

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 908 777**

51 Int. Cl.:

C21D 1/18 (2006.01)
C22C 21/00 (2006.01)
C22C 33/06 (2006.01)
C22F 1/04 (2006.01)
H01B 1/02 (2006.01)
H01B 9/00 (2006.01)
B23K 35/28 (2006.01)
B23K 35/40 (2006.01)
B23K 35/02 (2006.01)
C21D 1/25 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **14.10.2016 PCT/US2016/057142**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **20.04.2017 WO17066638**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.10.2016 E 16856316 (1)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.12.2021 EP 3363025**

54 Título: **Cables y alambres que tienen elementos conductores formados a partir de aleaciones mejoradas de aluminio-circonio**

30 Prioridad:

14.10.2015 US 201562241543 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
03.05.2022

73 Titular/es:

GENERAL CABLE TECHNOLOGIES CORPORATION (50.0%)
4 Tesseneer Drive
Highland Heights, KY 41076, US y
NANOAL LLC (50.0%)

72 Inventor/es:

SIRIPURAPU, SRINIVAS;
MUOJEKWU, CORNELIUS, A.;
SEKUNDA, JANUSZ, STANISLAW;
BAKER, RICHARD, STEPHEN;
DUER, NICHOLAS, JOHN y
VO, NHON, Q.

74 Agente/Representante:

PONTI & PARTNERS, S.L.P.

ES 2 908 777 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

Cables y alambres que tienen elementos conductores formados a partir de aleaciones mejoradas de aluminio-circonio

5 **REFERENCIA A SOLICITUD RELACIONADA**

[0001] La presente solicitud reivindica la prioridad de la solicitud provisional estadounidense n.º de serie 62/241.543, titulada CABLES QUE TIENEN ELEMENTOS CONDUCTORES FORMADOS A PARTIR DE ALEACIONES MEJORADAS DE ALUMINIO-CIRCONIO, depositada el 14 de octubre de 2015.

10 **CAMPO TÉCNICO**

[0002] La presente descripción se refiere generalmente a la construcción de cables y alambres que incluyen elementos conductores formados a partir de una aleación mejorada de aluminio-circonio. La aleación de aluminio-circonio presenta propiedades eléctricas y mecánicas mejoradas.

ANTECEDENTES

[0003] Los elementos conductores para cables y alambres de energía eléctrica se pueden seleccionar en función del uso previsto del cable o alambre junto con las propiedades eléctricas y mecánicas necesarias para lograr el uso previsto del cable o alambre. Por ejemplo, es conocido el uso de aluminio o aleaciones de aluminio como el elemento conductor en aplicaciones de cable que requieren cables relativamente livianos como consecuencia de la densidad relativamente baja del aluminio y las propiedades eléctricas y mecánicas generalmente satisfactorias. Sin embargo, el aluminio y ciertas aleaciones de aluminio experimentan varios inconvenientes que impiden su uso como elemento conductor en ciertas aplicaciones de cableado. Por ejemplo, determinados conductores de aluminio pueden experimentar etapas de procesamiento que requieren mucho tiempo y gran consumo de energía y pueden presentar propiedades eléctricas o mecánicas deficientes cuando se usan como elemento conductor o cuando se usan a temperaturas elevadas. Por lo tanto, sería deseable crear una aleación mejorada de aluminio que sea más fácil de producir al mismo tiempo que ofrece propiedades eléctricas y mecánicas mejoradas.

El documento CN 104299673 describe la aleación de aluminio Al-Fe-Mg-Zr utilizada para los cables de las minas de carbón. La aleación de aluminio Al-Fe-Mg-Zr comprende 0,2-1,1 % de Fe, 0,01-0,4 % de Mg, 0,001-0,2 % de Zr, 0-0,1 % de Si, 0-0,2 % de B y el resto siendo Al e impurezas, donde la resistividad de la aleación de aluminio no es superior a 0,028164 Q omega-mm²/m, el alargamiento en la rotura no es inferior al 10 por ciento y la frecuencia de flexión de fatiga de noventa grados es superior o igual a treinta.

El documento EP 2902517 describe un conductor de aleación de aluminio que tiene una composición que consiste en Mg: de 0,10 % en masa a 1,00 % en masa, Si: de 0,10 % en masa a 1,00 % en masa, Fe: de 0,01 % en masa a 1,40 % en masa, Ti: de 0,000 % en masa a 0,100 % en masa, B: de 0,000 % en masa a 0,030 % en masa, Cu: de 0,00 % en masa a 1,00 % en masa, Ag: de 0,00 % en masa a 0,50 % en masa, Au: de 0,00 % en masa a 0,50 % en masa, Mn: de 0,00 % en masa a 1,0 % en masa, Cr: de 0,00 % en masa a 1,00 % en masa, Zr: de 0,00 % en masa a 0,50 % en masa, Hf: de 0,00 % en masa a 0,5 % en masa, V: de 0,00 % en masa a 0,5 % en masa, Sc: de 0,00 % en masa a 0,50 % en masa, Ni: de 0,00 % en masa a 0,10 % en masa, y el resto: Al e impurezas incidentales, donde una densidad de dispersión de partículas compuestas que tienen un tamaño de partícula de 20 nm a 1000 nm es superior o igual a 1 partícula/μm².

El documento US 4908078 describe una aleación a base de aluminio para partes conductoras de un dispositivo electrónico. La aleación a base de aluminio contiene de 0,3 a 4,0 % en peso de manganeso y de 0,10 a 5,0 % en peso de magnesio, el resto siendo aluminio e impurezas inevitables. El material puede contener adicionalmente: al menos uno de cobre y zinc; y/o al menos uno de cromo, circonio, vanadio y níquel, si fuera necesario.

RESUMEN

[0004] De acuerdo con una realización, un alambre de unión se forma a partir de una aleación de aluminio-circonio según la reivindicación 1. El alambre de unión presenta al menos dos de un valor de resistencia última a la tracción después del envejecimiento por calor durante 1 hora a 280 °C de aproximadamente 90 % o más del valor de resistencia última a la tracción sin envejecer cuando se somete a ensayo de acuerdo con la norma ASTM B941, resistencia al fallo por fatiga durante al menos aproximadamente 10⁶ ciclos a 85 MPa de tensión aplicada cuando se somete a ensayo de acuerdo con la norma ASTM E466, y una velocidad de fluencia de aproximadamente 500 % por hora o menos a 50 MPa de tensión aplicada y una temperatura de aproximadamente 185 °C cuando se somete a ensayo de acuerdo con la norma ASTM E139.

[0005] De acuerdo con otra realización, un cable incluye al menos un elemento conductor formado a partir de una aleación de aluminio-circonio según la reivindicación 1. El al menos un elemento conductor tiene una resistencia última a la tracción de aproximadamente 120 MPa o más después del envejecimiento por calor durante 48 horas a

400 °C y presenta un tiempo de relajación de la tensión para alcanzar aproximadamente el 85 % de una tensión inicial que es aproximadamente 2 veces más largo en duración que una aleación de aluminio-circonio similar formada sin un inoculante cuando se mide de acuerdo con la norma ASTM E328.

- 5 **[0006]** De acuerdo con otra realización, un procedimiento para fabricar un cable incluye colar continuamente una forma en estado bruto de colada a partir de una aleación de aluminio-circonio según la reivindicación 1, laminar en caliente la forma en estado bruto de colada para formar una varilla de retrefilado, trefilar la varilla de retrefilado en un alambre y recocer el alambre para formar un cable. El elemento conductor presenta al menos dos de un valor de resistencia última a la tracción después del envejecimiento por calor durante 1 hora a 280 °C de aproximadamente
- 10 90 % o más del valor de resistencia última a la tracción sin envejecer cuando se somete a ensayo de acuerdo con la norma ASTM B941, resistencia al fallo por fatiga durante al menos aproximadamente 10^6 ciclos a 85 MPa de tensión aplicada cuando se somete a ensayo de acuerdo con la norma ASTM E466, y una velocidad de fluencia de aproximadamente 50 % por hora o menos a 50 MPa de tensión aplicada y una temperatura de aproximadamente 185 °C cuando se somete a ensayo de acuerdo con la norma ASTM E139.

15 **BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS**

[0007]

- 20 La FIG. 1 representa una gráfica que ilustra los tiempos de relajación de la tensión a temperatura ambiente de una aleación mejorada de aluminio-circonio según una realización, y el tiempo de relajación de la tensión a temperatura ambiente de una aleación de aluminio-circonio convencional.
- La FIG. 2 representa un gráfico que ilustra las propiedades de fatiga a temperatura ambiente de una aleación mejorada de aluminio-circonio según una realización, y las propiedades de fatiga a temperatura ambiente de una
- 25 aleación de aluminio-circonio de la serie 8000 convencional.
- La FIG. 3 representa un gráfico que ilustra los resultados de una prueba de cizallamiento de 20 mil (0,508 mm) que demuestra el rendimiento de unión de una aleación mejorada de aluminio-circonio según una realización.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

- 30 **[0008]** Las aleaciones de aluminio que presentan una conductividad y propiedades mecánicas mejoradas a temperaturas elevadas pueden proporcionar numerosos beneficios cuando se utilizan como elementos conductores en cables y alambres. Una aleación mejorada de aluminio que presenta tales características es una aleación de aluminio-circonio que incluye un inoculante que aumenta la difusividad del circonio en el aluminio. Los ejemplos de
- 35 inoculantes adecuados pueden incluir cualquier metal o metaloide que disminuya la energía de activación requerida para la difusión en una matriz de α -Al en comparación con la energía de activación requerida para la difusión en una matriz α -Al libre de un inoculante. Los ejemplos no limitantes de dichos inoculantes pueden incluir metales y metaloides del Grupo 3A, Grupo 4A y Grupo 5A, así como zinc. Por ejemplo, los inoculantes adecuados que pueden aumentar la cinética de la difusión de circonio en una matriz α -Al pueden incluir estaño, indio, antimonio, magnesio, zinc, galio, germanio y, en combinación con otros inoculantes, silicio, en determinadas realizaciones.

- [0009]** Sin quedar limitado a la teoría, se cree que la inclusión de un inoculante adecuado en una aleación de aluminio-circonio aumenta la difusividad del circonio en la aleación de aluminio, lo que provoca tanto la sobresaturación del circonio como una disminución en la temperatura de precipitación del circonio. Como se puede apreciar, dicha
- 45 difusividad puede permitir la precipitación de una gran densidad de precipitados relativamente pequeños usando temperaturas y/o tiempo más bajos que una aleación de aluminio-circonio similar sin dicho inoculante. Por ejemplo, el envejecimiento por calor de una aleación de aluminio-circonio que incluye un inoculante se puede realizar a temperaturas más bajas para un envejecimiento por calor a tiempo constante que una aleación de aluminio-circonio similar libre de un inoculante (por ejemplo, a temperaturas aproximadamente de 45 °C más bajas en determinadas
- 50 realizaciones) y/o durante una duración más corta que una aleación de aluminio-circonio similar libre de un inoculante para un envejecimiento por calor a temperatura constante (*por ejemplo*, durante duraciones de aproximadamente 50 horas más cortas según determinadas realizaciones). Como se puede observar, una aleación de aluminio-circonio con una mayor cantidad de precipitados más pequeños puede presentar mayor resistencia que una aleación similar con precipitados más grandes. En determinadas realizaciones, los precipitados a nanoescala pueden incluir precipitados
- 55 de Al_3Zr que tienen una estructura L12 en una matriz α -Al (f.c.c.), así como precipitados de Al-Zr-Inoculante.

- [0010]** Una aleación mejorada de aluminio puede estar formada predominantemente de aluminio (por ejemplo, aproximadamente 99 % en peso de aluminio o más), y pequeñas cantidades de circonio y un inoculante. Por ejemplo, las aleaciones de aluminio adecuadas pueden incluir, en porcentaje en peso, de aproximadamente 0,1 % a
- 60 aproximadamente 0,4 % de circonio y de aproximadamente 0,01 % a aproximadamente 0,2 % de un inoculante, con el resto de la aleación de aluminio siendo aluminio y cantidades trazas de elementos adicionales. Dichos elementos traza pueden formar aproximadamente 1 % o menos de la aleación de aluminio. Por ejemplo, uno o más de hierro, silicio, cobre, manganeso, magnesio, cromo, zinc, titanio, boro, galio, vanadio, níquel, antimonio, escandio u otros elementos se pueden encontrar, o incluir, en ciertas aleaciones de aluminio. En determinadas realizaciones que
- 65 incluyen tales otros elementos o impurezas, el hierro se puede incluir de aproximadamente 0,3 % a aproximadamente

0,7 %, en porcentaje en peso; el silicio se puede incluir en aproximadamente 0,06 % o menos, en porcentaje en peso; el cobre se puede incluir en aproximadamente 0,007 % o menos, en porcentaje en peso; el manganeso se puede incluir en aproximadamente 0,005 % o menos, en porcentaje en peso; el magnesio se puede incluir en aproximadamente 0,015 % o menos, en porcentaje en peso; el cromo se puede incluir en aproximadamente 0,002 % o menos, en porcentaje en peso; el zinc se puede incluir en aproximadamente 0,04 % o menos, en porcentaje en peso; el titanio se puede incluir en aproximadamente 0,008 % o menos, en porcentaje en peso; el boro se puede incluir en aproximadamente 0,001 % a aproximadamente 0,006 % en porcentaje en peso; el galio se puede incluir en aproximadamente 0,03 % o menos, en porcentaje en peso; el vanadio se puede incluir en aproximadamente 0,004 % o menos, en porcentaje en peso; el níquel se puede incluir en aproximadamente 0,03 % o menos en porcentaje en peso; y cualquier otro elemento traza se puede incluir en aproximadamente 0,03 % o menos individualmente o en aproximadamente 0,1 % colectivamente, en porcentaje en peso. El aluminio, el circonio y un inoculante pueden constituir el resto de dichas aleaciones de aluminio.

[0011] En comparación con otras aleaciones de aluminio-circonio conocidas que tienen precipitados de aluminio-circonio a nanoescala, la inclusión de un inoculante en la aleación de aluminio-circonio puede permitir una reducción en la duración de varias etapas de envejecimiento por calor utilizadas para promover la precipitación. Por ejemplo, la inclusión de estaño como inoculante en una aleación de aluminio-circonio puede permitir que las etapas de envejecimiento por calor tengan una duración total de aproximadamente 24 horas o menos en determinadas realizaciones, aproximadamente 12 horas o menos en determinadas realizaciones; o aproximadamente 8 horas o menos en determinadas realizaciones. Adicionalmente, la inclusión de un inoculante en una aleación de aluminio-circonio también puede promover la formación de precipitados que tienen un diámetro menor que los precipitados comparables formados en aleaciones de aluminio-circonio formadas sin dicho inoculante. También se pueden observar otros beneficios debido a la inclusión de un inoculante. Por ejemplo, las muestras de alambre formadas de una aleación de aluminio-circonio libre de un inoculante pueden debilitarse progresivamente durante la duración de un protocolo de envejecimiento por calor. Las muestras similares que incluyen dicho inoculante pueden, por el contrario, fortalecerse durante la duración de un protocolo de envejecimiento por calor. Se cree que esta diferencia en la resistencia entre las dos muestras fue causada por la incapacidad de la muestra de aleación de aluminio-circonio libre de inoculante para producir precipitados tan pequeños como los precipitados que se encuentran en la aleación de aluminio que tiene circonio y un inoculante.

[0012] Los precipitados a nanoescala de una aleación de aluminio que incluye tanto circonio como un inoculante pueden tener un diámetro promedio de aproximadamente 100 nanómetros ("nm") o menos, en determinadas realizaciones; un diámetro promedio de aproximadamente 20 nm o menos, en determinadas realizaciones; un diámetro promedio de aproximadamente 10 nm o menos, en determinadas realizaciones; o un diámetro promedio de aproximadamente 3 nm a aproximadamente 7 nm en determinadas realizaciones. Como se puede apreciar, dichos diámetros promedio pueden ofrecer una serie de beneficios sobre las aleaciones de aluminio que tienen precipitados más grandes. Por ejemplo, los precipitados más pequeños pueden dar lugar a una resistencia mejorada y a una resistencia al calor/a la fluencia mientras se mantienen buenas propiedades eléctricas y ductilidad. Estas propiedades también se pueden mejorar mediante una alta densidad de precipitados. En determinadas realizaciones, los precipitados a nanoescala se pueden encontrar en una alta densidad numérica en la aleación de aluminio-circonio y pueden tener, por ejemplo, una densidad numérica de aproximadamente 10^{21} precipitados a nanoescala por m^3 o mayor.

[0013] La aleación mejorada de aluminio-circonio según la invención incluye además hierro. El hierro, en cantidades adecuadas, puede formar canales a microescala beneficiosos en la aleación. Por ejemplo, de aproximadamente 0,3 % a aproximadamente 0,7 % de hierro puede causar la formación de canales a microescala en una aleación de aluminio-circonio que incluye un inoculante. Dichos canales a microescala, en combinación con los precipitados a nanoescala, pueden formar microestructuras jerárquicas beneficiosas.

[0014] Por ejemplo, $Al_{99}\%Fe_{0,55}\%Zr_{0,34}\%Sn_{0,1}\%$ presenta una microestructura jerárquica que es altamente resistente a la fluencia como resultado de canales intermetálicos de Al-Fe y regiones de precipitados a nanoescala de Al-Zr-Sn de alta y baja densidad. Dichas microestructuras definidas por la pluralidad de precipitados y canales a nanoescala pueden permitir que la aleación de aluminio-circonio mantenga la resistencia durante períodos de tiempo más largos, incluso a temperaturas relativamente más altas. Por ejemplo, un cable de aleación de aluminio-circonio formado con dichas microestructuras calentadas a 280 °C durante aproximadamente 1 hora puede conservar una resistencia a la tracción superior al 90 % de la resistencia a la tracción a la temperatura original antes del ensayo de resistencia al calor cuando se mide de acuerdo con la norma ASTM B941.

[0015] Como se puede apreciar, la formación de microestructuras con precipitados a nanoescala en una aleación de aluminio-circonio también puede permitir que la aleación de aluminio-circonio presente varias mejoras en sus propiedades mecánicas y eléctricas. Por ejemplo, una aleación de aluminio-circonio que incluye pequeñas cantidades de un inoculante puede, en determinadas realizaciones, presentar un alargamiento en la rotura superior a 12 % o superior a 14,5 %, una resistencia última a la tracción ("UTS"), después del envejecimiento por calor a aproximadamente 450 °C durante 48 horas, de aproximadamente 140 MPa o más en determinadas realizaciones, aproximadamente 130 MPa o más en determinadas realizaciones, y de aproximadamente 120 MPa o más en

determinadas realizaciones. La aleación de aluminio-circonio puede presentar una conductividad eléctrica en comparación con el cobre de aproximadamente 56 % o más, tal como se midió de acuerdo con la Norma Internacional de Cobre Recocido ("IACS"). Las aleaciones mejoradas de aluminio-circonio también pueden presentar una conductividad eléctrica de aproximadamente 55 % de IACS, o más, en determinadas realizaciones y aproximadamente 5 58 % de IACS, o más, en determinadas realizaciones.

[0016] Adicionalmente, en determinadas realizaciones, las aleaciones mejoradas de aluminio-circonio descritas en esta invención pueden presentar un rendimiento de fluencia sustancialmente mejorado en comparación con aleaciones de aluminio similares sin los precipitados a nanoescala. Como se puede apreciar, el rendimiento de fluencia 10 mejorado puede facilitar el uso de dichas aleaciones mejoradas de aluminio-circonio en aplicaciones en las que antes era difícil utilizar el aluminio puro o las aleaciones de aluminio conocidas.

[0017] Una aleación mejorada de aluminio-circonio como se describe en esta invención también puede presentar una resistencia mejorada a la resistencia a la relajación de la tensión. Como se puede apreciar, la relajación 15 de la tensión es una de las preocupaciones más importantes en el diseño de contactos eléctricos y se define como la disminución en la tensión cuando se somete a un esfuerzo de deformación constante. Un elemento conductor (por ejemplo, alambre) formado por aleación mejorada de aluminio-circonio, $\text{Al}_{99}\% \text{Fe}_{(0,4-0,5)}\text{Zr}_{(0,25-0,3)}\text{Sn}_{(0,05-0,1)}\%$, por ejemplo, puede presentar un tiempo de relajación de la tensión para alcanzar aproximadamente un 85 % de una tensión inicial que es aproximadamente 2 veces más largo en duración que una aleación de aluminio-circonio formada 20 sin un inoculante cuando se mide de acuerdo con las normas ASTM E328. Ambos elementos conductores se tensaron inicialmente al 75 % de sus respectivos valores de límite elástico. Como se puede apreciar, la resistencia mejorada a la relajación de la tensión puede permitir cables más fuertes que resisten la deformación o conectores eléctricos mejorados.

25 **[0018]** Además de las resistencias de relajación de la tensión mejoradas, una aleación mejorada de aluminio-circonio también puede presentar un esfuerzo de fluencia aproximadamente 40 % mayor que una aleación de aluminio comparativa de la serie 8000, por ejemplo, como se describe en la especificación ASTM B800 y que tiene la fórmula química $\text{AlFe}_{0,430}\% \text{Zn}_{0,020}\% \text{Si}_{0,40}\%$. Como se puede apreciar, tales mejoras en el límite elástico y el tiempo de relajación de la tensión pueden permitir que la aleación mejorada de aluminio-circonio resista mejor las fuerzas de engarce o de 30 terminación más altas.

[0019] De acuerdo con determinadas realizaciones, las aleaciones mejoradas de aluminio-circonio descritas en esta invención pueden formarse en un elemento conductor de un cable eléctrico a través de una o más etapas de procesamiento de alambre. Por ejemplo, en determinadas realizaciones, el procedimiento de producción de un 35 elemento conductor puede incluir las etapas de colar una forma en estado bruto de colada (*por ejemplo*, una barra), laminar en caliente la forma en estado bruto de colada en una varilla de retrefilado y a continuación trefilar la varilla de retrefilado en un elemento conductor, tal como un alambre. Este procedimiento se puede realizar de forma continua.

[0020] En determinadas realizaciones, se puede colar una forma en estado bruto de colada de una aleación 40 mejorada de aluminio-circonio mediante el uso de cualquier procedimiento de fundición conocido. Por ejemplo, una aleación de $\text{Al}_{99}\% \text{Fe}_{(0,4-0,5)}\text{Zr}_{(0,25-0,3)}\text{Sn}_{(0,05-0,1)}\%$ se puede colar fundiendo la aleación en aire a aproximadamente 800 °C y colar continuamente la forma en estado bruto de colada. Como se apreciará, se pueden utilizar otras técnicas de colada como se conoce en la técnica. En determinadas realizaciones, una forma en estado bruto de colada puede trabajarse posteriormente o formarse además en una varilla de retrefilado utilizando técnicas de laminado en caliente 45 antes del trefilado del alambre. Como ilustración solamente, un diámetro adecuado para una varilla de retrefilado puede ser de aproximadamente 9,525 mm (0,375") de diámetro.

[0021] La varilla de retrefilado puede someterse a un procedimiento de trefilado del alambre para producir un alambre o elemento conductor. Generalmente, se puede utilizar un procedimiento de trefilado del alambre en frío para 50 producir alambres que tienen excelentes propiedades eléctricas y mecánicas. Como se puede apreciar, el diámetro del alambre conductor se puede seleccionar dependiendo de las propiedades eléctricas y mecánicas necesarias para cualquier aplicación de cableado específica. Por ejemplo, un alambre conductor destinado a un cable conductor aéreo puede tener un diámetro relativamente grueso mientras que los alambres conductores para aplicaciones más pequeñas pueden ser más delgados. En determinadas realizaciones, también se puede utilizar más de una etapa de 55 trefilado del alambre para producir un alambre de calibre particularmente alto (diámetro pequeño). Tal como se conoce en la técnica, también es posible producir elementos conductores que tienen formas en sección transversal no circulares a través de técnicas conocidas de trefilado del alambre y otras técnicas de formación.

[0022] En determinadas realizaciones, la formación de precipitados a nanoescala en una aleación mejorada de 60 aluminio-circonio puede mejorarse mediante el uso de determinadas etapas adicionales durante las operaciones de procesamiento de alambre. Las etapas adicionales pueden incluir generalmente varios procedimientos de tratamiento térmico tales como procedimientos de envejecimiento máximo y recocido. El tratamiento térmico y el enfriamiento posterior pueden promover la precipitación de los precipitados a nanoescala. Como se puede apreciar, las etapas adicionales también pueden mejorar las propiedades mecánicas y eléctricas de la aleación de aluminio-circonio. 65 Ventajosamente, las etapas de tratamiento térmico utilizadas para promover la precipitación de los precipitados a

nanoescala presentes pueden tener una duración más corta y pueden realizarse a temperaturas más bajas que las aplicaciones de tratamiento térmico comparables conocidas para otras aleaciones de aluminio convencionales.

[0023] Una etapa de envejecimiento máximo (a veces denominado procedimiento de endurecimiento por precipitación) generalmente puede referirse al uso de calor elevado para producir partículas finas de una segunda fase en una aleación. En el caso de las aleaciones mejoradas de aluminio-circonio descritas en esta invención, los precipitados a nanoescala deseados se pueden formar durante el envejecimiento máximo. El envejecimiento máximo se puede realizar como un tratamiento térmico independiente en una varilla de retrefilado, o combinado con la etapa de recocido de un alambre trefilado intermedio o terminado. El envejecimiento máximo se puede llevar a cabo con cualquier sistema de calentamiento adecuado, tal como horno de resistencia, horno de inducción u horno de gas. Para una aleación de aluminio-circonio formada de $\text{Al}_{99}\%\text{Fe}_{(0,4-0,5\%)}\text{Zr}_{(0,25-0,3\%)}\text{Sn}_{(0,05-0,1\%)}$, un procedimiento de envejecimiento máximo puede implicar calentar la varilla de retrefilado después de laminar en caliente a una temperatura elevada entre aproximadamente 400 °C y aproximadamente 450 °C en determinadas realizaciones, y entre aproximadamente 425 °C y aproximadamente 450 °C en determinadas realizaciones. La duración de una etapa de envejecimiento máximo puede ser de aproximadamente 24 horas a aproximadamente 48 horas en determinadas realizaciones y aproximadamente 24 horas en determinadas realizaciones. En determinadas realizaciones, el envejecimiento máximo de una varilla de retrefilado puede aumentar ligeramente la resistencia a la tracción a temperaturas de envejecimiento más bajas o disminuir ligeramente la resistencia a la tracción a temperaturas de envejecimiento más altas y puede aumentar la conductividad de aproximadamente 52 % de IACS a aproximadamente 58 % de IACS. Después del envejecimiento térmico a 400 °C durante 48 horas, la dureza de Vickers para una aleación de aluminio-circonio descrita en esta invención puede ser de aproximadamente 475 MPa o mayor.

[0024] Según determinadas realizaciones, una etapa de envejecimiento máximo se puede combinar con una etapa de recocido de un alambre trefilado intermedio o terminado. La combinación de una etapa de envejecimiento máximo y una etapa de recocido en una sola etapa puede promover la formación de precipitados a nanoescala mientras que también actúa para mejorar la ductilidad, menor resistencia y/o dureza, y recuperar la conductividad perdida durante el endurecimiento que puede ocurrir durante un procedimiento de trefilado del alambre. La etapa combinada de recocido y envejecimiento máximo puede ocurrir en el aire. En determinadas realizaciones, puede producirse una etapa combinada de envejecimiento máximo y recocido a una temperatura de entre aproximadamente 300 °C y aproximadamente 450 °C durante una duración de entre aproximadamente 3 horas y aproximadamente 24 horas. En determinadas realizaciones, se puede realizar una etapa de recocido después del trefilado de alambre después del envejecimiento máximo de una varilla de retrefilado. En tales realizaciones, la etapa de recocido se puede usar para mejorar la ductilidad, menor resistencia y/o dureza, y recuperar la conductividad perdida durante el endurecimiento que ocurre durante el procedimiento de trefilado. La etapa opcional de envejecimiento máximo puede influir tanto en la temperatura como en la duración de cualquier etapa de recocido. Por ejemplo, si se realiza un procedimiento de envejecimiento máximo en una varilla de retrefilado, puede producirse una etapa de recocido posterior a una temperatura más baja y/o durante un período de tiempo más corto que un alambre recocido sin una etapa de envejecimiento máximo. Por ejemplo, un alambre conductor de $\text{Al}_{99}\%\text{Fe}_{(0,4-0,5\%)}\text{Zr}_{(0,25-0,3\%)}\text{Sn}_{(0,05-0,1\%)}$ que experimenta tanto un envejecimiento máximo como un recocido puede utilizar una temperatura de entre aproximadamente 300 °C y aproximadamente 400 °C para la etapa de recocido en lugar de una temperatura superior a 400 °C utilizada en un cable comparable que tiene una etapa combinada de recocido y envejecimiento máximo. Como se puede apreciar, si se realizan múltiples etapas de trefilado de alambre, se puede realizar un procedimiento de recocido después de cada una de dichas etapas para mejorar la ductilidad, menor resistencia y/o dureza, y recuperar la conductividad perdida durante el endurecimiento que se produce durante dichos procedimientos de trefilado de alambre.

[0025] Se describe un ejemplo no limitativo de un procedimiento de trefilado adecuado. En el ejemplo de procedimiento de trefilado de alambre, se puede colar continuamente una barra en estado bruto de colada trapezoidal con un área de sección transversal de aproximadamente 3,710 mm² (5,75 in²). La barra en estado bruto de colada trapezoidal se puede laminar en caliente en una varilla de retrefilado de 9,525 mm (0,375"). La varilla de retrefilado de 9,525 mm puede ser sometida a envejecimiento máximo durante aproximadamente 48 horas a aproximadamente 420 °C para formar precipitados a nanoescala adecuados antes del trefilado del alambre a un alambre intermedio de 1,6 mm (0,063"). El alambre intermedio de 1,6 mm así trefilado se puede recocer durante aproximadamente 6 horas a aproximadamente 400 °C para mejorar la ductilidad requerida para el trefilado de alambre adicional. El alambre intermedio se puede trefilar a continuación a un alambre de aproximadamente 0,3 mm (0,0118") de diámetro. El alambre de 0,3 mm así trefilado se puede recocer posteriormente para mejorar aún más la ductilidad, menor resistencia y/o dureza, y recuperar la conductividad perdida durante el endurecimiento asociado con la etapa final de trefilado del alambre.

[0026] Los detalles adicionales acerca de las aleaciones de aluminio-circonio adecuadas y las etapas de tratamiento térmico se describen en la publicación de solicitud de patente estadounidense n.º 2015/0259773 A1.

[0027] Los cables que incluyen elementos conductores formados a partir de las aleaciones mejoradas de aluminio-circonio descritas en esta invención se pueden utilizar en una variedad de aplicaciones que incluyen, por ejemplo, aplicaciones automotrices, aplicaciones aeroespaciales, aplicaciones de transmisión de energía, aplicaciones

de cableado doméstico y cualquier otra aplicación que requiera un cable ligero. Por ejemplo, las aleaciones mejoradas de aluminio-circonio descritas en esta invención pueden ser particularmente útiles como un cable de energía eléctrica en sistemas de alimentación en la industria aeroespacial y automotriz que incluyen, por ejemplo, como un alambre de batería en un vehículo con alimentación eléctrica. Los elementos conductores formados a partir de una aleación

5 mejorada de aluminio-circonio tal como se describe en esta invención se pueden utilizar en alambres tan pequeños como aproximadamente 1 μm de diámetro en determinadas realizaciones o tan grandes como aproximadamente 25,4 mm (1") de diámetro en determinadas realizaciones. Por ejemplo, en determinadas realizaciones, pueden formarse alambres de unión de aluminio tan pequeños como aproximadamente 18 μm (0,7 mils) de diámetro y, en determinadas realizaciones, pueden formarse alambres tan grandes como aproximadamente 4/0 (11,68 mm o 0,46") de diámetro.

10 **[0028]** Generalmente, los presentes alambres o elementos conductores de aleación de aluminio-circonio pueden utilizarse de manera similar a los alambres o elementos conductores producidos a partir de aleaciones de aluminio conocidas, tales como aleaciones de aluminio-circonio resistentes al calor y aleaciones de aluminio de la serie 8000. Ciertos ejemplos convencionales de aleaciones de aluminio-circonio resistentes al calor se describen en

15 la especificación para el protocolo de ensayo ASTM B941 y pueden tener, por ejemplo, la fórmula química $\text{AlZr}_{0,287}\% \text{Fe}_{0,206}\% \text{Si}_{0,045}\%$. Sin embargo, como se apreciará, la resistencia a la fluencia mejorada y la resistencia a la relajación de la tensión de las aleaciones mejoradas de aluminio-circonio descritas en esta invención pueden permitir un mejor rendimiento de los cables, así como nuevos usos.

20 **[0029]** Los cables que incluyen elementos conductores formados por las aleaciones mejoradas de aluminio-circonio descritas en esta invención se pueden construir generalmente usando técnicas y geometrías de cable conocidas al reemplazar los elementos conductores existentes con el elemento conductor formado a partir de la aleación mejorada de aluminio-circonio. Por ejemplo, los cables de energía eléctrica simples pueden formarse trenzando elementos conductores de aleación de aluminio-circonio y a continuación recubriendo los elementos

25 conductores con una capa de aislamiento y/o capa de revestimiento. Cualquier capa de aislamiento o capa de revestimiento conocida se puede utilizar como se conoce en la técnica.

[0030] En determinadas realizaciones, los elementos conductores formados por una aleación mejorada de aluminio-circonio descrita en esta invención pueden incluirse en cables conductores aéreos. Como puede apreciarse,

30 los conductores aéreos pueden formarse en una variedad de configuraciones que incluyen cables conductores de aluminio reforzados con acero ("ACSR"), cables conductores de aluminio con soporte de acero ("ACSS"), cables conductores de aluminio de alma compuesta ("ACCC") y todos los cables conductores de aleación de aluminio ("AAAC"). Los cables ACSR son conductores trenzados de alta resistencia e incluyen hilos conductores externos e hilos de soporte central. Los hilos conductores externos pueden formarse a partir de las aleaciones mejoradas de

35 aluminio-circonio descritas en esta invención. Los hilos de soporte central pueden ser de acero y pueden tener la resistencia necesaria para soportar los hilos conductores externos más dúctiles. Los cables ACSR pueden tener una resistencia a la tracción general alta. Los cables ACSS son cables trenzados concéntricos e incluyen un alma central de acero alrededor de la cual se trenzan una, o más, capas de los alambres de aleación mejorada de aluminio-circonio. Los cables ACCC, por el contrario, están reforzados por un alma central formada por uno o más materiales de carbono,

40 fibra de vidrio o polímero. Un alma compuesta puede ofrecer una variedad de ventajas sobre un cable convencional totalmente de aluminio o reforzado con acero, ya que la combinación del alma compuesta de alta resistencia a la tracción y bajo hundimiento por calor permite tramos más largos. Los cables ACCC pueden permitir la construcción de nuevas líneas con menos estructuras de soporte. Los cables AAAC se pueden fabricar con los cables de aleación mejorada de aluminio-circonio. Los cables ACSR, ACSS, ACCC y AAAC se pueden usar como cables aéreos para la

45 distribución aérea y las líneas de transmisión.

[0031] Los conductores de alma compuesta son útiles debido a que tienen un hundimiento más bajo a temperaturas de funcionamiento más altas y su mayor relación resistencia a peso. Los ejemplos no limitantes de almas compuestas se pueden encontrar en la patente estadounidense n.º 7.015.395, en la patente estadounidense n.º

50 7.438.971, en la patente estadounidense n.º 7.752.754, en la solicitud de patente estadounidense n.º 2012/0186851, en la patente estadounidense n.º 8.371.028, en la patente estadounidense n.º 7.683.262 y en la solicitud de patente estadounidense n.º 2012/0261158.

[0032] Las propiedades beneficiosas de las aleaciones mejoradas de aluminio-circonio descritas en esta

55 invención también pueden facilitar la formación de alambres de unión a partir de las aleaciones descritas. Como se puede apreciar, los alambres de unión se utilizan para facilitar la interconexión eléctrica de uno o más componentes a través de distancias relativamente cortas. Por ejemplo, los alambres de unión se pueden utilizar para la interconexión de un microprocesador (dispositivo microelectrónico) a un paquete de microprocesador o placa de circuito impreso, una celda de batería a otra celda de batería, o se pueden utilizar en la electrónica de perforación de fondo del pozo.

60 Los ejemplos de unión de alambre se describen en la patente estadounidense n.º 7.671.565 y en la patente estadounidense n.º 4.580.713. Los alambres de unión adecuados están formados por metales y aleaciones metálicas que presentan una variedad de propiedades útiles, tales como una buena adherencia a los sustratos y resistencia al calor, fatiga y fluencia. Las aleaciones mejoradas de aluminio-circonio descritas en esta invención pueden presentar un buen equilibrio de estas propiedades y los alambres formados por las aleaciones mejoradas pueden presentar un

65 mejor rendimiento de resistencia que los alambres formados por aluminio puro.

[0033] Por ejemplo, los alambres de unión formados por las aleaciones de aluminio-circonio descritas en esta invención pueden demostrar buenos resultados cuando se someten a ensayo según los procedimientos de envejecimiento por calor descritos en la norma ASTM B941, pueden resistir el fallo por fatiga durante al menos 5 aproximadamente 10^6 ciclos a 85 MPa de tensión aplicada cuando se someten a ensayo según la norma ASTM E466, y pueden presentar una velocidad de fluencia de aproximadamente 50 % por hora o menos cuando se someten a ensayo a 50 MPa de tensión aplicada a una temperatura de 185 °C cuando se someten a ensayo de acuerdo con la norma ASTM E139. En determinadas realizaciones, los alambres de unión descritos pueden resistir fallos por fatiga durante al menos aproximadamente 10^7 ciclos a 85 MPa de tensión aplicada cuando se someten a ensayo de acuerdo con la norma ASTM E466. En determinadas realizaciones, los alambres de unión descritos pueden presentar una 10 velocidad de fluencia de aproximadamente 25 % por hora o menos cuando se someten a ensayo a 50 MPa de tensión aplicada a una temperatura de 185 °C cuando se someten a ensayo de acuerdo con la norma ASTM E139 y, en determinadas realizaciones, pueden presentar una velocidad de fluencia de aproximadamente 15 % por hora o menos.

[0034] La norma ASTM B941 proporciona orientación sobre la preparación de muestras y el protocolo de ensayo de envejecimiento por calor para alambres redondos de aluminio-circonio resistentes al calor. Los cables de aluminio-circonio descritos en esta invención demostraron un valor de resistencia última a la tracción después del envejecimiento por calor durante 1 hora a 280 °C de aproximadamente 90 % o más del valor de resistencia última a la tracción sin envejecer cuando se someten a ensayo de acuerdo con la norma ASTM B941. En determinadas 20 realizaciones, se retuvo aproximadamente un 95 % o más de la resistencia última a la tracción sin envejecer. En determinadas realizaciones, se retuvo aproximadamente un 99 % o más de la resistencia última a la tracción.

[0035] Asimismo, los alambres de unión de 387 μm de diámetro y formados por las aleaciones de aluminio-circonio descritas requirieron aproximadamente 1000 cN de fuerza de tracción para romper el alambre cuando se 25 sometieron a ensayo de acuerdo con la norma ASTM F459 y con una fuerza de más de 2.500 gramos para romper el alambre cuando se sometieron a ensayo de acuerdo con la prueba de fuerza de cizallamiento de acuerdo con la norma JESD22-B116 con un alambre de 20 mil (0,508 mm). Estos resultados demuestran la adherencia de los cables. Como se puede apreciar, tales propiedades pueden permitir que los alambres de unión formados por las aleaciones de aluminio-circonio descritas se utilicen en una variedad de condiciones que someten el alambre de unión a temperaturas 30 elevadas y tensión mecánica, tal como para la interconexión de celdas de batería en un automóvil eléctrico.

[0036] Los alambres de unión formados por 99,99 % de aluminio puro, por el contrario, presentan propiedades desfavorables tales como malos resultados en la prueba de la norma ASTM B941 al presentar una resistencia última a la tracción inferior a aproximadamente un 75 % de la resistencia última a la tracción preenvejecida. Los alambres de 35 aluminio puro también fallan en una prueba de fatiga que aplica 85 MPa de tensión aplicada después de menos de 10^5 ciclos cuando se someten a ensayo de acuerdo con la norma ASTM E466.

[0037] Los alambres de unión adecuados pueden tener un diámetro de aproximadamente 1 μm a aproximadamente 1000 μm dependiendo de la interconexión específica que realiza el alambre de unión. Los alambres 40 de unión formados por las aleaciones de aluminio-circonio descritas en esta invención pueden tener diámetros de aproximadamente 1 μm a aproximadamente 1000 μm en determinadas realizaciones, de aproximadamente 100 μm a aproximadamente 700 μm en determinadas realizaciones y de aproximadamente 300 μm a aproximadamente 500 μm en determinadas realizaciones. Los alambres de unión descritos en esta invención pueden tener una longitud de aproximadamente 1 mm a aproximadamente 50 mm en determinadas realizaciones. Como se puede apreciar, las 45 dimensiones de los alambres de unión también se pueden describir en términos de la relación entre la longitud y el diámetro del alambre. Las relaciones adecuadas entre la longitud y el diámetro de los alambres de unión descritos en esta invención pueden incluir relaciones de aproximadamente 100:1 en determinadas realizaciones; aproximadamente 50:1 en determinadas realizaciones; aproximadamente 20:1 en determinadas realizaciones; aproximadamente 12:1 en determinadas realizaciones; aproximadamente 10:1 en determinadas realizaciones; aproximadamente 5:1 en 50 determinadas realizaciones; aproximadamente 3:1 en determinadas realizaciones; y aproximadamente 1:1 en determinadas realizaciones.

[0038] Los sustratos metálicos adecuados a los que se pueden unir los alambres de unión descritos pueden incluir sustratos de níquel, sustratos de paladio, sustratos de oro, sustratos de plata y sustratos formados por cualquier 55 aleación de dichos metales.

[0039] Como se puede apreciar, los alambres de unión generalmente se pueden unir a sustratos metálicos utilizando técnicas conocidas en la materia. Las técnicas utilizadas para unir un alambre de unión a un sustrato pueden incluir, por ejemplo, unión por termocompresión, unión por cuña y por bola termosónica y unión con cuña en cuña 60 ultrasónica. La unión termosónica es particularmente útil cuando se utilizan alambres de unión formados por las aleaciones de aluminio-circonio descritas.

Ejemplos

[0040] La Tabla 1 ilustra las composiciones de varios Ejemplos de aleaciones de aluminio. Los Ejemplos

comparativos 1 y 2 son una aleación de aluminio de la serie 8000 y una aleación de aluminio-circonio resistente al calor, respectivamente. Los Ejemplos inventivos 3 y 4 representan aleaciones de aluminio-circonio que incluyen un inoculante de estaño. Las aleaciones de aluminio del Ejemplo representadas en la Tabla 1 se procesaron en alambres para evaluar diversas propiedades físicas y eléctricas presentadas por las aleaciones.

5

TABLA 1

Aleación	Fe	Zr	Sn	Otros elementos				Al e impurezas inevitables
				Si	Zn	Ti	Ga	
Ejemplo comparativo 1 (aleación de aluminio de la serie 8000)	0,430 %	-	-	0,040 %	0,020 %	0,01 %	0,01 %	-
Ejemplo comparativo 2 (aleación de aluminio-circonio resistente al calor)	0,206 %	0,287 %	-	0,045 %	0,010 %	0,01 %	0,01 %	Resto
Ejemplo inventivo 3	0,430 %	0,300 %	0,100 %	0,040 %	0,020 %	-	-	Resto
Ejemplo inventivo 4	0,431 %	0,266 %	0,072 %	0,043 %	0,01 %	0,01 %	0,01 %	Resto

[0041] La Tabla 2 ilustra los resultados de los ensayos de los alambres de 3,175 mm formados a partir de las aleaciones de aluminio del Ejemplo comparativo 1 y el Ejemplo inventivo 3. Se evaluaron los alambres de cada aleación de aluminio del Ejemplo para determinar el alargamiento en la rotura, la resistencia última a la tracción ("UTS"), la conductividad y la relajación de la tensión a temperatura ambiente. El tiempo de relajación de la tensión se midió de acuerdo con la norma ASTM E328. La UTS y el alargamiento en la rotura se midieron de acuerdo con la norma ASTM E8.

TABLA 2

ID	Alargamiento (%)	UTS (MPa)	Conductividad a 20 °C (% de IACS)	Tiempo de relajación de la tensión* (horas)
Ejemplo comparativo 1	12-16	94-117	62,0-62,6	2,7 (85 % de la tensión inicial) 15,1 (80 % de la tensión inicial)
Ejemplo inventivo 3	14,9-15,7	140-142	58,2-60,4	5,5 (85 % de la tensión inicial) 59,7 (80 % de la tensión inicial)

[0042] Como se ilustra en la Tabla 2 y en la FIG. 1, los alambres formados por la aleación del Ejemplo inventivo 3 presentan una resistencia última a la tracción y una relajación de la tensión superiores en comparación con los alambres formados por la aleación de aluminio del Ejemplo comparativo 1.

[0043] La FIG. 1 representa además los resultados de relajación de la tensión a temperatura ambiente de los alambres formados de los Ejemplos comparativos 1 y del Ejemplo inventivo 3 evaluados en la Tabla 2. Como se ilustra en la FIG. 1, los cables formados del Ejemplo inventivo 3 tardan aproximadamente el doble que los cables formados del Ejemplo comparativo 1 en relajarse hasta el 85 % de la tensión inicial (5,5 horas en comparación con 2,7 horas). La tensión inicial se fijó en el 75 % del esfuerzo de fluencia en cada caso. Esta diferencia en el tiempo de relajación de la tensión aumenta con el aumento del tiempo. Por ejemplo, los alambres formados del Ejemplo inventivo 3 tardan aproximadamente 4 veces más que los alambres formados del Ejemplo comparativo 1 en relajarse al 80 % de la tensión inicial (extrapolado a 59,7 horas en comparación con 15,1 horas).

[0044] La Tabla 3 representa el rendimiento de envejecimiento por calor de las varillas de retrefilado de 9,525 mm formadas a partir de las aleaciones de aluminio del Ejemplo comparativo 2 y el Ejemplo inventivo 4. El rendimiento de envejecimiento por calor detalla la conductividad UTS e IACS de las varillas de retrefilado después del envejecimiento por calor a temperaturas de aproximadamente 400 °C durante 8 horas, 24 horas y 48 horas. La resistencia última a la tracción se determinó midiendo la dureza de Vickers de acuerdo con la norma ASTM E92 y a continuación correlacionando la resistencia última a la tracción del valor de dureza de Vickers multiplicando por aproximadamente un tercio (1/3).

TABLA 3

Tiempo de envejecimiento (horas)	UTS (MPa)			Conductividad a 20 °C (% de IACS)		
	Ejemplo comparativo 2	Ejemplo inventivo 4	% de diferencia	Ejemplo comparativo 2	Ejemplo inventivo 4	% de diferencia
0	137	155	12,6	52,4	50,4	-3,8
8	124	145	16,7	55,3	53,3	-3,6
24	136	164	20,6	56,2	55,6	-1,1
48	125	163	29,8	57,7	57,2	0,0
% de mejora/caída después de 48 horas	-8,7	5,2		10,1	13,5	

[0045] Como se ilustra en la Tabla 3, las varillas de retrefilado formadas a partir de las aleaciones de aluminio del Ejemplo inventivo 4 presentan propiedades mejoradas después del envejecimiento por calor y las varillas de retrefilado coinciden con o exceden las propiedades de las varillas de retrefilado formadas a partir de las aleaciones de aluminio del Ejemplo comparativo 2. Por ejemplo, las varillas de retrefilado formadas a partir de la aleación de aluminio del Ejemplo inventivo 4 presentan una UTS superior tanto en valores absolutos como en la mejora después del envejecimiento por calor. Las varillas de retrefilado formadas del Ejemplo inventivo 4 también coinciden con la conductividad de IACS de las varillas de retrefilado formadas a partir de la aleación de aluminio del Ejemplo comparativo 2 después del envejecimiento por calor durante 48 horas.

Rendimiento de envejecimiento isócrono

[0046] La Tabla 4 ilustra el cambio en las propiedades de envejecimiento máximo para varillas en estado bruto de colada de 38,1 mm (1,5") formadas a partir de las aleaciones de aluminio del Ejemplo comparativo 5 y el Ejemplo inventivo 6 después del envejecimiento por calor durante un tiempo constante. Las varillas en estado bruto de colada formadas a partir del Ejemplo comparativo 5 y el Ejemplo inventivo 6 difieren en su inclusión de un inoculante de estaño. La aleación de aluminio del Ejemplo comparativo 5 es $\text{AlFe}_{0,55}\text{Zr}_{0,34}$ mientras que la aleación de aluminio del Ejemplo inventivo 6 es $\text{AlFe}_{0,55}\text{Zr}_{0,34}\text{Sn}_{0,1}$. La resistencia última a la tracción se determinó midiendo la dureza de Vickers de acuerdo con la norma ASTM E92 y a continuación correlacionando la resistencia última a la tracción del valor de dureza de Vickers multiplicando por aproximadamente un tercio (1/3).

TABLA 4

	Ejemplo comparativo 5	Ejemplo inventivo 6
Temperatura de envejecimiento máximo (°C)	475	430
UTS (MPa)		
Inicial	92	110
En la temperatura de envejecimiento máximo	153	165
Conductividad (% de IACS)		
Inicial	50	51,5
En la temperatura de envejecimiento máximo	57	57,5

[0047] Tal como se ilustra en la Tabla 4, las varillas en estado bruto de colada formadas del Ejemplo inventivo 6 presentan una UTS inicial más alta antes del envejecimiento por calor (110 MPa frente a 92 MPa), una UTS máxima más alta después del envejecimiento por calor (165 MPa frente a 153 MPa) y logran la UTS máxima a una temperatura de envejecimiento por calor más baja que las varillas en estado bruto de colada formadas del Ejemplo comparativo 5 (430 °C frente a 475 °C). Las varillas en estado bruto de colada formadas del Ejemplo inventivo 6 presentan un aumento de 50,0 % en UTS después del envejecimiento por calor. También se observan tendencias similares para la conductividad de las varillas en estado bruto de colada formadas a partir del Ejemplo inventivo 6.

Rendimiento de envejecimiento a temperatura constante

[0048] La Tabla 5 representa la UTS y la conductividad de una varilla en estado bruto de colada de 38,1 mm (1,5") formada por las aleaciones del Ejemplo comparativo 5 y el Ejemplo inventivo 6 después de someterse a un envejecimiento por calor a una temperatura constante de 450 °C. Tal como se ilustra en la Tabla 5, las varillas en estado bruto de colada formadas del Ejemplo inventivo 6 presentan una conductividad y UTS inicial mayor que las varillas en estado bruto de colada formadas del Ejemplo comparativo 5 y logran estos beneficios con una menor duración de envejecimiento por calor. Después del envejecimiento por calor, las varillas en estado bruto de colada formadas del Ejemplo inventivo 6 presentan un aumento de 30,4 % en UTS. La resistencia última a la tracción se determinó midiendo la dureza de Vickers de acuerdo con la norma ASTM E92 y a continuación correlacionando la resistencia última a la tracción del valor de dureza de Vickers multiplicando por aproximadamente un tercio (1/3).

TABLA 5

	Ejemplo comparativo 5	Ejemplo inventivo 6
Tiempo de envejecimiento máximo	80 horas	30 horas
UTS (MPa)		
Inicial	87	115
En el tiempo de envejecimiento máximo	127	150
Conductividad (% de IACS)		
Inicial	49	51,5
En la temperatura de envejecimiento máximo	59	59,5

[0049] La Tabla 6 representa el efecto de estaño en UTS y la conductividad de varillas de retrefilado de 9,5 mm después del envejecimiento por calor a 400 °C durante varios períodos de tiempo. La Tabla 6 incluye varillas de retrefilado formadas a partir del Ejemplo comparativo 7 y el Ejemplo inventivo 8. La aleación de aluminio del Ejemplo comparativo 7 es $\text{AlFe}_{0,43}\text{Zr}_{0,3}$ y la aleación de aluminio del Ejemplo inventivo 8 es $\text{AlFe}_{0,43}\text{Zr}_{0,3}\text{Sn}_{0,072}$. La resistencia última a la tracción se determinó midiendo la dureza de Vickers de acuerdo con la norma ASTM E92 y a continuación correlacionando la resistencia última a la tracción del valor de dureza de Vickers multiplicando por aproximadamente un tercio (1/3).

TABLA 6

Tiempo de envejecimiento (horas)	UTS (MPa)			Conductividad a 20 °C (% de IACS)		
	Ejemplo comparativo 7	Ejemplo inventivo 8	% de diferencia	Ejemplo comparativo 7	Ejemplo inventivo 8	% de diferencia
0	156	169	8,3	53,7	50,6	-5,8
8	136	158	16,1	55,6	53,4	-3,9
24	135	179	17,0	56,7	55,6	-1,9
48	138	178	29,0	57,2	57,3	+0,2
% de mejora/caída después de 48 horas	-11,6	5,3		6,5	13,2	

10

[0050] Tal como se ilustra en la Tabla 6, las varillas de retrefilado del Ejemplo inventivo 8, que incluyen estaño al 0,072 %, permitieron que se produjera un pico de UTS después de aproximadamente 24 horas de envejecimiento por calor. Las varillas de retrefilado del Ejemplo comparativo 7, formadas sin estaño, tuvieron un pico de UTS que se produjo solo después de 48 horas de envejecimiento por calor. Es más, la adición de estaño al 0,072 % aumentó la UTS en aproximadamente un 29 % después de 48 horas de envejecimiento, con solo cambios menores en la conductividad eléctrica.

15

[0051] La Tabla 7 ilustra el alargamiento en la rotura, la resistencia última a la tracción, la conductividad y la fluencia de los alambres de unión de 0,3 mm de diámetro formados por aluminio puro (99,99 % de Al mínimo y marcado como Ejemplo comparativo 9), y a partir de la aleación de aluminio del Ejemplo inventivo 4. Como se ilustra en la Tabla 7, los alambres formados del Ejemplo inventivo 4 presentan una UTS, alargamiento en la rotura mejorada y una velocidad de fluencia a 185 °C que es aproximadamente 21 veces o más lenta que la velocidad de fluencia de los alambres formados por 99,99 % de aluminio puro a una tensión aplicada de 30 a 70 MPa cuando se mide de acuerdo con la norma ASTM E139.

25

TABLA 7

Ejemplo	Alargamiento (%)	UTS (MPa)	Conductividad a 20 °C (% de IACS)	Velocidad de fluencia a 185 °C (%/h)
Ejemplo comparativo 9 (aluminio puro)	11,4	103,8	63,5	7 (30 MPa de tensión aplicada) 210 (50 MPa de tensión aplicada) 2500 (70 MPa de tensión aplicada)
Ejemplo inventivo 4	12,4	110	59,9	0 (30 MPa de tensión aplicada) 10 (50 MPa de tensión aplicada) 110 (70 MPa de tensión aplicada)

[0052] Como se ilustra en la Tabla 8, se evaluó el rendimiento adicional del alambre de unión utilizando alambres formados por 99,99 % de aluminio puro (Ejemplo comparativo 9) y la aleación de aluminio del Ejemplo inventivo 4. Los alambres formados del Ejemplo comparativo 9 tenían 380 µm de diámetro mientras que los alambres 5 formados del Ejemplo inventivo 4 tenían 392 µm de diámetro.

TABLA 8

Ejemplo	UTS (MPa)	Conductividad a 20 °C (% de IACS)
Ejemplo comparativo 9 (aluminio puro) - alambre de 380 µm	60,5	63,8
Ejemplo inventivo 4 - alambre de 392 µm	88,9	59,0

Rendimiento de envejecimiento por calor

10 **[0053]** La Tabla 9 ilustra la UTS de alambres de 300 µm de diámetro formados a partir de la aleación de aluminio del Ejemplo inventivo 4 y 99,99 % de aluminio puro (Ejemplo comparativo 9) después del envejecimiento por calor a 300 °C. Tal como se ilustra en la Tabla 9, los alambres formados del Ejemplo inventivo 4 presentan una caída de UTS de aproximadamente 4 % después del envejecimiento por calor durante 24 horas, mientras que los alambres formados por aluminio puro presentan una caída de UTS de aproximadamente 25 %.

15

TABLA 9

Resistencia última a la tracción (MPa) después del envejecimiento por calor para:	Ejemplo inventivo 4	Ejemplo comparativo 9 (aluminio puro)
Inicial	111,0	95,1
2 horas	106,2	73,1
5 horas	106,9	71,0
24 horas	106,2	71,7

[0054] Los alambres de 300 µm de diámetro formados del Ejemplo inventivo 4 también demostraron excelentes resultados cuando se sometieron a ensayo de acuerdo con las normas de resistencia al calor de ASTM B941. La norma ASTM B941 describe el envejecimiento por calor de una muestra a 280 °C durante 1 hora y a continuación 20 enfría la muestra a temperatura ambiente. Los alambres de 300 µm formados del Ejemplo inventivo 4 retuvieron más del 99 % de UTS a temperatura ambiente cuando se sometieron a ensayo de acuerdo con la norma ASTM B941.

Rendimiento de fatiga

25 **[0055]** La FIG. 2 representa las propiedades de fatiga a temperatura ambiente del alambre de 1,6 mm formado a partir de las aleaciones de aluminio del Ejemplo comparativo 1 y el Ejemplo inventivo 4. Como se ilustra en la FIG. 2, los alambres formados a partir de la aleación de aluminio del Ejemplo inventivo 4 presentaron un rendimiento de

fatiga superior en comparación con los alambres formados a partir de la aleación de aluminio del Ejemplo comparativo 1 cuando se someten a ensayo de acuerdo con la norma ASTM E466.

Rendimiento de unión para aplicaciones de alambre de unión

5

[0056] Se utilizó una máquina de unión por cuña de alambre de aluminio pesado industrial (Hesse Mechatronics BJ939) para evaluar el rendimiento de unión de los alambres de unión formados por las aleaciones de aluminio del Ejemplo. El rendimiento se evaluó evaluando aproximadamente 1000 uniones realizadas con una aplicación de voltaje ultrasónico de 2 etapas. Se descubrió que el rendimiento de unión de los alambres formados por la aleación de aluminio del Ejemplo inventivo 4 coincide con o excede el rendimiento de los alambres idénticos formados por aluminio puro y otras aleaciones de alambre de unión de aluminio típicas (tales como Al-1 % Si y Al-Mg). Los alambres formados del Ejemplo inventivo 4 no presentaron ningún fallo de unión (que incluye grietas en el pie, longitudes anormales de la cola, orejas de unión o áreas deformadas) con el ajuste adecuado de los parámetros de unión relevantes (potencia ultrasónica, fuerza de unión, duración ultrasónica y altura del bucle). Además, las uniones funcionaron muy bien en pruebas de tracción estándar y pruebas de cizallamiento. Por ejemplo, las uniones hechas con alambre de 387 μm formado del Ejemplo inventivo 4 sobrevivieron a una prueba de tracción de 1000 cN realizada de acuerdo con la norma ASTM F459 y a una fuerza mayor de 2500 gramos en una prueba de cizallamiento de 20 mil (0,508 mm) realizada de acuerdo con la norma JESD22-B116A. Los resultados de la prueba de cizallamiento se representan en la FIG. 3.

10

15

REIVINDICACIONES

1. Un alambre de unión formado a partir de una aleación de aluminio-circonio, comprendiendo la aleación de aluminio-circonio un inoculante que comprende estaño, donde la aleación de aluminio-circonio comprende:
5 99 % en peso de aluminio;
de 0,2 % a 0,4 % en peso de circonio;
de 0,3 % a 0,5 % en peso de hierro; y
de 0,01 % a 0,2 % en peso de estaño.
- 10 2. El alambre de unión de la reivindicación 1, donde el inoculante comprende uno o más de indio, antimonio y magnesio.
3. El alambre de unión de la reivindicación 1, donde el diámetro es de 300 μm a 500 μm .
- 15 4. El alambre de unión de la reivindicación 1, donde la relación longitud a diámetro es de 100:1 a 1:1.
5. Un sistema de batería para un vehículo, comprendiendo el sistema de batería al menos dos celdas de batería y un alambre de unión de la reivindicación 1, donde las al menos dos celdas de batería están conectadas por
20 el alambre de unión.
6. Un dispositivo microelectrónico que comprende el alambre de unión de la reivindicación 1.
7. Un cable que comprende:
25 al menos un elemento conductor formado a partir de una aleación de aluminio-circonio que comprende un inoculante que comprende estaño, donde la aleación de aluminio-circonio comprende:
99 % en peso de aluminio;
de 0,2 % a 0,4 % en peso de circonio;
30 de 0,3 % a 0,5 % en peso de hierro; y
de 0,01 % a 0,2 % en peso de estaño.
8. El cable de la reivindicación 7, donde el inoculante comprende uno o más de indio, antimonio y magnesio, o donde la aleación de aluminio-circonio comprende además silicio.
- 35 9. El cable de la reivindicación 7, donde el al menos un elemento conductor tiene un alargamiento en la rotura de 7 % o más.
10. El cable de la reivindicación 7, donde el cable es un alambre de unión.
- 40 11. Un procedimiento de fabricación de un cable, comprendiendo el procedimiento:
colar continuamente una forma en estado bruto de colada formada por una aleación de aluminio-circonio que
45 comprende un inoculante que comprende estaño, donde la aleación de aluminio-circonio comprende:
99 % en peso de aluminio;
de 0,2 % a 0,4 % en peso de circonio;
de 0,3 % a 0,5 % en peso de hierro; y
50 de 0,01 % a 0,2 % en peso de estaño;
laminar en caliente la forma en estado bruto de colada para formar una varilla de retrefilado;
trefilar la varilla de retrefilado en un alambre; y
recocer el alambre para formar un cable.
- 55 12. El procedimiento de la reivindicación 11, que comprende además la etapa de cortar el cable para formar un alambre de unión que tiene una relación de longitud a diámetro de 100:1 a 1:1.
13. El procedimiento de la reivindicación 11, que comprende además la etapa de envejecimiento máximo de la varilla de retrefilado antes del trefilado, comprendiendo la etapa de envejecimiento máximo calentar la varilla de
60 retrefilado a una temperatura entre 400 °C y 450 °C durante un período de tiempo que varía de 6 horas a 12 horas.
14. El procedimiento de la reivindicación 11, donde la etapa de recocer el producto de precableado comprende calentar el alambre a una temperatura entre 300 °C y 450 °C durante un período de tiempo que varía de
65 6 horas a 24 horas.

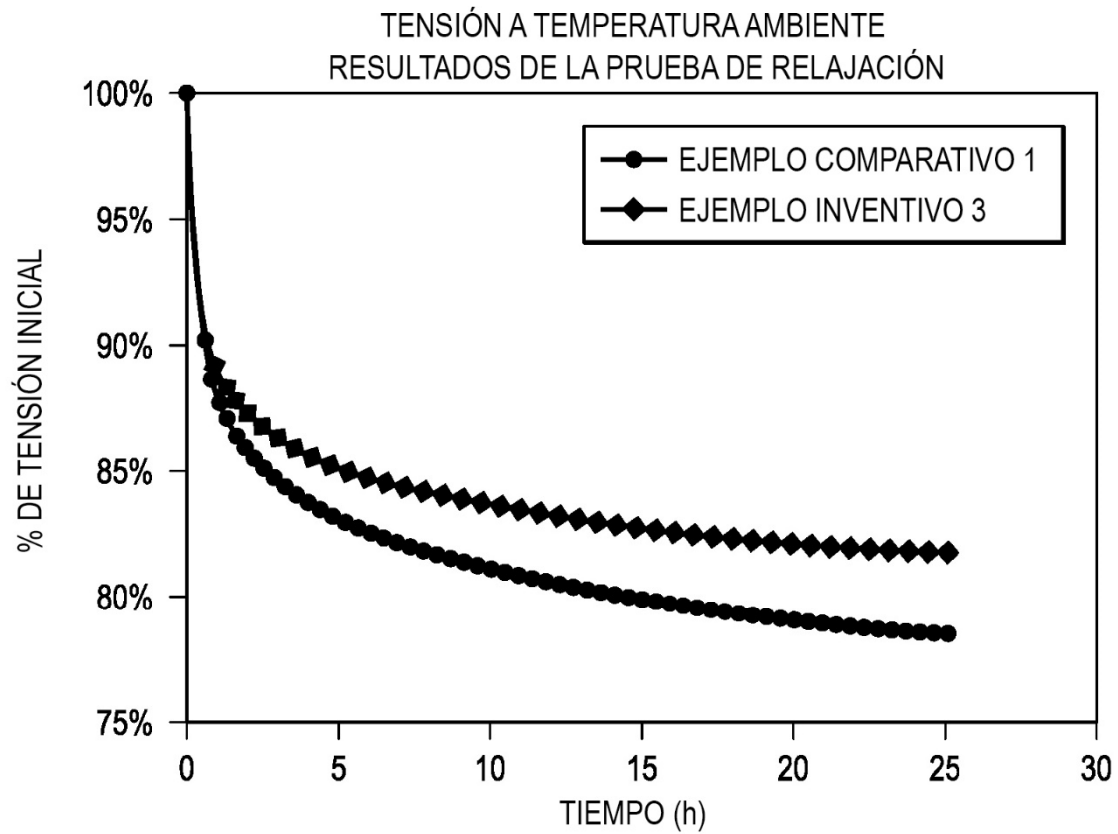


FIG. 1

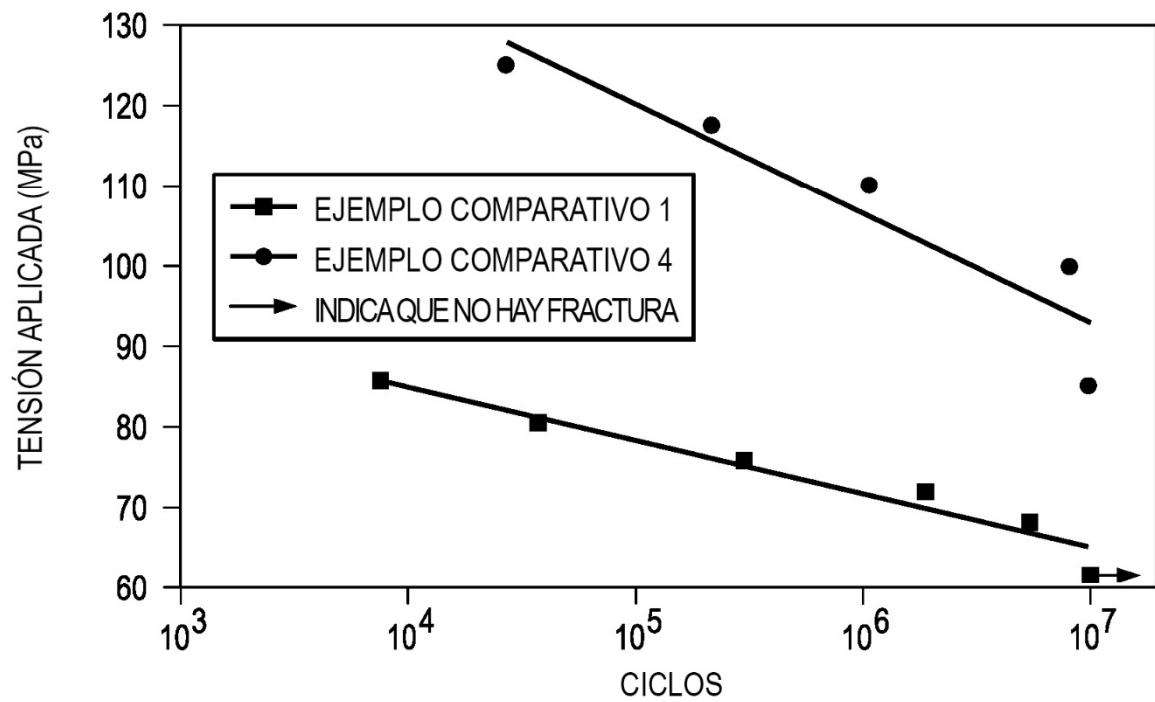


FIG. 2

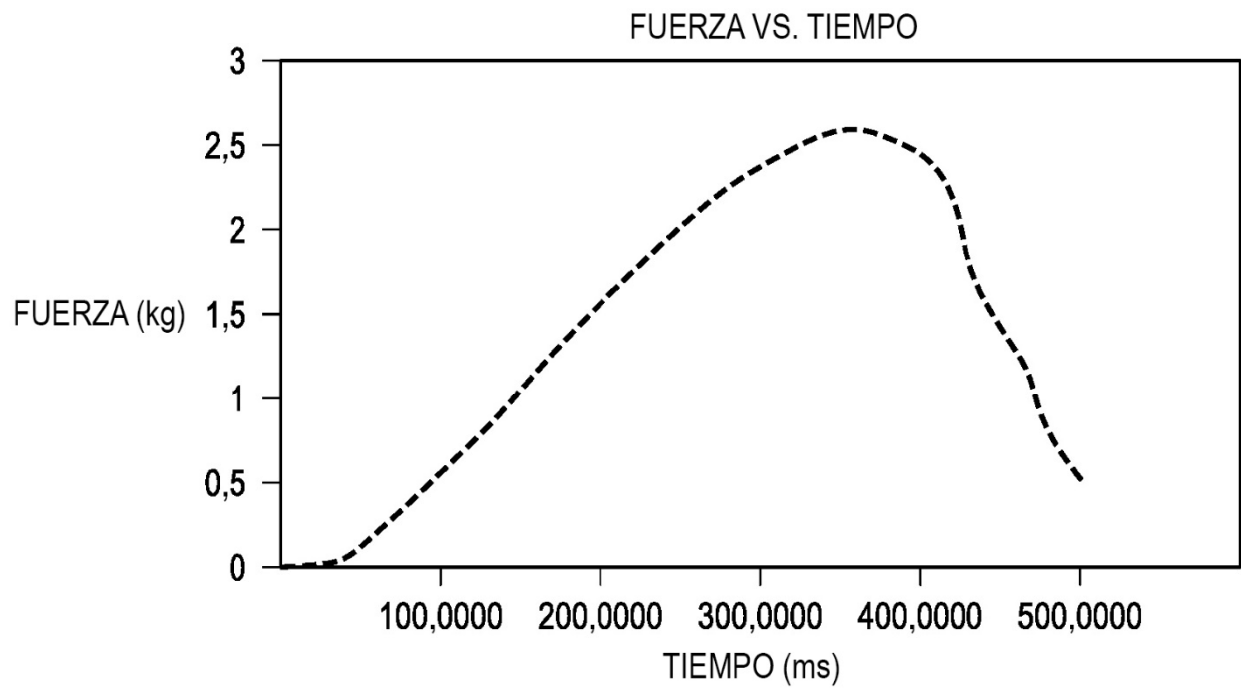


FIG. 3