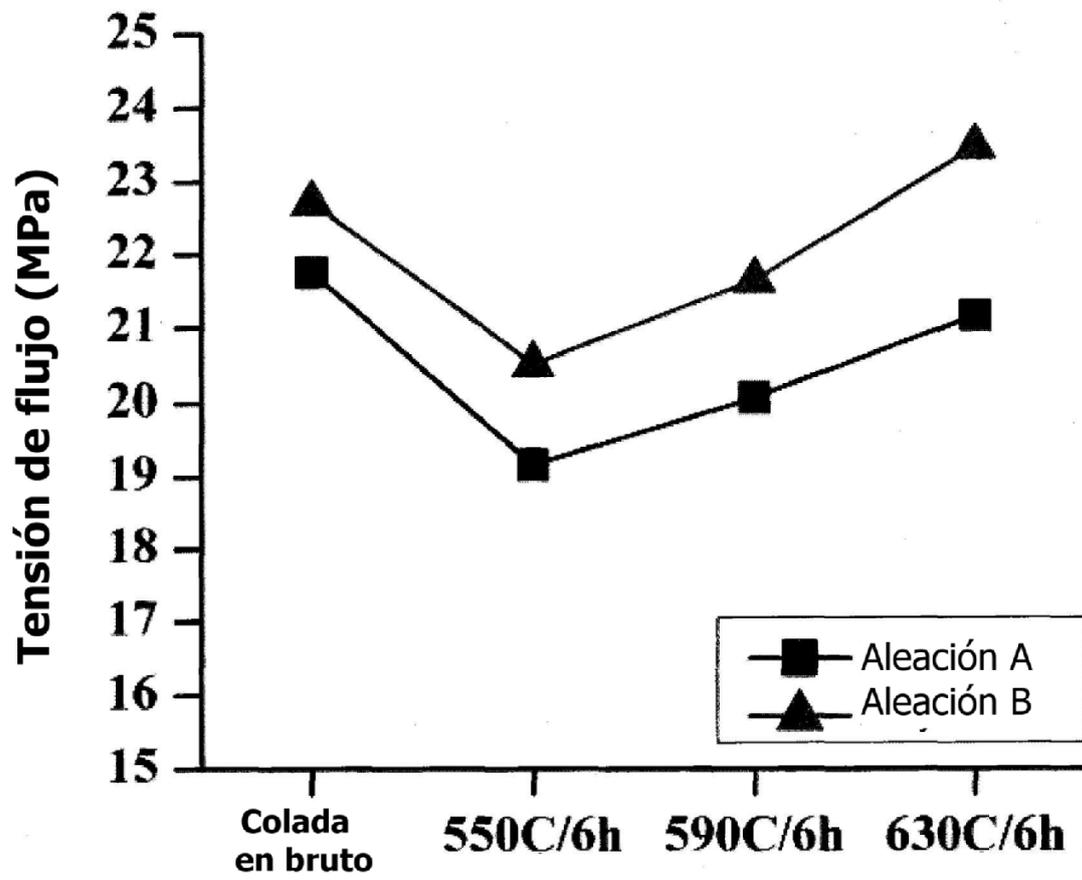


FIG. 6

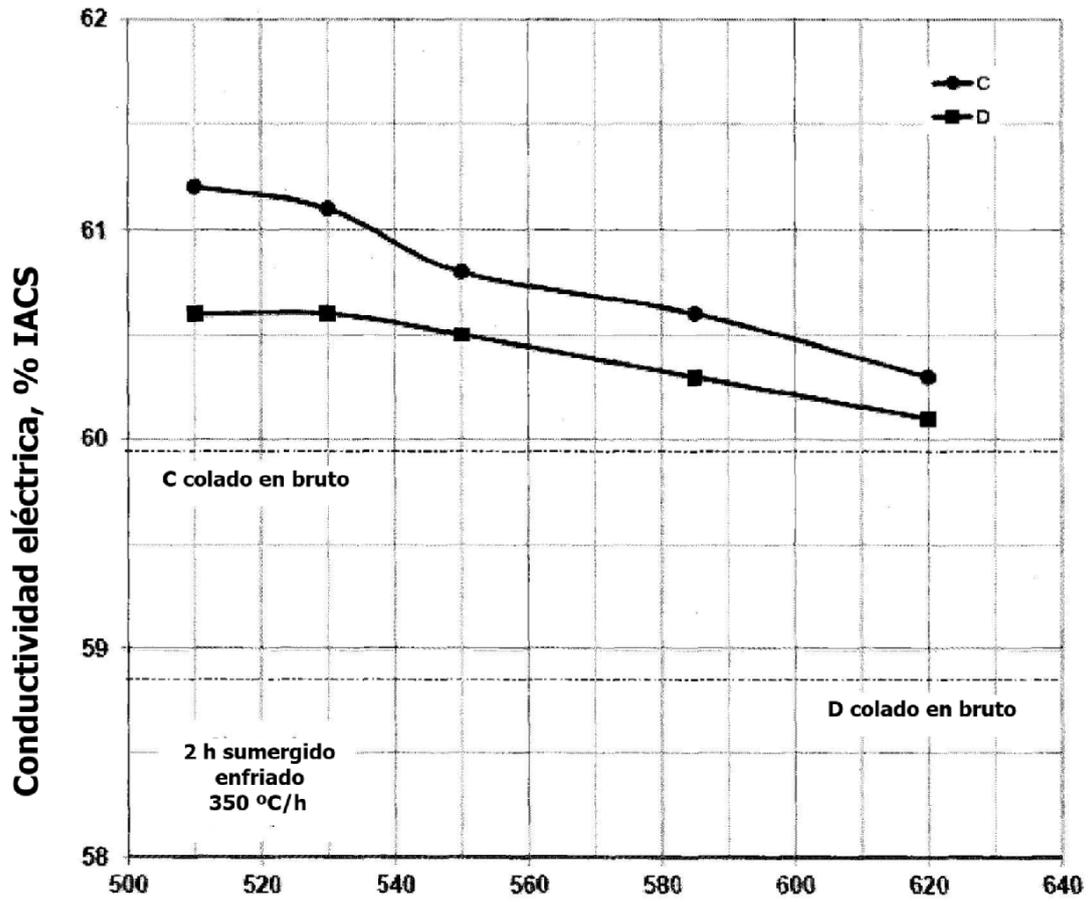


FIG. 7

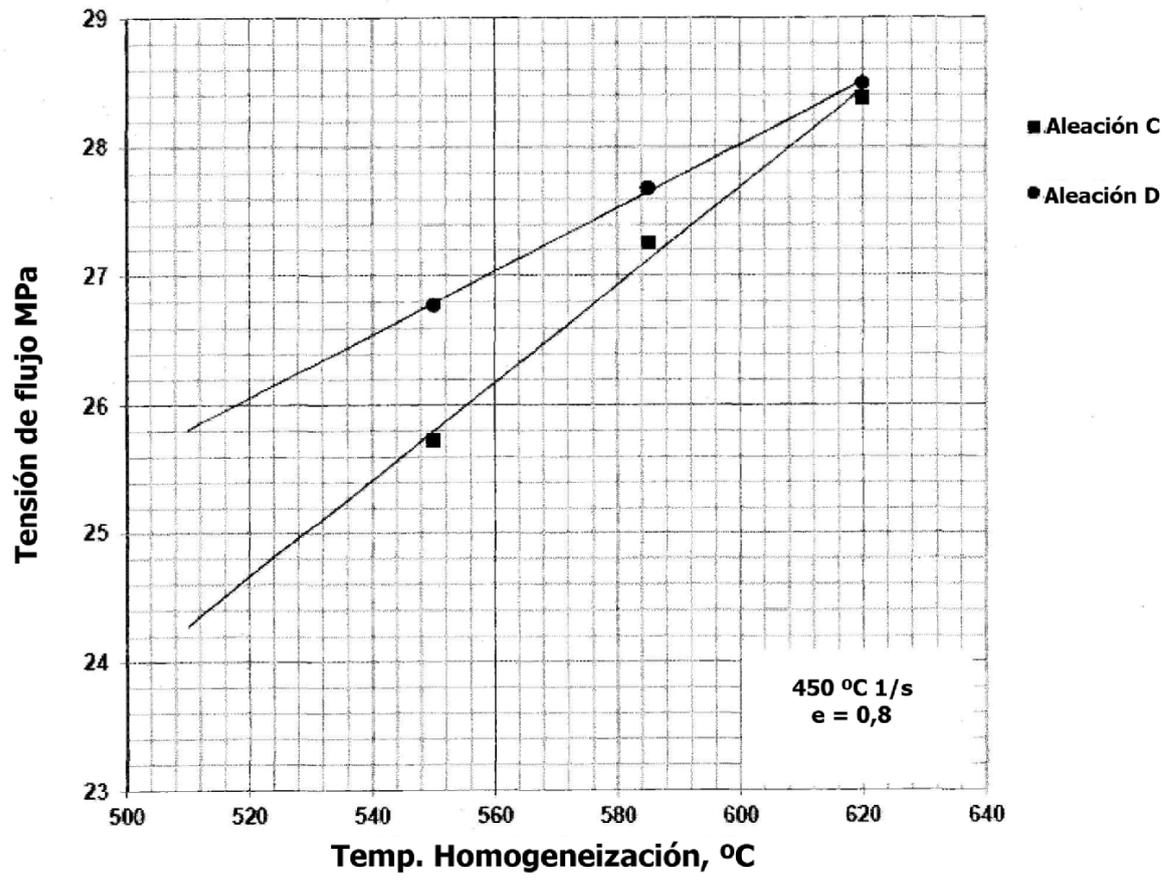


FIG. 8