

(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS  
ESPAÑA



(11) Número de publicación: **2 880 505**

(51) Int. Cl.:

**B23K 35/28** (2006.01)  
**B23K 35/40** (2006.01)  
**B23K 35/00** (2006.01)  
**B23K 35/02** (2006.01)  
**C22C 21/00** (2006.01)  
**C22C 21/02** (2006.01)  
**C22C 21/06** (2006.01)  
**C22C 21/08** (2006.01)  
**C22C 21/12** (2006.01)  
**C22F 1/04** (2006.01)

(12)

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **13.05.2016 PCT/EP2016/060926**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **17.11.2016 WO16180985**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.05.2016 E 16722892 (3)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.05.2021 EP 3294490**

---

(54) Título: **Un método de unir dos componentes, una unión formada a partir del método y un método de unir un extrudido a un componente**

(30) Prioridad:

**14.05.2015 GB 201508278**

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

**24.11.2021**

(73) Titular/es:

**HYBOND AS (100.0%)  
NAPIC, Department of Materials Science and Engineering, Norwegian University of Science and Technology  
7491 Trondheim, NO**

(72) Inventor/es:

**GRONG, ØYSTEIN;  
AAKENES, ULF ROAR;  
AUSTIGARD, TOR GUNNAR y  
BJERING, TORBJØRN**

(74) Agente/Representante:

**ISERN JARA, Jorge**

**ES 2 880 505 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

Un método de unir dos componentes, una unión formada a partir del método y un método de unir un extrudido a un componente

- 5 En términos generales, la presente invención se relaciona con el uso de un material de extrusión, por ejemplo, alambre de relleno, en procesos híbridos de extrusión y unión de metales.
- 10 Se conocen varias técnicas para unir dos materiales entre sí, en particular metales ligeros, tal como el aluminio.
- 15 Una de estas técnicas es la soldadura por fusión, donde tanto el metal base como el posible metal de relleno se funden mediante un arco eléctrico, haz de electrones o rayo láser, que permite lograr la unión de metal a metal en la parte posterior del baño de soldadura durante cristalización. En la soldadura por fusión, solo una fracción de la energía suministrada contribuye a la fusión y, por lo tanto, a la unión. La mayor parte de la energía suministrada conduce a un calentamiento local del metal base y a la formación de la denominada zona afectada por el calor (en la bibliografía comúnmente conocida como HAZ) alrededor de la unión soldada. Esta zona representa un problema, porque los cambios microestructurales resultantes conducen a una degradación mecánica permanente del metal original. Las propiedades de la zona de soldadura se convertirán así en el factor limitante en el diseño de ingeniería y, en la práctica, determinarán la capacidad de carga-soporte del componente. Además, el exceso de energía (es decir, calor) suministrado conduce a elevadas tensiones residuales en la región de soldadura, así como a deformaciones y distorsiones globales. Estos problemas son mayores en la soldadura de metales ligeros, tal como el aluminio, que en la soldadura de acero, ya que las posibilidades de tomar las acciones de precaución necesarias, por ejemplo modificando la microestructura de HAZ mediante el ajuste de la composición química del metal base, son más difíciles en el primer caso.
- 20
- 25 En vista de estos problemas, se han utilizado procesos de soldadura más efectivos, como la soldadura por láser y la soldadura por haz de electrones, que proporcionan una HAZ mucho más estrecha. Sin embargo, estas técnicas introducen otros problemas relacionados con la resistencia al agrietamiento en caliente y la formación de poros en la zona de fusión. Además, adolecen de la desventaja de un equipo más costoso y menos versátil. Además, los requisitos de tolerancia son mucho más estrictos debido al hecho de que normalmente no se añade un metal de relleno.
- 30
- 35 En el pasado, se han realizado varios intentos con el fin de desarrollar técnicas alternativas para la unión de metales ligeros. Ejemplos incluyen la soldadura por fricción o una variante conocida como soldadura por fricción y agitación (FSW).
- 40 En FSW las dos placas que se van a unir se presionan firmemente una contra la otra mientras se mueve una herramienta giratoria a lo largo de la interfaz (borde) entre ellas, eliminando la capa de óxido que, al menos para el aluminio, siempre estará presente en la superficie.
- 45
- 50 Aunque se produce un calentamiento por fricción considerable en la interfaz entre la herramienta de rotación y las placas de aluminio originales, la energía suministrada y, por lo tanto, el calor generado, es menor que en la soldadura por fusión, de modo que el metal base cerca de la unión no se derretirá y alcanzará un estado líquido. La soldadura por fricción y agitación es, por lo tanto, un ejemplo de una técnica de unión en estado sólido, que representa una mejora en comparación con la soldadura por fusión, ya que de este modo se reducen varios de los problemas comunes, es decir, el desarrollo de tensiones residuales elevadas y grietas calientes, formación de poros y baja resistencia a la corrosión. Por otro lado, esta técnica adolece de varias desventajas, una de las cuales es el requisito de que las superficies que se van a unir deben coincidir exactamente entre sí, ya que no se utiliza un metal de relleno. Otra desventaja es que los componentes que se van a unir deben presionarse entre sí con una fuerza considerable, lo que significa que el método requiere un equipo pesado y rígido. Finalmente, incluso este tipo de soldadura por fricción da lugar a la formación de una amplia HAZ, donde los cambios microestructurales resultantes conducen a un ablandamiento permanente del metal reforzado por precipitación.
- 55 Entre otros métodos de unión, cabe mencionar soldadura fuerte, remachado y unión adhesiva. Uno o más de estos métodos pueden ser convenientes para algunas áreas de aplicación, pero, en general, brindan una baja seguridad contra fallas y, por lo tanto, no son alternativas realistas a la soldadura en construcciones que soportan carga o peso.
- 60
- 65 Se conoce un método alternativo de estado sólido para unir componentes, por ejemplo, como se describe en el documento WO 03/ 043 775, que es adecuado para unir componentes de aluminio (u otros metales ligeros) para aplicaciones estructurales. Este método implica eliminar el óxido de las superficies que se van a unir inmediatamente antes de extrudir un material de relleno en una brecha entre las superficies que se van a unir para unir las dos superficies entre sí. Este método puede denominarse proceso híbrido de extrusión y unión de metales (HYB). Este método se basa en el principio de extrusión continua de un material de relleno/unión, y el objetivo es reducir o eliminar las desventajas del calentamiento excesivo relacionado con el método FSW y otros métodos de la técnica anterior.
- 70 La idea básica detrás del proceso HYB es permitir la unión en estado sólido de componentes de aluminio sin conducir a la formación de una zona de soldadura débil/blanda como en la soldadura por fusión convencional y FSW.

Este proceso HYB requiere un material de extrusión/relleno. Esto se debe a que utiliza la extrusión continua como técnica para exprimir el metal de relleno (FM) procedente del extrusor en la ranura entre las dos placas que se unirán a alta presión para lograr una unión metálica.

5 Los metales de relleno se utilizan ampliamente en la soldadura por fusión. Por ejemplo, en la soldadura MIG de aleaciones de aluminio se encuentran disponibles comercialmente tres tipos diferentes de metales de aportación; aluminio puro, aleaciones de aluminio-silicio con aproximadamente 5 % en peso de Si y aleaciones de aluminio-magnesio con aproximadamente 5 % en peso de Mg (algunas de ellas también pueden contener hasta 1 % en peso de Mn). Estos últimos están fuertemente sobrecargados con respecto a Si o Mg con el fin de reducir el riesgo de agrietamiento por solidificación durante la soldadura. Las grietas por solidificación se formarán inevitablemente en la zona de fusión si la composición del metal de aportación es similar a la del metal base de al menos uno de los componentes que se van a unir.

10 En la soldadura en estado sólido (incluyendo FSW) de aleaciones de aluminio, como se discutió anteriormente, no se emplean metales de relleno. Por lo tanto, los metales de relleno dedicados para aplicaciones específicas de unión en estado sólido no están disponibles comercialmente. En cambio, deben desarrollarse si surge una demanda.

15 Se ha descubierto que los materiales de relleno utilizados en la soldadura por fusión no son adecuados para su uso en el proceso HYB. Como resultado, existe la necesidad de un material de relleno que pueda usarse en el proceso HYB para proporcionar una unión fuerte y confiable.

20 En un primer aspecto, la presente invención proporciona un método para unir dos componentes usando un proceso híbrido de extrusión y unión de metales, comprendiendo el método: proporcionar los dos componentes, en el que cada uno de los componentes tiene una superficie de unión que se va a unir al otro componente; proporcionar un material de extrusión de aluminio para su uso en un proceso híbrido de extrusión y unión de metales, en el que el material de extrusión de aluminio está hecho de aleación de aluminio 2xxx, 5xxx, 6xxx, 7xxx u 8xxx, en el que la composición del material de extrusión comprende: 0 a 0.25 % en peso de hierro; al menos 0.05 % en peso de elementos formadores de dispersoides, en la que los elementos formadores de dispersoides comprenden 0 a 1.2 % en peso de manganeso, 0 a 0.25 % en peso de cromo, 0 a 0.25 % en peso de circonio y 0 a 0.25 % en peso de escandio; y, excepto cuando la aleación de aluminio del material de extrusión de aluminio está en la serie 2xxx, 0 a 0.05 % en peso de cobre, en el que la microestructura del material de extrusión es una microestructura deformada, y en el que la nanoestructura del material de extrusión comprende una matriz de aluminio con dislocaciones y dispersoides, y en el que al menos el 50 % de los elementos de aleación distintos de los elementos formadores de dispersoides y el hierro están en solución sólida en la matriz de aluminio; eliminar el óxido de las superficies de unión de los dos componentes, y extrudir el material de extrusión de aluminio entre las superficies de unión de los dos componentes.

25 En un segundo aspecto, la presente invención proporciona un método para unir un extrudido a un componente utilizando un proceso híbrido de extrusión y unión de metales, comprendiendo el método: proporcionar el componente, en el que el componente tiene una superficie sobre la que se depositará y unirá el extrudido; proporcionar un material de extrusión de aluminio para su uso en un proceso híbrido de extrusión y unión de metales, en el que el material de extrusión de aluminio está hecho de aleación de aluminio 2xxx, 5xxx, 6xxx, 7xxx u 8xxx, en el que la composición del material de extrusión comprende: 0 a 0.25 % en peso de hierro; al menos 0.05 % en peso de elementos formadores de dispersoides, en el que los elementos formadores de dispersoides comprenden 0 a 1.2 % en peso de manganeso, 0 a 0.25 % en peso de cromo, 0 a 0.25 % en peso de circonio y 0 a 0.25 % en peso de escandio; y, excepto cuando la aleación de aluminio del material de extrusión de aluminio es de la serie 2xxx, 0 a 0.05 % en peso de cobre, en el que la microestructura del material de extrusión es una microestructura deformada, y en el que la nanoestructura del material de extrusión comprende una matriz de aluminio con dislocaciones y dispersoides, y en el que al menos 50 % de los elementos de aleación distintos de los elementos formadores de dispersoides y el hierro están en solución sólida en la matriz de aluminio; eliminar el óxido de la superficie del componente y extrudir el material de extrusión de aluminio sobre la superficie del componente.

30 El material de extrusión es un material que se extrudirá en uso, es decir, es un material que se va a extrudir.

35 El material de extrusión puede ser un alambre.

40 El material de extrusión puede denominarse alambre de relleno, particularmente cuando se usa el proceso híbrido de extrusión y unión de metales para unir dos componentes.

45 El método del primer aspecto puede ser para unir dos componentes de aluminio, es decir, el alambre de relleno puede usarse en un proceso híbrido de extrusión y unión de metales que une dos componentes de aluminio.

50 La composición del material de extrusión (alambre de relleno) en el primer aspecto puede ser de la misma serie de aleaciones de aluminio que la composición de al menos uno de los componentes de aluminio que se van a unir.

55 El material de extrusión se puede fabricar a partir de una barra de aluminio en la que la composición de la barra de aluminio comprende: 0 a 0.25 % en peso de hierro; al menos 0.05 % en peso de elementos formadores de

- dispersoides, en el que los elementos formadores de dispersoides comprenden 0 a 1.2 % en peso de manganeso, 0 a 0.25 % en peso de cromo, 0 a 0.25 % en peso de circonio y 0 a 0.25 % en peso de escandio; y, excepto cuando la aleación de aluminio de la barra de aluminio es de la serie 2xxx, de 0 a 0.05 % en peso de cobre, en el que la microestructura de la barra de aluminio es una microestructura deformada; y en el que la nanoestructura de la barra de aluminio comprende una matriz de aluminio con dislocaciones y dispersoides, y en el que al menos el 50 % de los elementos de aleación distintos de los elementos formadores de dispersoides y el hierro están en solución sólida en la matriz de aluminio.
- 5 La composición de la barra de aluminio puede ser de la misma serie de aleaciones de aluminio que la composición de al menos uno de los componentes en el método del primer aspecto o la misma serie de aleaciones de aluminio que la composición del componente en el método del segundo aspecto.
- 10 En el segundo aspecto, el componente puede estar hecho de aluminio. La composición del material de extrusión puede ser de la misma serie de aleaciones de aluminio que la composición del componente de aluminio.
- 15 En un tercer aspecto, la presente invención proporciona una unión formada a partir del método del primer aspecto. La unión comprende: los dos componentes; y un material de relleno de aluminio entre ellos, el relleno de aluminio se formó como resultado del paso de extrusión del material de extrusión de aluminio.
- 20 En otro aspecto, la presente invención proporciona una unión formada a partir del método del segundo aspecto, comprendiendo la unión: un componente; y un extrudido de aluminio, en el que el extrudido de aluminio se ha unido al componente como resultado del paso de extrusión del material de extrusión de aluminio sobre la superficie del componente.
- 25 El método del primer o segundo aspecto puede comprender fabricar una barra de aluminio para fabricar el material de extrusión (alambre de relleno) al: proporcionar una masa fundida de aluminio, en el que la masa fundida de aluminio está hecha de aleación de aluminio de la serie 2xxx, 5xxx, 6xxx, 7xxx o 8xxx, y en el que la composición de la masa fundida de aluminio comprende de 0 a 0.25 % en peso de hierro; al menos 0.05 % en peso de elementos formadores de dispersoides, en el que los elementos formadores de dispersoides comprenden 0 a 1.2 % en peso de manganeso, 0 a 0.25 % en peso de cromo, 0 a 0.25 % en peso de circonio y 0 a 0.25 % en peso de escandio; y, excepto cuando la aleación de aluminio de la barra de aluminio es de la serie 2xxx, 0 a 0.05 % en peso de cobre; colar la masa fundida de aluminio para producir una palanquilla de aluminio, homogeneizar la palanquilla de aluminio; deformar en caliente (por ejemplo, extrusión en caliente o laminación en caliente) la palanquilla para formar la barra de aluminio; y enfriar rápidamente la barra de aluminio, en el que la microestructura de la barra de aluminio enfriada rápidamente es una microestructura deformada; y en el que la nanoestructura de la barra de aluminio enfriada rápidamente comprende una matriz de aluminio con dislocaciones y dispersoides, y en el que al menos el 50 % de los elementos de aleación distintos de los elementos formadores de dispersoides y el hierro están en solución sólida en la matriz de aluminio.
- 30 En el caso de que al menos uno de y/o los componentes estén hechos de aluminio en el método de los aspectos primero y segundo respectivamente, la composición de la masa fundida de aluminio puede ser de la misma serie de aleaciones de aluminio como la composición de al menos uno de los componentes de aluminio y/o la composición del componente de aluminio.
- 35 La deformación en caliente de la palanquilla se puede realizar hasta el diámetro final deseado del material de extrusión (alambre de relleno). En este caso, puede que no sea necesario procesar más la barra de aluminio formada para formar el material de extrusión (alambre de relleno), es decir, la barra de aluminio formada puede ser un material de extrusión (alambre de relleno) para usar en un método híbrido de extrusión y unión.
- 40 El método del primer o segundo aspecto puede comprender fabricar el material de extrusión (alambre de relleno) proporcionando una barra de aluminio; en el que la barra de aluminio está hecha de aleación de aluminio 2xxx, 5xxx, 6xxx, 7xxx u 8xxx, y en el que la composición de la barra de aluminio comprende: 0 a 0.25 % en peso de hierro; al menos 0.05 % en peso de elementos formadores de dispersoides, en el que los elementos formadores de dispersoides comprenden 0 a 1.2 % en peso de manganeso, 0 a 0.25 % en peso de cromo, 0 a 0.25 % en peso de circonio y 0 a 0.25 % en peso de escandio; y, excepto cuando la aleación de aluminio de la barra de aluminio es de la serie 2xxx, 0 a 0.05 % en peso de cobre, en el que la microestructura de la barra de aluminio es una microestructura deformada; y en el que la nanoestructura de la barra de aluminio comprende una matriz de aluminio con dislocaciones y dispersoides, y en el que al menos el 50 % de los elementos de aleación distintos de los elementos formadores de dispersoides y el hierro están en solución sólida en la matriz de aluminio, y deformar/procesar la barra de aluminio para formar el material de extrusión (alambre de relleno), en el que la microestructura del material de extrusión (alambre de relleno) es una microestructura deformada; y en el que la nanoestructura del material de extrusión (alambre de relleno) comprende una matriz de aluminio con dislocaciones y dispersoides, y en el que al menos el 50% de los elementos de aleación distintos de los elementos formadores de dispersoides y el hierro están en solución sólida en la matriz de aluminio.
- 45 En el que deformar/procesar la barra de aluminio para formar el material de extrusión (alambre de relleno) puede comprender rasquetear en frío la barra de aluminio y/o estirar la barra de aluminio.
- 50
- 55
- 60
- 65

Por ejemplo, la barra de aluminio se puede rasquetear hasta un diámetro final deseado de material de extrusión/alambre de relleno o la barra de aluminio se puede estirar hasta un diámetro final deseado de material de extrusión. Alternativamente, la barra de aluminio se puede rasquetear y luego estirar para formar el material de extrusión/alambre de relleno.

- 5 Al menos uno, o ambos, de los componentes del primer aspecto y/o el componente del segundo aspecto pueden ser un componente que no sea de aluminio, tal como un componente de acero. El método puede comprender unir un extrudido de aluminio a un componente que no es de aluminio.
- 10 El proceso híbrido de extrusión y unión de metales de cualquiera de los aspectos primero o segundo puede ser el proceso que se describe en el documento WO 03/043775. El dispositivo utilizado en el proceso híbrido de extrusión y unión de metales puede ser el dispositivo descrito en el documento WO 2013/095160 o cualquier otra variante del dispositivo descrito en el documento WO 2013/095160.
- 15 El método del primer aspecto comprende eliminar el óxido de las superficies que se van a unir inmediatamente antes de unir y llenar una ranura entre los componentes con un material de relleno que se proporciona mediante la extrusión de un alambre de relleno. El suministro de oxígeno a la ranura puede restringirse simultáneamente en la medida necesaria durante el proceso de extrusión y unión. Como se mencionó, los dos componentes pueden ser ambos componentes de aluminio. Alternativamente, solo uno de los componentes puede ser un componente de aluminio y el otro componente puede ser un componente diferente de aluminio. Por ejemplo, un componente puede ser un componente de aluminio y un componente puede ser un componente de acero. Por lo tanto, el método del primer aspecto puede comprender unir dos componentes, en el que al menos uno de los componentes es un componente de aluminio.
- 20 Ninguno de los componentes puede ser un componente de aluminio.
- 25 En el método del segundo aspecto, el material de extrusión puede extrudirse y unirse a un componente para formar perlas en el componente y/o cubrir/chapar el componente.
- 30 En el método del segundo aspecto, el material de extrusión puede extrudirse y unirse a la superficie de un material de extrusión extrudido ya depositado (es decir, el componente sobre el que se deposita el extrudido puede ser material ya extrudido y unido). Por lo tanto, el material de extrusión se puede usar en un método híbrido de extrusión y unión de metales que da como resultado la extrusión y unión de la fabricación de capas aditivas (o fabricación de capas aditivas, fabricación aditiva o impresión 3D).
- 35 El material de extrusión (alambre de relleno) usado en el método del aspecto primero y/o segundo y el material de relleno (es decir, extrudido) del producto producido, por ejemplo, una unión, tendrá la misma composición. Tanto la forma del material de extrusión como del material de relleno (es decir, extrudido) y, en cierta medida, la estructura micro, nano y atómica del material de extrusión y el material de relleno serán diferentes debido al calentamiento por fricción y deformación plástica severa que sufre el material de extrusión durante su paso a través del extrusor hasta el punto, por ejemplo, de unión, donde se consolida para formar el material de relleno (es decir, extrudido). Sin embargo, la estructura micro, nano y atómica del material de relleno (es decir, extrudido) dependerá de la estructura micro, nano y atómica del material de extrusión original.
- 40 En la soldadura por fusión, el alambre de relleno perderá completamente su identidad estructural debido a la refundición. Por lo tanto, no es importante controlar la microestructura del alambre de relleno. Se ha observado que, por el contrario, en el proceso HYB, debido a que el material de extrusión/alambre de relleno no se funde ni se vuelve a solidificar durante el proceso de unión, el material de relleno (es decir, el extrudido) tendrá una microestructura que depende de la microestructura del material de extrusión utilizado en el proceso. Por lo tanto, es importante que el material de extrusión tenga una microestructura y nanoestructura adecuadas que garanticen una unión fuerte y confiable, es decir, una unión, después de que se haya utilizado en el proceso HYB.
- 45 Se ha observado que para este proceso HYB la microestructura apropiada es una microestructura deformada y la nanoestructura apropiada es una matriz de aluminio con dislocaciones y dispersoides y con al menos 50 % de los elementos de aleación distintos de los elementos formadores de dispersoides y el hierro en solución sólida en la matriz de aluminio.
- 50 El proceso de fabricación y almacenamiento del material de extrusión antes de su uso puede ser tal que la mayoría de los elementos de aleación se retengan en una solución sólida en la matriz de aluminio. Esto es para que en el punto en el que se esté utilizando el material de extrusión al menos el 50 % de los elementos de aleación distintos de los elementos formadores de dispersoides y el hierro puedan estar en solución sólida en la matriz de aluminio.
- 55 Cuando se selecciona un material de extrusión adecuado (alambre de relleno) para producir un material de relleno deseado, debe tenerse en cuenta y compensarse las condiciones que el material, por ejemplo alambre, a las que se somete durante el proceso de extrusión y unión para formar el extrudido.

- El material de relleno de una unión puede tener una fuerza, ductilidad/tenacidad y/o resistencia a la corrosión que son mejores que las propiedades de al menos uno de los componentes de la unión. El material de extrusión también puede tener una fuerza de unión interfacial que sea al menos tan fuerte como el componente sobre el que se deposita, o en el caso de una unión entre dos componentes, al menos tan fuerte como al menos uno de los componentes de la unión.
- 5 Esto se puede lograr controlando las impurezas y el modo de deformación en la interfaz de unión.
- Cuando el material de extrusión de aleación de aluminio se extrude para formar el extrudido, la aleación de aluminio sufre tanto calentamiento por fricción como una severa deformación plástica. Sin embargo, esto suele ocurrir, es decir, 10 puede ocurrir, sin conducir a la expansión de la superficie y la posterior rotura de la capa de óxido sobre la superficie exterior del material de extrusión. Por lo tanto, a menos que la limpieza de la superficie se logre por algún otro medio (por ejemplo, mediante el rasqueteado y la limpieza adecuada del material de extrusión antes de su uso), toda esta contaminación puede terminar en la ranura entre los dos componentes que se van a unir y acumularse en la superficie de contacto entre el material de extrusión y el componente o componentes. Esto, a su vez, puede reducir la fuerza de unión interfacial.
- 15 Por lo tanto, la presente invención puede comprender el rasqueteado y la limpieza del material de extrusión antes de su uso. Aunque, esto no es esencial.
- Se ha descubierto que la calidad y las propiedades de unión deseadas solo se pueden lograr mediante el uso de un 20 material de extrusión especialmente diseñado que, después de pasar a través del extrusor, cumpla con los requisitos establecidos para el extrudido en la condición de cómo se soldó.
- La predicción de las propiedades deseables del material de extrusión a partir de las del extrudido requiere un 25 conocimiento detallado de los valores instantáneos de temperatura, deformación y tasa de deformación durante la extrusión y unión.
- El conocimiento de los cambios rápidos de temperatura, deformación y tasa de deformación durante la extrusión y la 30 unión puede usarse para predecir cómo cambiará el estado microestructural y nano/atómico del material cuando el material de extrusión se extruda para formar el extrudido.
- 35 Se ha descubierto que el método HYB es particularmente útil para unir aleaciones de aluminio de resistencia media y alta para aplicaciones estructurales, donde la capacidad de carga-soporte de la unión es de particular interés. Por lo tanto, los componentes de aluminio que se van a unir pueden comprender aleaciones de aluminio de resistencia media y alta.
- 40 Se apreciará que las referencias en el presente documento al aluminio no se refieren necesariamente al aluminio puro y pueden referirse tanto a la aleación de aluminio como al aluminio puro, según sea apropiado.
- Los componentes unidos (en el caso de unir dos componentes) se pueden utilizar en aplicaciones estructurales.
- 45 La unión (si se forma una unión) puede ser una unión de carga-soporte.
- Las aleaciones de aluminio de los componentes pueden ser una de las series de aleaciones de aluminio definidas por el sistema de clasificación internacional para las aleaciones de aluminio forjado. Por ejemplo, los componentes de aluminio 50 pueden estar hechos de una aleación que esté en (i) la serie 2xxx (aleaciones Al-Cu), (ii) la 5xxx (aleaciones Al-Mg), (iii) la serie 6xxx (Al -Mg-Si), (iv) la serie 7xxx (aleaciones Al-Zn-Mg) o (v) la serie 8xxx (tal como las aleaciones Al-Li o aluminio aleado con otro elemento que no se encuentre dentro de ninguno de las otras series). Por lo tanto, los componentes de aluminio pueden estar hechos de aleación de aluminio de las series 2xxx, 5xxx, 6xxx, 7xxx u 8xxx.
- 55 Los principales elementos de aleación de cada serie son; (i) Cu en la serie 2xxx, (ii) Mg en la serie 5xxx, (iii) Si y Mg en la serie 6xxx, (iv) Zn y Mg en la serie 7xxx, y (v) aleado con otros elementos (tales como litio) que no están cubiertos por otras series de la serie 8xxx. Los límites superior e inferior para estos elementos específicos de la serie en las aleaciones de material de extrusión están definidos por el sistema de clasificación internacional para las aleaciones de aluminio forjado. En consecuencia, utilizando aleaciones de Al-Mg-Si como un ejemplo, la designación apropiada para un material de extrusión perteneciente a esta categoría/serie de aleación sería AA6xxx -calidad A, donde la calidad A se refiere a un contenido específico de los principales elementos de aleación Si y Mg.
- Dentro de cada una de estas series hay varias calidades de aleación de aluminio, cada uno de las cuales cubre una gama de composiciones de aleaciones de aluminio.
- 60 El material de extrusión puede ser adecuado para la unión sólida de, o unir a, todos los tipos de aleaciones de aluminio estructurales que pueden pertenecer a una de estas cinco series empleando el método HYB.
- 65 Se ha observado que para hacer que el material de extrusión sea adecuado para el procesamiento termomecánico y la posterior extrusión y unión utilizando el proceso HYB como en el aspecto primero o segundo, se imponen las

siguientes restricciones sobre el contenido de otros elementos en la composición de la barra de aluminio/ material de extrusión /extrudido:

- 5      1) el contenido de hierro está restringido a valores inferiores al 0.25 % en peso, independientemente de lo que se indique en las normas internacionales de metales base para la serie del componente de aluminio. Esto se debe a que el hierro puede tener un efecto perjudicial sobre la microestructura y las propiedades del material de relleno después de su extrusión.
- 10     2) excepto en barras de aluminio/ material de extrusión /aleaciones extruidas donde el Cu es un elemento de aleación principal (como en la serie 2xxx), el cobre puede considerarse un elemento de impureza. Por lo tanto, el contenido de Cu de las otras aleaciones, tal como las aleaciones de material de extrusión 5xxx, 6xxx, 7xxx y 8xxx, está restringido a valores inferiores al 0.05 % en peso, independientemente de lo que se indique en las normas internacionales de metales base para la serie del componente de aleación de aluminio. Esto se debe a que el cobre puede ser perjudicial para la resistencia a la corrosión del extrudido.
- 15     3) al menos 0.05 % en peso de elementos formadores de dispersoides, manganeso, cromo, circonio y escandio. Estos elementos pueden considerarse elementos de aleación menores. Pertenecer al grupo de elementos de aleación menores significa que pueden añadirse deliberadamente de forma controlada, ya sea por separado o en combinación, a las aleaciones del material de extrusión. Los niveles de estos elementos menores en las aleaciones están dentro de los siguientes límites, independientemente de lo establecido en las normas internacionales de metales base para la serie de la aleación de aluminio, es decir, Mn entre 0 y 1.2 % en peso, Cr entre 0 y 0.25 % en peso, Zr entre 0 y 0.25% en peso y Sc entre 0 y 0.25% en peso. Los elementos se agregan ya que son elementos formadores de dispersoides que pueden ayudar a prevenir la recristalización del material de relleno.
- 25     4) el contenido de otros elementos de la composición de aleación de barra de aluminio/ material de extrusión /extrudido, debe estar preferiblemente dentro del intervalo de composición de la serie de aleación de aluminio a la que pertenece al menos uno de los componentes que se van a unir, suponiendo que los componentes o al menos uno de ellos es de aluminio.
- 30     La composición de la barra de aluminio/ material de extrusión/ extrudido puede contener otros elementos de aleación bien conocidos tales como magnesio, zinc, silicio, titanio, boro, etc.
- 35     la composición precisa de la barra de aluminio/ material de extrusión/ material extrudido dependerá del número de factores tales como los componentes que se van a unir y la aplicación/ambiente particular del extrudido de unión/depositado final.
- 40     Como un ejemplo, cuando al menos uno de los componentes que se van a unir, o el componente sobre el cual se deposita el extrudido, es decir, el material de relleno, es una aleación de la serie 6xxx, la barra de aluminio/alambré de relleno/material de relleno puede ser una aleación de aluminio AA6082 con las restricciones adicionales sobre la composición especificada anteriormente. Específicamente, esta aleación puede consistir en 0.7 a 1.3 % en peso de Si, 0.0 a 0.25 % en peso de Fe, 0.0 a 0.05 % en peso de Cu, 0.0 a 1.2 % en peso de Mn, 0.6 a 1.2 % en peso de Mg, 0.0 a 0.2 % en peso de Zn, 0.0 a 0.1 % en peso de Ti, 0.0 a 0.25 % en peso de Cr, 0.0 a 0.25 % en peso de Zr, 0.0 a 0.25 % en peso de Sc (en la que la cantidad total de Mn, Cr, Zr y Sc es al menos 0.05 % en peso) y equilibrar el aluminio con impurezas inevitables.
- 45     La composición de la barra de aluminio/material de extrusión/material extrudido también puede contener un refinador de granos. Este refinador de granos se puede agregar a la masa fundida inmediatamente antes de una operación de colada con el fin de refinar la microestructura tal como está fundida. El refinador de granos puede ser, por ejemplo, AlB<sub>2</sub> o TiB<sub>2</sub>.
- 50     Cuando la composición del material de extrusión ya contiene Zr y/o Sc, el uso de refinadores de granos adicionales puede ser superfluo, por lo que en estos casos el material de extrusión puede no contener refinadores de granos. Esto se debe a que estos dos elementos de aleación menores también pueden actuar como refinadores de granos durante la solidificación debido a la formación de compuestos de Al<sub>3</sub>Zr y Al<sub>3</sub>Sc. Se sabe que ambas fases proporcionan sitios favorables para la nucleación heterogénea de nuevos granos de aluminio antes del avance de la interfaz sólida/líquida.
- 55     La barra de aluminio/ material de extrusión /material extrudido puede tener una composición similar a la de al menos uno de los componentes de aluminio que se unen o un componente de aluminio sobre el que se deposita el extrudido, pero, aunque podría serlo, puede no ser idéntico debido a las limitaciones adicionales aplicadas a la composición. Debido a las limitaciones de la composición, el material extrudido de barra de aluminio/material de extrusión puede tener una composición que sea de una calidad de aleación de aluminio diferente a la de los componentes de aluminio, en los casos donde los componentes sean aluminio.
- 60     En el caso de que se unan dos componentes de aluminio, los dos componentes de aluminio que se unen pueden tener composiciones que sean de la misma serie de aluminio. En este caso, la barra de aluminio/alambré de relleno/material de relleno tiene una composición que es de la misma serie que la de los dos componentes de aluminio que se unen.

En el caso de que se unan dos componentes de aluminio, si los dos componentes de aluminio que se unen tienen composiciones que están en series diferentes, la barra de aluminio/alambr de relleno/material de relleno puede tener una composición que está en la misma serie que el más fuerte de los dos componentes de aluminio.

5 Los dos componentes que se unen pueden tener composiciones que sean de la misma calidad de aluminio entre sí.

Los dos componentes que se unen pueden tener composiciones de aleación de aluminio idénticas.

10 Se apreciará que la masa fundida de aluminio, la barra de aluminio, el material de extrusión, es decir, el alambre de relleno, y el extrudido, es decir, el material de relleno, en un caso dado, tendrán todos la misma composición (ya que esto no se ve afectado por los pasos de procesamiento). Por lo tanto, cualquier discusión en el presente documento sobre la composición y las características opcionales de la composición de cada una de estas etapas del material de aluminio son aplicables al material de extrusión en cualquier forma (es decir, bien sea la masa fundida original, la barra de aluminio, el material de extrusión de aluminio o el extrudido después del proceso HYB) después de que la composición se haya preparado en la masa fundida.

15 La microestructura de la barra de aluminio/material de extrusión/extrudido es una microestructura deformada. Esto puede denominarse microestructura fibrosa. Esta microestructura puede ser la microestructura cuando no se ha producido la recristalización, es decir, una microestructura no recristalizada.

20 Una estructura de grano recristalizado es altamente indeseable y debe evitarse. Esto se debe a que puede sobrevivir durante la extrusión y unión posteriores y contribuir a una resistencia, tenacidad y resistencia a la corrosión reducidas del material de extrusión en la condición tal como se soldó, es decir, unido.

25 La microestructura puede tener granos deformados (alargados). Es posible que la microestructura no tenga granos recristalizados (equiaxiales).

30 Los granos de la microestructura pueden ser relativamente largos y delgados en contraposición a relativamente redondeados.

35 La relación de longitud a anchura de los granos deformados puede ser de al menos 5:1. Esta relación de longitud a anchura puede ser la relación de longitud a anchura promedio de los granos en la microestructura o puede ser la relación de longitud a anchura de al menos el 50 % de los granos de la microestructura, como se determina, por ejemplo, mediante microscopía óptica o electrónica de barrido.

40 A escala nano/atómica, la barra de aluminio/material de extrusión/material extrudido comprende una matriz de aluminio con dispersiones y dislocaciones en la misma y al menos el 50 % de los elementos de aleación distintos de los elementos formadores de dispersoides y el hierro que es solución sólida en la matriz de aluminio.

45 La escala nano/atómica de la barra de aluminio/material de extrusión/material extrudido puede consistir en una matriz de aluminio con dispersoides, pequeñas partículas de hierro y dislocaciones en la misma, en la que sustancialmente todos (es decir, al menos el 50 %) de los elementos de aleación no están en los dispersoides o partículas de hierro están en solución sólida en la matriz de aluminio.

50 El tamaño de las partículas pequeñas de hierro puede tener un tamaño de hasta 4 µm, por ejemplo, pueden estar en el intervalo de 0.1 a 4 µm. La densidad numérica de las dislocaciones puede ser superior a  $10^{13}$  por m<sup>2</sup>, como se determina, por ejemplo, utilizando microscopía electrónica de transmisión de alta resolución.

55 El al menos el 50 % de los elementos de aleación distintos de los elementos formadores de dispersoides y el hierro en solución sólida en la matriz de aluminio, pueden determinarse, por ejemplo, utilizando medidas de conductividad eléctrica dedicadas. Esto significa que se puede lograr el mayor potencial de endurecimiento por trabajo del material de extrusión/material extrudido durante la extrusión y unión posteriores utilizando el proceso HYB.

60 Si no se lleva a cabo un control del proceso adecuado durante la fabricación de la barra de aluminio/material de extrusión, pueden aparecer precipitados metaestables ricos en solutos dentro de la matriz de aluminio a temperatura ambiente después de enfriar junto con partículas grandes de Fe y fases de equilibrio ricas en soluto grueso. Este tipo de estructura es altamente indeseable porque reduce tanto el potencial de endurecimiento por trabajo, el límite elástico a la tracción y la ductilidad, la tenacidad al impacto y la resistencia a la corrosión del material de extrusión después de la extrusión y unión, y debe evitarse.

65 Por lo tanto, la nanoestructura no debe contener precipitados metaestables ricos en solutos, partículas grandes de hierro (es decir, partículas de hierro que tengan más de 4 µm de diámetro) y/o fases de equilibrio ricas en soluto gruesas, como se determina, por ejemplo, utilizando microscopía óptica o electrónica de barrido.

La estructura nano/atómica del material de extrusión también puede comprender grupos y zonas GP, como se determina, por ejemplo, usando microscopía electrónica de transmisión de alta resolución. Estos pueden estar presentes debido al envejecimiento natural que ocurre a temperatura ambiente debido a la difusión de corto alcance de los átomos de soluto. Debido a que los grupos/zonas GP tienen una baja estabilidad térmica, se disolverán fácilmente dentro de la cámara de extrusión al recalentar el proceso HYB y, por lo tanto, no causarán problemas en el caso HYB en lo que respecta a las propiedades del material de extrusión. Sin embargo, estos pueden tenerse en cuenta durante el rasqueteado con alambre y/o el estiramiento en frío que pueden ocurrir opcionalmente durante la fabricación debido al aumento asociado del límite elástico, que afecta la capacidad de estiramiento de las aleaciones FW.

Pasando a la ruta de fabricación y los requisitos de procesamiento del material de extrusión, por ejemplo alambre de relleno, la fabricación puede comprender una serie de pasos estrictamente controlados para asegurar que el material de extrusión tenga microestructura y propiedades físicas apropiadas para formar un extrudido con las propiedades deseadas.

Como se apreciará, los requisitos del material de extrusión variarán con las propiedades del componente sobre el que se deposita el extrudido, por ejemplo el tipo de aleación que se va a unir y las condiciones de funcionamiento aplicadas. A pesar de esto, hay una serie de características importantes relacionadas con la ruta de fabricación y los requisitos de procesamiento que son generalmente aplicables y, por lo tanto, se aplican a todo el material de extrusión, independientemente de su composición química. El método de fabricación de la barra de aluminio y/o el material de extrusión de aluminio puede controlarse para garantizar que la microestructura sea una microestructura deformada (fibrosa) y que a nanoscala el material comprenda una matriz de aluminio con dislocaciones y dispersoides, y en el que en al menos el 50% de los elementos de aleación distintos de los elementos formadores de dispersoides y el hierro están en solución sólida en la matriz de aluminio.

El método de fabricación del material de extrusión puede comprender uno o más de los siguientes pasos: tratamiento de fusión, colada, homogeneización, precalentamiento de la palanquilla, deformación en caliente (por ejemplo, extrusión en caliente/laminación en caliente), enfriamiento/enfriamiento rápido controlado, bobinado inicial, rasqueteado, estiramiento final en frío, limpieza y bobinado final y empaquetado. Los pasos se pueden realizar en este orden (aunque es posible que uno o más de los pasos no se lleven a cabo). Por ejemplo, el método puede no comprender un paso de bobinado inicial entre los pasos de enfriamiento y rasqueteado. Además, el método puede no comprender rasqueteado o estiramiento final en frío, es decir, el material de extrusión puede deformarse en caliente hasta el diámetro final. Alternativamente, el método puede no comprender el estiramiento en frío final, es decir, el material de extrusión puede rasquetearse hasta el diámetro final.

Cada uno de los pasos puede ser realizado por una parte diferente. Por ejemplo, una primera parte, tal como un fabricante de metal de aluminio, puede realizar uno o más pasos (si se realizan) de tratamiento por fusión, colada, homogeneización, precalentamiento de la palanquilla, extrusión, enfriamiento y/o bobinado inicial. Estos pasos se pueden realizar para formar una barra de aluminio para producir un material de extrusión de aluminio, por ejemplo alambre de relleno, para su uso en un proceso híbrido de extrusión y unión de metales que puede ser para unir dos componentes de aluminio o depositar material extrudido sobre un componente, por ejemplo. Una segunda parte, tal como un fabricante de alambre de aluminio, puede realizar uno o más pasos (si se realizan) de rasqueteado, estiramiento en frío final, limpieza y bobinado y empaquetado para fabricar un alambre de aluminio para su uso en un proceso híbrido de extrusión y unión de metales que puede ser para unir dos componentes de aluminio o depositar extrudido sobre un componente, por ejemplo.

La producción de la barra de aluminio puede implicar un tratamiento por fusión, colada, homogeneización, precalentamiento de la palanquilla, deformación en caliente y/o enfriamiento/enfriamiento rápido. Estos pasos pueden ser realizados por un productor de metal de aluminio. Despues de estos pasos, la barra de aluminio se puede bobinar y transportar a una segunda parte para formar un material de extrusión, por ejemplo, alambre, para el proceso HYB de la barra de aluminio.

La palanquilla se puede deformar en caliente hasta el diámetro final del material de extrusión. Por lo tanto, la palanquilla puede formarse directamente en el material de extrusión de modo que la barra no necesite ser bobinada y transportada a una segunda parte para su procesamiento adicional.

La fabricación del material de extrusión de aluminio puede comprender recibir una barra de aluminio, rasquetejar y estirar en frío la barra de aluminio (si la barra no tenía ya el diámetro correcto) para formar el material de extrusión para extrusión. Despues del estiramiento en frío, el material de extrusión, por ejemplo, alambre de relleno, se puede limpiar y luego bobinar y empaquetar. El material de extrusión puede transportarse luego a una tercera parte para su uso en el proceso HYB.

El término "palanquilla" puede abarcar cualquier producto colado semiacabado, como un lingote, florecimiento, placa, palanquilla, etc.

- Pasando a cada uno de estos pasos sucesivamente, el tratamiento de la masa fundida se puede llevar a cabo de acuerdo con las mejores prácticas industriales. La masa fundida se puede producir a partir de aluminio virgen procedente directamente de una fundición. Esto es para que se pueda garantizar un bajo contenido de inclusiones y elementos de impurezas en el producto final. Es preferible formar la masa fundida a partir de aluminio virgen en lugar de a partir de chatarra reciclada. Esto se debe a que el exceso de hierro procedente de la chatarra puede ser perjudicial para las propiedades del material extrudido. Además, el exceso de cobre procedente de la chatarra puede ser perjudicial para las propiedades, en particular para la resistencia a la corrosión del material extrudido. Por lo tanto, además de las aleaciones de Al-Cu pertenecientes a la serie 2xxx, todas las demás aleaciones que se utilicen en la producción de material de extrusión deben ser bajas en cobre y tener un contenido de Cu inferior al 0.05 % en peso.
- Es importante que la masa fundida de aluminio contenga niveles bajos de hierro y cobre en particular. Esto se debe a que no es posible refinar la masa fundida para eliminar estos elementos.
- Para proporcionar la composición correcta, los diferentes elementos de aleación indicados en la especificación de aleación del material de extrusión pueden añadirse en la cantidad y el orden correctos a la masa fundida de base limpia. Primero se pueden agregar los elementos de aleación principales a la masa fundida virgen, luego los elementos de aleación menores y luego los refinadores de granos (si se usan).
- Los elementos de aleación indicados en la especificación de aleación del material de extrusión se pueden agregar en la cantidad y secuencia correctas, de acuerdo con las mejores prácticas industriales.
- En esta etapa se añaden los elementos formadores de dispersoides, Mn, Cr, Zr y Sc, que pueden usarse con el fin de evitar que se produzca la recristalización durante el procesamiento termomecánico posterior. Como se discutió anteriormente, los niveles deseados de estos elementos de aleación menores en las aleaciones, de acuerdo con las especificaciones del material de extrusión, deben estar dentro de los siguientes límites, es decir, Mn entre 0 y 1.2 % en peso, Cr entre 0 y 0.25 % en peso, Zr entre 0 y 0.25 % en peso y Sc entre 0 y 0.25 % en peso.
- También se puede añadir un refinador de granos a la masa fundida inmediatamente antes de la operación de colada (por ejemplo, AlB<sub>2</sub> o TiB<sub>2</sub>) con el fin de refinar la microestructura tal como se ha colado. Estos refinadores de granos solo se pueden agregar si se ha verificado que las partículas de refinado de granos constituyentes no tienen un efecto negativo sobre las propiedades del producto final (por ejemplo, calidad de la superficie del material de extrusión y ductilidad a la tracción y resistencia al impacto del extrudido). El hecho de que sean realmente perjudiciales o no en una situación real de producción o unión puede depender de la práctica de refinamiento de grano aplicada. Cuando la masa fundida ya contiene Zr y/o Sc, el uso de refinadores de granos adicionales puede considerarse superfluo, ya que estos dos elementos de aleación menores también pueden actuar como refinadores de granos durante la solidificación debido a la formación de compuestos de Al<sub>3</sub>Zr y Al<sub>3</sub>Sc. Se sabe que ambas fases proporcionan sitios favorables para la nucleación heterogénea de nuevos granos de aluminio antes del avance de la interfaz sólida/líquida.
- Después del tratamiento de fusión, se puede llevar a cabo una operación de colada para formar una palanquilla o lingote de aluminio. La operación de colada se puede llevar a cabo de acuerdo con las mejores prácticas industriales.
- El método de colada puede ser un método de colada continuo o semicontinuo. El método de colada puede ser colada en frío directa (DC). Esta operación de colada puede producir palanquillas de extrusión y/o lingotes de laminación utilizados en la producción de material de extrusión.
- El aluminio colado puede ser lingotes o palanquillas de alta calidad, es decir, deben cumplir los requisitos de tolerancia industrial más estrictos (por ejemplo, el estándar Hydro o Alcoa) con respecto a defectos de colada como segregaciones, porosidad y desgarros en caliente.
- Las dimensiones de estas coladas deben o pueden ser suficientemente grandes para obtener las relaciones de reducción requeridas durante el procesamiento termomecánico posterior. La dimensión deseada dependerá de la dimensión final deseada del material de extrusión y de los pasos de procesamiento que se van a realizar. Puede ser necesario que las dimensiones sean mayores para las palanquillas que serán extruidas en caliente en comparación con las palanquillas que serán laminadas en caliente.
- Por ejemplo, en la extrusión en caliente para la fabricación de barras de aluminio, la reducción de área mínima puede ser de al menos 10:1. En el laminado en caliente, la reducción del área puede ser de al menos 5:1.
- Debido a que el uso de relaciones de reducción elevadas durante la formación en caliente normalmente se considera beneficioso para las propiedades del producto final, no es necesario especificar límites superiores para la reducción del área.
- La palanquilla de aluminio colado se puede homogeneizar. La homogeneización de las palanquillas o lingotes tal como se colaron puede llevarse a cabo de acuerdo con las mejores prácticas industriales.

El propósito principal del tratamiento de homogeneización es refinar la microestructura de las coladas (i) eliminando o minimizando las microegregaciones, (ii) modificando los constituyentes dañinos portadores de Fe en la aleación que se forman durante la solidificación, (iii) disolviendo todas las fases de equilibrio que retienen el soluto y drenan la matriz de aluminio con respecto a los elementos de aleación y (iv) promoviendo la formación de dispersoides por los elementos formadores de dispersoides Mn, Cr, Zr y Sc.

5 Durante el tratamiento térmico, se puede imponer un control estricto de la temperatura de homogeneización con el fin de evitar la fusión local o un refinamiento insuficiente de la microestructura por difusión.

10 La temperatura de homogeneización dependerá de la composición de la aleación de la palanquilla o lingote de aluminio. El tiempo de homogeneización dependerá de las dimensiones de la palanquilla o lingote.

15 La temperatura de homogeneización puede encontrarse entre la temperatura de solidus y solvus de la aleación de aluminio de la palanquilla/lingote, como se define por el diagrama de fase de equilibrio. La temperatura de homogeneización puede encontrarse entre la temperatura de solidus y solvus de la aleación de aluminio de la palanquilla y estar más cerca de la temperatura de solvus que de la temperatura de solidus, como se define en el diagrama de fase de equilibrio. Esto puede conducir a una distribución más fina de los dispersoides en la aleación.

20 Por ejemplo, en el caso de aleaciones de Al-Mg-Si, la homogeneización se puede llevar a cabo en el intervalo de temperatura de 530 a 580 °C durante 2 a 4 horas bajo condiciones controladas de calentamiento y enfriamiento. Si la recristalización durante el procesamiento termomecánico posterior de las aleaciones de Al-Mg-Si utilizadas en la producción del material de extrusión es un problema, una acción de precaución puede ser homogeneizar las aleaciones que contienen los elementos formadores de dispersoides Mn y Cr a 530 a 540 °C en lugar de 570 a 580 °C. Esto puede conducir a una distribución más fina de los dispersoides en la aleación.

25 25 Un pequeño ajuste en la práctica de homogeneización puede ser suficiente para evitar que se produzca la recristalización, incluso durante condiciones exigentes de deformación en caliente, si las aleaciones ya contienen elementos formadores de dispersoides.

30 30 Para producir la barra de aluminio, la palanquilla o lingote puede deformarse en caliente, como extrudido en caliente o laminado en caliente.

La palanquilla o lingote puede precalentarse antes de deformarse en caliente.

35 35 El precalentamiento de la palanquilla o lingote antes de la deformación en caliente puede realizarse de acuerdo con las mejores prácticas industriales.

El precalentamiento se puede lograr usando calentamiento por gas o calentamiento por inducción.

40 40 El calentamiento por inducción puede ser ventajoso, ya que proporciona altas tasas de calentamiento (más altas que el calentamiento por gas) y puede permitir que el precalentamiento se complete en el menor tiempo posible antes de la deformación en caliente.

45 45 Es ventajoso que el calentamiento sea lo más rápido posible para evitar la reprecipitación de las fases previamente disueltas durante la homogeneización. Si ocurre reprecipitación, esto puede resultar en una fusión local durante los pasos de deformación en caliente. Esto podría conducir a la formación de defectos superficiales y grietas en el producto tal como se extrudió debido al desgarro y desconchado. Tales defectos y grietas de la superficie pueden dificultar el procesamiento posterior, tal como el rasqueado y el estiramiento de alambre.

50 50 Utilizando de nuevo aleaciones de Al-Mg-Si como un ejemplo, la temperatura de precalentamiento para palanquillas de extrusión en caliente puede estar típicamente entre 440 y 490 °C. El tiempo de precalentamiento puede ser de 5 a 45 minutos, dependiendo del diámetro de la palanquilla y del método de calentamiento aplicado.

55 55 Para las palanquillas o lingotes de aluminio utilizados en la fabricación de material de extrusión para el proceso HYB, se puede apuntar al tiempo de precalentamiento más corto posible.

La palanquilla/lingote puede extrudirse o laminarse en caliente.

60 60 Puede usarse laminación en caliente o extrusión para producir barras de aluminio de la longitud y el diámetro apropiados, que son adecuadas para el posterior rasqueado y estiramiento de alambre. Alternativamente, se puede usar laminación en caliente o extrusión para producir barras de aluminio del diámetro deseado para el material de extrusión final, es decir, la palanquilla puede deformarse en caliente para producir directamente el material de extrusión final, o al menos las dimensiones correctas del material de extrusión. Por tanto, las referencias en el presente documento a la formación de una barra de aluminio pueden cubrir la formación de una barra de aluminio que es la dimensión del material de extrusión.

Puede ser preferible la extrusión al laminado en caliente, siempre que se pueda lograr la calidad de barra deseada, sin embargo, se puede utilizar cualquier proceso para formar la barra de aluminio.

- 5 El método de fabricación preferible, y en particular el método de deformación en caliente aplicado, puede depender de la composición. Por ejemplo, la extrusión en caliente puede ser preferible para las aleaciones de Al-Mg-Si y Al-Zn-Mg, mientras que para algunas aleaciones de Al-Cu y Al-Mg el laminado en caliente puede ser mejor. Esto se debe a que ciertas aleaciones de aluminio pueden tener una baja capacidad de formación que podría dificultar la extrusión.
- 10 La deformación en caliente (por ejemplo, extrusión y/o laminado en caliente) se puede realizar para asegurar que la barra de aluminio producida tenga el diámetro correcto para el siguiente procesamiento, tal como rasqueado y estiramiento de alambre.
- 15 Dependiendo del tipo específico de aleación y del diámetro del material de extrusión deseado, el diámetro de las barras deformadas en caliente puede ser de 1 a 3 mm.
- 20 15 El diámetro de la barra de aluminio deformada en caliente puede ser de aproximadamente 1.5 a 2 veces, o más de 2 veces el diámetro del alambre de relleno deseado.
- 25 Sin embargo, también se pueden tolerar diámetros mayores si el estiramiento se realiza alternativamente en varios pasos. En el caso de que el estiramiento se realice en múltiples pasos, esto puede ser en combinación con un recocido blando.
- 30 En el presente contexto, el recocido blando puede significar un tratamiento térmico a alta temperatura por debajo del límite del solvus de equilibrio de la aleación, como se define en el diagrama de fases. Este tratamiento térmico puede tener como objetivo aumentar la ductilidad de la aleación después de un paso previo de estiramiento en frío antes de continuar con el siguiente. Si se aplica recocido blando, se puede llevar a cabo un tratamiento térmico de solución completa de la aleación del material de extrusión como paso final con el fin de asegurarse de que todos los elementos de aleación se devuelvan a la solución sólida.
- 35 30 Cuando la palanquilla se extrude en caliente, se puede seleccionar la extrusión correcta, es decir, pistón o rueda, la velocidad para la combinación elegida de composición de aleación y la relación de reducción, de modo que se evite el sobrecalentamiento del aluminio en la región de la matriz, de acuerdo con las mejores prácticas industriales. Esto se debe a que el sobrecalentamiento puede causar una fusión local y dar lugar a la formación de defectos superficiales y grietas en el producto tal como se extrude debido al desgarro y desconchado. En el presente contexto, la mejor práctica industrial significa que el pistón o la velocidad de la rueda se selecciona cuidadosamente a partir del conocimiento de la composición de la palanquilla, la temperatura de la palanquilla y/o la relación de reducción aplicada durante la extrusión en caliente. Esta selección puede basarse en los datos de experiencia disponibles en forma de los llamados diagramas de límite de extrusión.
- 40 35 Durante la extrusión en caliente, donde la temperatura local en ciertos casos puede aumentar hasta aproximadamente 600 °C, todos los elementos de aleación (además de los que están atados en los componentes grandes portadores de Fe o en pequeños dispersoides submicroscópicos) pueden ser en solución sólida.
- 45 40 Siempre que la relación de reducción aplicada (es decir, área de la sección transversal original: área de la sección transversal final) durante la extrusión sea suficientemente alta (es decir, mayor de aproximadamente 10:1), las fuerzas de deformación implicadas pueden ser lo suficientemente grandes como para romper los constituyentes portadores de Fe que todavía están presentes en las aleaciones después de homogeneizarlos y dispersarlos uniformemente dentro de la matriz de aluminio.
- 50 45 Esto puede hacer que las partículas de Fe sean menos dañinas para las propiedades, lo que, a su vez, puede aumentar la ductilidad, tenacidad y resistencia a la corrosión del extrudido final. Por otro lado, los dispersoides, que son mucho más pequeños en tamaño (típicamente del orden de 0.1 micrómetros, por ejemplo, entre 0.01 y 0.5 µm), pueden no verse afectados significativamente por la deformación plástica.
- 55 50 Debido a las altas temperaturas y las deformaciones plásticas implicadas durante la extrusión en caliente, existe el riesgo de que las aleaciones se recristalicen, a menos que contengan una fina distribución de dispersoides. Esta recristalización es indeseable, tanto desde el punto de vista a la resistencia del material extrudido como de la resistencia a la corrosión, y debe evitarse. Por lo tanto, todas las aleaciones que se utilicen en la producción de material de extrusión para el proceso HYB deben contener al menos 0.05 % en peso de elementos formadores de dispersoides como Mn, Cr, Zr o Sc y, al mismo tiempo, deben homogeneizarse, de acuerdo con las mejores prácticas industriales, con el fin de aprovechar el potencial de los elementos formadores de dispersoides a través de la precipitación.
- 60 55 Si se realiza un laminado en caliente, se puede imponer un control estricto de la temperatura, el programa de laminado y la evolución de la microestructura por las mismas razones que las mencionadas anteriormente para la extrusión en caliente.

De nuevo, con el fin de evitar que se produzca la recristalización durante la operación de formación, los lingotes de laminación utilizados en la producción de material de extrusión para el proceso HYB deben contener al menos 0.05 % en peso de elementos formadores de dispersoides Mn, Cr, Zr o Sc. Al mismo tiempo, deben homogeneizarse, de acuerdo con las mejores prácticas industriales, con el fin de aprovechar su potencial a través de la precipitación.

- 5 El laminado en caliente a menudo se puede llevar a cabo en varios pasos utilizando rodillos con aberturas de boca sucesivamente más pequeñas.
- 10 Durante la deformación en caliente, la temperatura de la palanquilla/barra de aluminio puede controlarse de modo que se mantenga por encima del solvus de equilibrio de la aleación, como se define en el diagrama de fases.
- 15 Si la temperatura de la palanquilla/barra de aluminio cae por debajo de la temperatura del solvus, pueden comenzar a formarse tanto las fases de equilibrio como las metaestables, que retienen el soluto y drenan la matriz de aluminio con respecto a los elementos de aleación. Tal precipitación puede ser perjudicial para las propiedades del producto final del material de extrusión porque puede reducir el potencial de endurecimiento por trabajo y disminuir la resistencia del material extrudido y la resistencia a la corrosión.
- Después de la deformación en caliente, las barras de aluminio se pueden enfriar rápido, es decir, enfriar rápidamente.
- 20 Este enfriamiento rápido puede permitir que los principales elementos de aleación permanezcan en solución sólida hasta la temperatura ambiente (RT). Esto se debe a que las aleaciones contienen dispersoides, que las hacen sensibles al enfriamiento rápido.
- 25 Los dispersoides pueden actuar como sitios de nucleación heterogéneos efectivos para diferentes tipos de fases metaestables ricas en solutos durante el enfriamiento cuando la temperatura cae por debajo de un cierto nivel, por ejemplo 500 °C. La formación de estas fases metaestables drena la matriz de aluminio circundante con respecto al soluto y, por lo tanto, puede reducir el potencial de endurecimiento por trabajo del material de extrusión y disminuir la resistencia del material extrudido.
- 30 Se ha descubierto que una vez que se han formado tales fases metaestables dentro de las aleaciones de aluminio, el drenaje del soluto puede continuar de manera acelerada durante la extrusión y unión posteriores del proceso HYB. Esto se debe a que pueden crecer por difusión, lo que puede conducir a una mayor pérdida de resistencia del material extrudido y potencial de endurecimiento por trabajo.
- 35 Para tratar de evitar esto, se puede emplear un enfriamiento controlado de las barras deformadas en caliente inmediatamente después de que hayan abandonado el dispositivo de deformación, por ejemplo, el troquel de extrusión o apertura de boca enrollada. Este enfriamiento se puede lograr usando aire forzado, rociado de agua o una combinación de ambos. Para evitar la precipitación de estas fases estables y metaestables ricas en solutos durante el enfriamiento, la tasa de enfriamiento puede estar dentro del intervalo de 7 a 50 K/s.
- 40 Una vez se han enfriado rápidamente las barras de aluminio deben tener una microestructura de tipo deformado y sobre la escala nano/atómica tener una matriz de aluminio con dislocaciones y dispersoides con al menos el 50 % de los elementos de aleación distintos de los elementos formadores de dispersoides y el hierro en solución sólida en la matriz. La nanoestructura también puede comprender pequeñas partículas portadoras de hierro (menos de aproximadamente 4 µm de diámetro) pero no contener las fases perjudiciales estables y metaestables mencionadas anteriormente.
- 45 Si no se lleva a cabo un control de proceso adecuado durante la fabricación de las barras de aluminio/material de extrusión, pueden aparecer en su lugar precipitados metaestables ricos en solutos dentro de la matriz de aluminio a temperatura ambiente después de enfriar junto con partículas grandes de Fe (mayores de aproximadamente 4 µm en diámetro) y fases gruesas de equilibrio ricas en solutos. Este tipo de estructura es altamente indeseable porque puede reducir tanto el potencial de endurecimiento por trabajo, límite elástico a la tracción y la ductilidad, la tenacidad al impacto y la resistencia a la corrosión del extrudido después de la extrusión y unión posterior usando el proceso HYB.
- 50 55 Despues de un enfriamiento controlado, las barras de aluminio se pueden bobinar. Una vez bobinadas, las barras de aluminio pueden almacenarse y/o transportarse antes de su posterior procesamiento para formar el material de extrusión. Las barras de aluminio pueden enviarse a un fabricante de alambre para su procesamiento adicional.
- 60 65 Durante el almacenamiento prolongado a temperatura ambiente, antes de un procesamiento adicional, tal como rasqueado y estiramiento de alambre, si se realizan, la estructura nano y atómica de las aleaciones puede cambiar debido a la formación de grupos y zonas GP. Este fenómeno se conoce como envejecimiento natural (NA) y puede ocurrir, por ejemplo, en las aleaciones Al-Cu, Al-Mg-Si y Al-Zn-Mg. Este proceso ocurre en la aleación a temperatura ambiente debido a la difusión de corto alcance de los átomos de soluto. Debido a que los grupos/zonas GP tienen una estabilidad térmica baja, pueden disolverse fácilmente dentro de la cámara de extrusión al recalentarse y, por lo tanto, no causar problemas en el caso HYB. Sin embargo, estas nanoestructuras deben tenerse en cuenta durante el

rasqueado y el estiramiento en frío de alambre, si se realizan. Esto se debe a que estas nanoestructuras aumentan el límite elástico, lo que puede afectar la capacidad de estiramiento de las aleaciones del material de extrusión.

Como se describe en el documento WO 2013/095160, el diámetro del alambre del material de extrusión debe seleccionarse con base en las dimensiones lineales de la cámara de extrusión utilizada para el proceso HYB. Por ejemplo, el diámetro del alambre puede ser aproximadamente 7 % mayor que el ancho de la cámara de extrusión. Al mismo tiempo, el área de la sección transversal de la cámara de extrusión puede ser aproximadamente 10 % mayor que el área de la sección transversal del alambre con el fin de evitar que el aluminio bloquee la cámara de extrusión.

Por tanto, puede ser deseable que el alambre tenga una forma/diámetro de sección transversal aproximadamente constante a lo largo de su longitud.

El diámetro puede tener una tolerancia de  $\pm 0.02$  mm.

Esto se puede lograr estirando la barra para formar el material de extrusión, rasqueando la barra para formar el material de extrusión o deformando en caliente la palanquilla para formar el material de extrusión.

Se ha descubierto que el estiramiento puede proporcionar una forma y un diámetro de producto más uniformes que la extrusión o el laminado. Por ejemplo, en la fabricación de alambres de aluminio de  $\Phi 1.6$  mm mediante el estiramiento de las mejores prácticas industriales, se implica un límite de tolerancia geométrica de 1.6 mm (+0.0/0.02). Esto es totalmente aceptable en el proceso HYB.

Como se discutió anteriormente, durante la extrusión y unión del proceso HYB no puede ocurrir ninguna expansión de la superficie con la posterior ruptura de la capa de óxido que rodea el material. Por lo tanto, toda la contaminación introducida a través de la aleación del material de extrusión puede terminar inevitablemente en una interfaz de unión, por ejemplo, en la ranura entre los dos componentes que se van a unir y reducir la fuerza de unión interfacial.

Con el fin de evitar que esto suceda, se puede realizar el rasqueado y/o la limpieza del material de extrusión antes de su uso. Dependiendo de determinadas circunstancias, tal como la herramienta utilizada para extrudir el material de extrusión, los pasos de rasqueado y/o limpieza no son esenciales.

El rasqueado de alambre se puede realizar antes de la operación de estiramiento. Por ejemplo, el rasqueado de alambre puede eliminar entre 0.05 y 0.5 mm, o más de 0.5 mm, de la capa superficial. Esta capa superficial puede ser una capa superficial contaminada.

El rasqueado y/o estiramiento de alambre (si se realizan estos pasos) se puede realizar en múltiples pasos. Esto puede ser, o no, con tratamientos térmicos intermedios, tal como el recocido.

La limpieza del alambre se puede realizar después del estiramiento. La limpieza puede ser el paso final antes de bobinar y empaquetar el material de extrusión.

La superficie del material de extrusión, por ejemplo, alambre de relleno, puede ser lisa y sustancialmente libre de grietas y contaminantes.

Todos los lubricantes pueden eliminarse adecuadamente de la superficie, tal como mediante una operación de limpieza, después de la etapa final de estiramiento, antes de bobinar y empaquetar.

El empaquetado puede implicar empaquetar el material de extrusión bobinado en un empaque al vacío. Esto puede evitar la absorción de contaminantes sobre la superficie del alambre.

Si se realizan, el rasqueado y estiramiento de alambre se pueden hacer en frío, en una operación, sin el uso de un tratamiento térmico intermedio, como un recocido blando.

El método puede comprender solo un paso de estiramiento. Como resultado, la relación de estiramiento total (es decir, el área de la sección transversal original dividida por el área de la sección transversal final) puede ser menor que la de los alambres de relleno típicos utilizados en la soldadura por fusión. Por ejemplo, la relación de estiramiento puede ser de aproximadamente 2:1 a 1.2: 1. Si se emplean relaciones de estiramiento más altas, puede producirse el agrietamiento o fractura del alambre. Un alto potencial de endurecimiento por trabajo del alambre, favorecido por un alto nivel de elementos de aleación en solución sólida, puede reducir el riesgo de agrietamiento y fractura durante la siguiente etapa de estiramiento (si se realiza).

La relación de estiramiento puede ser superior a aproximadamente 2:1, particularmente si el estiramiento se lleva a cabo en múltiples pasos.

Por lo tanto, el diámetro inicial de las barras de aluminio utilizadas en la fabricación del material de extrusión HYB puede ser más pequeño, por ejemplo, entre 1 y 3 mm, con el fin de facilitar el rasqueado y el estiramiento en una

sola operación. Las barras de aluminio utilizadas en la fabricación del material de extrusión HYB pueden tener más de 3 mm.

- 5 Dependiendo del tamaño del extrusor y del tamaño de la unión que se va a llenar con el material de relleno o del volumen deseado de material que se va a depositar, el alambre de material de extrusión puede tener un diámetro de aproximadamente 0.6 a 2 mm, por ejemplo, el diámetro del alambre puede ser de aproximadamente 1 mm o aproximadamente 1.6 mm. Este puede ser el diámetro del alambre para variantes del dispositivo de extrusión descrito en el documento WO 2013/095160.
- 10 La relación de extrusión o laminación (el área de la sección transversal original dividida por el área de la sección transversal final) puede ser significativamente mayor que la relación de estiramiento. Por ejemplo, la relación de extrusión puede ser al menos 5 veces mayor que la relación de estiramiento y la relación de laminación puede ser al menos 2 veces mayor que la relación de estiramiento. Esto se debe a que, en el caso de un material de extrusión para el proceso HYB, puede ser deseable que la relación de extrusión o laminación sea relativamente alta para romper grandes precipitados en la matriz de aluminio. Por el contrario, puede ser deseable que la relación de estiramiento sea relativamente baja de modo que el estiramiento se pueda realizar en una sola pasada con el fin de evitar la necesidad de un recocido blando intermedio que podría ser perjudicial para la micro o nanoestructura de la aleación.
- 15
- 20 Típicamente, en la producción de un alambre de relleno para soldar por fusión, el alambre está sujeto a una serie de pasos de estiramiento y recocido blando entre estos. Debido a que la identidad estructural se perderá después de la refundición, el uso de recocido blando no es crítico para las propiedades del alambre de relleno cuando se usa para soldadura por fusión. Por lo tanto, este es probablemente el método de producción más eficiente para tales alambres de relleno de soldadura por fusión.
- 25 Sin embargo, dado que el recocido blando se lleva a cabo normalmente por debajo de la temperatura de equilibrio del solvus de la aleación, puede conducir inevitablemente a una reprecipitación de diferentes fases estables y metaestables ricas en solutos dentro del material. Como se discutió anteriormente, esto puede ser devastador para el material de extrusión, es decir, para las propiedades del alambre de relleno/extrudido, es decir, el material de relleno, en el caso del proceso HYB, y debe evitarse.
- 30
- 35 El método del primer y/o segundo aspecto puede comprender fabricar el material de extrusión como un alambre de extrusión al: proporcionar una barra de aluminio; rasqueteado en frío y estiramiento de la barra de aluminio en una operación sin el uso de recocido blando intermedio para producir el alambre de extrusión.
- 40 El método del primer y/o segundo aspecto puede comprender fabricar el material de extrusión como un alambre de extrusión mediante: extrudir en caliente una palanquilla de aluminio para proporcionar una barra de aluminio; y estirar la barra de aluminio para formar el alambre de extrusión, en el que la relación de extrusión es al menos 5 veces, por ejemplo 5 a 10 veces, mayor que la relación del estiramiento.
- 45 Si el rasqueteado y el estiramiento del alambre no se pueden hacer en una operación, el tratamiento térmico de solución completa se puede llevar a cabo en su lugar después del paso final de recocido blando (si se realiza) con el fin de recuperar la estructura y propiedades de la aleación de extrusión para que sea como se describe anteriormente.
- 50 Debido a que un alambre de relleno usado para soldadura por fusión perderá completamente su identidad estructural debido a la refundición, su fabricación no está optimizada para obtener una estructura específica que es vital para las propiedades finales del metal de soldadura. La única "propiedad" importante que se mantiene entre el alambre de relleno y el metal de soldadura en la soldadura por fusión, por ejemplo, gas inerte de metal (MIG) o soldadura por láser, es la química/composición. Por el contrario, en el proceso HYB, el alambre de extrusión también ha incrustado una fuerte memoria estructural de todos los pasos de fabricación anteriores dentro de la matriz de Al, que luego se transporta al material extrudido durante la extrusión y unión posteriores. Esta 'memoria estructural' de los pasos de producción anteriores significa que la ruta de fabricación y la composición/química son diferentes a las utilizadas para la producción de alambres de relleno para soldadura por fusión.
- 55
- 60 Ciertas realizaciones preferidas de la presente invención se describirán ahora a modo de ejemplo solo con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:
- La Figura 1 es un esquema de una unión formada por el proceso HYB;
- 65 Las Figuras 2a y b son micrografías de la microestructura de dos alambres de extrusión AA6xxx experimentales usados en pruebas de laboratorio;

- La Figura 3 es un esquema de una nanoestructura;
- La Figura 4 es un esquema de otra nanoestructura;
- 5 La Figura 5a es un esquema de aún otra nanoestructura;
- La Figura 5b es un gráfico de la resistencia de la aleación FW frente al tiempo de almacenamiento de RT, log t;
- 10 La Figura 6 es un esquema que muestra una ruta de fabricación;
- 10 Las Figuras 7a, b y c ilustran posibles métodos de deformación en caliente;
- Las Figuras 8a a e muestran esquemas de uniones de ejemplo y sus niveles de resistencia; y
- 15 La Figura 9 es una representación gráfica del solapamiento en los contenidos de Si y Mg entre diferentes calidades de aluminio pertenecientes a la misma serie 6xxx.
- En la Figura 1 se muestra una unión 1 formada por un proceso híbrido de extrusión y unión de metales (HYB). La unión 1 se forma extrudiendo un alambre de relleno entre dos componentes 2 de aluminio para formar un material 4 de relleno como se describe en el documento WO 2003/04775.
- 20 El alambre de relleno se puede producir rasqueando y estirando una barra de aluminio como se describe con mayor detalle a continuación.
- 25 El alambre de relleno también puede usarse para unir un extrudido resultante sobre la superficie de un sustrato, es decir, un componente. Por lo tanto, no es necesario que el alambre de relleno llene una brecha entre dos componentes, pero podría depositarse sobre la superficie de un componente. Por lo tanto, el alambre de relleno también puede denominarse más generalmente un material de extrusión. Al hacer referencia al material de extrusión como un alambre de relleno, no implica que tenga que extrudirse entre dos componentes, y un material de extrusión depositado sobre 30 la superficie de un componente puede igualmente denominarse material de relleno.
- En el caso de que el alambre de relleno se use para unir dos componentes de aluminio, el alambre de relleno usado en el proceso HYB puede ser una aleación de aluminio que esté en la misma serie que al menos una aleación de aluminio de los componentes 2 de aluminio.
- 35 Si el alambre de relleno se usa para unir un componente de aluminio a un componente que no es de aluminio, o se usa para depositar una capa sobre un componente de aluminio, el alambre de relleno usado en el proceso HYB puede ser una aleación de aluminio que está en la misma serie como la aleación de aluminio del componente de aluminio.
- 40 El alambre de relleno está hecho de aleación de aluminio 2xxx, 5xxx, 6xxx, 7xxx u 8xxx y la composición del alambre de relleno debe contener de 0 a 0.25 % en peso de hierro; al menos 0.05 % en peso de elementos formadores de dispersoides, en el que los elementos formadores de dispersoides comprenden 0 a 1.2 % en peso de manganeso, 0 a 0.25 % en peso de cromo, 0 a 0.25 % en peso de circonio y 0 a 0.25 % en peso de escandio; y, excepto cuando la aleación de aluminio del alambre de relleno de aluminio es de la serie 2xxx, de 0 a 0.05 % en peso de cobre.
- 45 Los otros componentes de la composición pueden elegirse para proporcionar un material 4 de relleno final con propiedades apropiadas en vista de la unión 1 que se une (o el componente que está siendo recubierto con el extrudido) y la aplicación pretendida del producto final.
- 50 El alambre de relleno puede tener una microestructura deformada (fibrosa) como se muestra en la Figura 2a. La microestructura no debe ser una microestructura recristalizada como se muestra en la Figura 2b. Las Figuras 2a y 2b son micrografías de las microestructuras de dos alambres de relleno AA6xxx experimentales. La escala en la esquina inferior derecha de las micrografías muestra la longitud de 500 µm.
- 55 La composición y producción del alambre de relleno debe controlarse de modo que se logre la microestructura deformada tal como la de la Figura 2a en lugar de la microestructura recristalizada de la Figura 2b. Esto es lo mismo para una barra de aluminio utilizada para hacer el alambre de relleno de aluminio y el material 4 de relleno final de la unión 1.
- 60 En la nanoscalas, la aleación de aluminio del alambre de relleno/barra de aluminio/material de relleno debe comprender una matriz 6 de aluminio con dispersoides 8, partículas 10 de hierro pequeñas (por ejemplo, menos de 4 µm) y dislocaciones 12 en la misma como se muestra esquemáticamente en Figura 3. Al menos 50 % de los elementos de aleación distintos de los elementos formadores de dispersoides y el hierro deben estar en solución sólida en la matriz 6 de aluminio.
- 65

La nanoestructura debe estar libre de fases 14 metaestables, partículas 16 grandes de hierro (por ejemplo, mayores de 4 µm) y fases 18 de equilibrio. Esto se debe a que estas características reducirán la cantidad de elementos de aleación en solución sólida y degradarán perjudicialmente las propiedades físicas de la aleación de aluminio. La Figura 4 muestra esquemáticamente una nanoestructura indeseable.

5 La micro y nanoestructura del alambre de relleno de aluminio es importante porque el alambre de relleno no se funde durante el proceso HYB y, por tanto, la micro y nanoestructura del alambre de relleno afectará a la micro y nanoestructura del material de relleno. Esto, a su vez, afectará en gran medida las propiedades de la unión 1 final preparada por el proceso HYB.

10 Si la aleación de aluminio se deja a temperatura ambiente (que puede ser el caso entre la producción de la barra de aluminio y el alambre de relleno), naturalmente envejecerá y formará grupos y zonas 20 GP como se muestra esquemáticamente en la Figura 5a.

15 Como se muestra en la Figura 5b, que es un gráfico con la resistencia de la aleación del alambre de relleno en el eje x y el tiempo de almacenamiento a temperatura ambiente en log t en el eje y, a medida que se forman estos grupos y zonas GP, la resistencia de la aleación aumentará. Si bien esto no debería causar un problema para el proceso HYB, ya que las altas temperaturas durante la posterior extrusión del alambre de relleno harán que los grupos y las zonas 20 GP se disuelvan nuevamente en la matriz 6 de aluminio, debe tenerse en cuenta en el futuro procesamiento de la aleación de aluminio para formar el alambre de relleno de aluminio.

20 La Figura 6 muestra esquemáticamente un método de fabricación para fabricar el alambre de relleno usando extrusión en caliente. Sin embargo, se podrían realizar otros procesos de deformación en caliente, tal como el laminado en caliente, en lugar de la extrusión en caliente.

25 El método puede comprender un tratamiento 22 por fusión. El aluminio virgen puede obtenerse directamente de una fundición. Esto ayudará a garantizar que el contenido de impurezas tales como el hierro y el cobre estén en niveles aceptables. Los elementos de aleación tales como los elementos formadores de dispersoides se añaden a la masa fundida para formar la composición deseada. También se pueden añadir a la masa fundida refinadores de grano tales como AlB<sub>2</sub> y TiB<sub>2</sub>. Estos se pueden agregar inmediatamente antes de la colada.

30 La masa fundida de aluminio se puede colar 24 a continuación para formar una palanquilla o lingote de aluminio. Esto se puede realizar mediante colada en frío directo.

35 A continuación, la palanquilla puede homogeneizarse 26. La temperatura de homogeneización dependerá de la composición de la palanquilla, pero puede estar entre la temperatura de solvus y solidus de la aleación. La temperatura de homogeneización puede estar más cerca de la temperatura del solvus que de la temperatura del solidus, ya que esto puede crear una dispersión más fina de dispersoides.

40 A continuación, la palanquilla puede precalentarse 28 y esto puede ser mediante calentamiento por inducción. La temperatura a la que se precalienta la palanquilla dependerá de la composición de la aleación de aluminio.

45 A continuación, la palanquilla puede deformarse 30 en caliente para formar una barra de aluminio que se puede usar para formar el alambre de relleno. Este paso 30 de deformación en caliente puede lograrse mediante extrusión en caliente (como se ilustra en las Figuras 7a o 7b) o laminación en caliente (como se muestra en la Figura 7c).

La Figura 7a muestra una palanquilla 100 en un recipiente 102. La palanquilla 100 se fuerza a través de un troquel 104 mediante la acción del pistón 106 para formar una barra 108 de aluminio.

50 La Figura 7b muestra una palanquilla/materia 110 prima forzada por medio de una rueda 112 a través de un troquel entre un tope 114 y una zapata 116 para formar una barra 118 de aluminio.

La Figura 7c muestra una barra 122 de aluminio que se lama entre dos rodillos 120.

55 La relación de extrusión (área original/área final) puede ser de al menos 10:1 y la relación de laminación (área original/área final) puede ser de al menos 5:1. Una vez deformada para formar la barra de aluminio, la aleación de aluminio puede enfriarse 32 rápidamente. La barra enfriada rápidamente puede entonces bobinarse 34 para su almacenamiento y transporte antes de su procesamiento adicional para formar el alambre de relleno. Estos pasos 22 a 34 (mostrados con una flecha sólida) pueden ser realizados por un productor de metal de aluminio.

60 Para formar el alambre de relleno, la barra de aluminio se puede rasquetear 36 y estirar 38. El rasqueteado 36 y el estiramiento 38 se pueden hacer en frío, en una operación, sin el uso de un tratamiento térmico intermedio, tal como un recocido blando. Esto puede ser para asegurar que el alambre de relleno final tenga una microestructura apropiada sin el uso de recocido blando perjudicial y/o tratamientos térmicos costosos y que consumen mucho tiempo para reparar el daño estructural que ha causado el recocido blando anterior. La relación de estiramiento (área original/área final) puede ser de aproximadamente 2:1 a 1.2:1 o superior.

La relación de extrusión puede ser de aproximadamente 5 a 10 veces mayor que la relación de estiramiento y la relación de laminación puede ser de aproximadamente 2 a 5 veces mayor que la relación de estiramiento.

- 5 La superficie del alambre de relleno debe ser lisa y libre de grietas. Esto es para minimizar el riesgo de que los contaminantes queden atrapados en la superficie del alambre de relleno, lo que puede afectar negativamente la calidad de la unión 1 final, particularmente la resistencia de la unión interfacial.
- 10 Después del estiramiento 38, el alambre puede limpiarse 40 y luego bobinarse y empaquetarse 42. El alambre puede empaquetarse en un entorno sellado al vacío. Esto es para tratar de mantener el alambre de relleno en una condición apropiada (por ejemplo, libre de contaminantes sobre la superficie) para su uso en el proceso HYB. Los pasos 36 a 42 (mostrados con una flecha punteada) pueden ser realizados por un fabricante de alambre de relleno de aluminio.
- 15 Un diseñador de alambre de relleno puede conocer la composición y micro/nanoestructura que requieren para el proceso HYB. Con esta información, los pasos de procesamiento pueden ajustarse en consecuencia para permitir que se produzca el alambre de relleno deseado.

### Ejemplos

- 20 Las uniones 1 de ejemplo se muestran en las Figuras 8 a a e. Los ejemplos ilustran cómo un alambre de relleno hecho a la medida de una composición específica de acuerdo con la presente invención responderá a la unión a tope de diferentes placas de Al-Mg-Si pertenecientes a la misma serie de aleaciones.
- 25 El gráfico sobre cada unión esquemática ilustra la resistencia relativa de la unión en comparación con los componentes que se unen.
- 30 En cada uno de los ejemplos de las Figuras 8a, 8b y 8c, se supone que la composición del alambre de relleno se encuentra dentro de la esquina superior derecha de la ventana de composición para AA6082 que se ilustra en la Figura 9, es decir, la composición es relativamente alta en magnesio y contenido de silicio. Además, la nanoestructura del alambre de relleno es la ilustrada en la Figura 5a. La designación apropiada de la aleación del alambre de relleno sería AA6xxx-calidad A, donde la calidad A indica que el alambre de relleno tiene un alto contenido de Si y Mg.
- 35 El ejemplo de la Figura 8a muestra la unión a tope de dos placas base AA6082-T6 usando AA6xxx-calidad A como un alambre de relleno. La designación de temple T6 indica que el material de los componentes de aluminio que se unen se envejece artificialmente hasta su máxima resistencia antes de unirse. Por lo tanto, cuando se usa un alambre de relleno coincidente durante la operación de unión, debe obtenerse un "nivel de resistencia uniforme" a través de la unión, como se ilustra en la Fig. 8a.
- 40 El ejemplo de la Figura 8b muestra la unión a tope de las placas base AA6082-T7 usando AA6xxx-calidad A como alambre de relleno.
- 45 La designación de temple T7 indica que el mismo material de los componentes de aluminio que se unen se usa en la condición de sobrevejecimiento. Por lo tanto, su resistencia es menor que la de las placas base T6 tratadas térmicamente en el ejemplo de la Figura 8a. Por consiguiente, después de unir el material de relleno, la resistencia será mayor que la del metal base, como se ilustra en la Fig. 8b, un estado al que se hace referencia como material de relleno que no coincide.
- 50 El ejemplo de la Figura 8c muestra la unión a tope de placas base AA6060-T6 utilizando AA6xxx-calidad A como alambre de relleno. La denominación de aleación AA6060 indica que este material base del componente de aluminio tiene un contenido más bajo de los principales elementos de aleación Si y Mg en comparación con AA6082 (véase la Fig. 9). Por lo tanto, su resistencia máxima será menor que la de las placas base T6 tratadas térmicamente en el ejemplo de la Figura 8a. Por lo tanto, el grado deseado de sobreajuste del material de relleno también se logra en este caso, como se ilustra en la Fig. 8c, aunque la composición de la aleación del alambre de relleno es la misma que en los otros dos ejemplos de las figuras 8a y 8b.
- 55 Las Figuras 8d y e muestran ejemplos del posible uso de un alambre de relleno específico para unir aleaciones de aluminio diferentes. En ambos ejemplos, se supone que la composición del alambre de relleno se encuentra dentro del medio de la ventana de composición para AA6060 en la Figura 9. Además, se supone que la estructura del alambre de relleno es similar a la mostrada en la Figura 5a. La designación apropiada de la aleación del alambre de relleno sería AA6xxx-calidad B, donde la calidad B indica que el alambre de relleno es bajo en Si y Mg.
- 60 La Figura 8d muestra un ejemplo de unión a tope de placas base AA6082 diferentes (AA6082-T6 en el lado izquierdo y AA6082-T7 en el lado derecho) usando AA6xxx-calidad B como alambre de relleno.
- 65 La designación de temple T6 indica que el material base en el lado izquierdo de la unión diferente en la Fig. 8d se envejece artificialmente hasta su resistencia máxima antes de unir, mientras que la designación de temple T7 indica

## ES 2 880 505 T3

que se usa la otra placa base en su lugar en la condición de sobreenvejecimiento. Por lo tanto, cuando se usa un alambre de relleno de resistencia que coincide con el metal base más blando durante la operación de unión, la resistencia de la unión caerá desde el valor T6 inicial a la resistencia del material base T7 más bajo, como se ilustra en la Fig. 8d.

- 5 Volviendo a la Figura 8e, que muestra la unión de AA 6082-T6 en el lado izquierdo con AA6060-T6 en el lado derecho, la designación de aleación AA6082 indica que este material base tiene un mayor contenido de los principales elementos de aleación Si y Mg en comparación con AA6060 (véase la Fig. 9). Por lo tanto, su resistencia máxima será mayor que la del material base AA6060 tratado térmicamente con T6. En consecuencia, después de unir, usando el mismo alambre de relleno que en el ejemplo anterior, la resistencia del material de relleno caerá entre la resistencia de las dos placas base, como se ilustra en la Fig. 8e.
- 10

**REIVINDICACIONES**

1. Un método para unir dos componentes (2) utilizando un proceso híbrido de extrusión y unión de metales, comprendiendo el método:

- 5 proporcionar los dos componentes, en el que cada uno de los componentes tiene una superficie de unión que se va a unir al otro componente;
- 10 proporcionar un material de extrusión de aluminio para su uso en un proceso híbrido de extrusión y unión de metales, en el que el material de extrusión de aluminio está hecho de aleación de aluminio 2xxx, 5xxx, 6xxx, 7xxx u 8xxx,
- 15 en el que la composición del material de extrusión comprende:
- 15 0 a 0.25 % en peso de hierro;
- 20 al menos 0.05 % en peso de elementos formadores de dispersoides, en los que los elementos formadores de dispersoides comprenden 0 a 1.2 % en peso de manganeso, 0 a 0.25 % en peso de cromo, 0 a 0.25 % en peso de circonio y 0 a 0.25% en peso de escandio; y,
- 25 excepto cuando la aleación de aluminio del material de extrusión de aluminio está en la serie 2xxx, 0 a 0,05% en peso de cobre,
- 25 en el que la microestructura del material de extrusión es una microestructura deformada, y
- 30 en el que la nanoestructura del material de extrusión comprende una matriz de aluminio (6) con dislocaciones (12) y dispersoides (8), y en el que al menos el 50 % de los elementos de aleación distintos de los elementos formadores de dispersoides y el hierro están en solución sólida en la matriz de aluminio;
- 35 eliminar el óxido de las superficies de unión de los dos componentes, y
- 35 extrudir el material de extrusión de aluminio entre las superficies de unión de los dos componentes.

35 2. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que al menos uno de los componentes es un componente de aluminio.

40 3. Un método de acuerdo con la reivindicación 2, en el que la composición del material de extrusión es de la misma serie de aleaciones de aluminio que la composición de al menos uno de los componentes de aluminio.

40 4. Un método para unir un extrudido a un componente (2) usando un proceso híbrido de extrusión y unión de metales, comprendiendo el método:

- 45 proporcionar el componente, en el que el componente tiene una superficie sobre la que se depositará y pegará el extrudido;
- 45 proporcionar un material de extrusión de aluminio para su uso en un proceso híbrido de extrusión y unión de metales, en el que el material de extrusión de aluminio está hecho de aleación de aluminio 2xxx, 5xxx, 6xxx, 7xxx u 8xxx,
- 50 en el que la composición del material de extrusión comprende:
- 50 0 a 0.25 % en peso de hierro;
- 55 al menos 0.05 % en peso de elementos formadores de dispersoides, en los que los elementos formadores de dispersoides comprenden 0 a 1.2 % en peso de manganeso, 0 a 0.25 % en peso de cromo, 0 a 0.25 % en peso de circonio y 0 a 0.25 % en peso de escandio; y,
- 60 excepto cuando la aleación de aluminio del material de extrusión de aluminio es de la serie 2xxx, 0 a 0.05 % en peso de cobre,
- 60 en el que la microestructura del material de extrusión es una microestructura deformada, y
- 65 en el que la nanoestructura del material de extrusión comprende una matriz de aluminio (6) con dislocaciones (12) y dispersoides (8), y en el que al menos el 50 % de los elementos de aleación distintos de los elementos formadores de dispersoides y el hierro están en solución sólida en la matriz de aluminio;

- eliminar el óxido de la superficie del componente, y  
extrudir el material de extrusión de aluminio sobre la superficie del componente.
- 5 5. El método de la reivindicación 4, en el que el componente es un componente de aluminio.
6. El método de la reivindicación 5, en el que la composición del material de extrusión es de la misma serie de aleaciones de aluminio que la composición del componente de aluminio.
- 10 7. El método de cualquier reivindicación anterior, en el que la nanoestructura del material de extrusión comprende pequeñas partículas de hierro (10) de hasta 4 µm de tamaño, y/o en el que la nanoestructura está libre de precipitados (14) metaestables ricos en solutos, partículas grandes de hierro (16) mayores de 4 µm de tamaño y fases (18) de equilibrio ricas en soluto grueso en las que el tamaño de partícula se determina usando microscopía óptica o electrónica de barrido.
- 15 8. El método de cualquier reivindicación anterior, en el que la microestructura no es una microestructura recristalizada; y/o en el que la relación de longitud a anchura de los granos de la microestructura es de al menos 5:1.
- 20 9. El método de cualquier reivindicación anterior, en el que el material de extrusión comprende un refinador de granos.
- 25 10. El método de cualquier reivindicación anterior, en el que el material de extrusión es un alambre de relleno.
11. Un método de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, que comprende además el paso de fabricar el material de extrusión de aluminio mediante:
- 25 proporcionar una barra de aluminio (108; 118; 122), en el que la barra de aluminio está hecha de aleación de aluminio 2xxx, 5xxx, 6xxx, 7xxx u 8xxx,
- en el que la composición de la barra de aluminio comprende:
- 30 0 a 0.25 % en peso de hierro;
- al menos 0.05 % en peso de elementos formadores de dispersoides, en los que los elementos formadores de dispersoides comprenden 0 a 1.2 % en peso de manganeso, 0 a 0.25 % en peso de cromo, 0 a 0.25 % en peso de circonio y 0 a 0.25 % en peso de escandio; y,
- 35 excepto cuando la aleación de aluminio de la barra de aluminio es de la serie 2xxx, 0 a 0.05 % en peso de cobre,
- en el que la microestructura de la barra de aluminio es una microestructura deformada; y
- 40 en el que la nanoestructura de la barra de aluminio comprende una matriz (6) de aluminio con dislocaciones (12) y dispersoides (8), y en el que al menos el 50 % de los elementos de aleación distintos de los elementos formadores de dispersoides y el hierro están en solución sólida en la matriz de aluminio; y
- 45 deformar la barra de aluminio para formar el material de extrusión de aluminio, en el que la microestructura del material de extrusión es una microestructura deformada; y en el que la nanoestructura del material de extrusión comprende una matriz (6) de aluminio con dislocaciones (12) y dispersoides (8), y en el que al menos el 50 % de los elementos de aleación distintos de los elementos formadores de dispersoides y el hierro están en solución sólida en la matriz de aluminio.
- 50 12. Un método de acuerdo con la reivindicación 11, en el que deformar la barra de aluminio comprende:
- rasquetear (36) en frío la barra de aluminio; y
- 55 estirar (38) la barra de aluminio;
- preferiblemente en el que el rasqueteado en frío y el estiramiento de la barra de aluminio se realizan en una operación sin el uso de un paso intermedio de tratamiento térmico; y/o en el que la relación de estiramiento es de aproximadamente 2:1 a 1.2:1; y/o en el que la limpieza (40) de alambre se realiza después del estiramiento.
- 60 13. Un método de acuerdo con la reivindicación 11 o 12, que comprende además el paso de fabricar la barra (108; 118; 122) de aluminio mediante:
- proporcionar una masa fundida de aluminio, en la que la masa fundida de aluminio está hecha de aleación de aluminio 2xxx, 5xxx, 6xxx, 7xxx u 8xxx, y en la que la composición de la masa fundida de aluminio comprende:

- 0 a 0.25 % en peso de hierro;
- 5 al menos 0.05 % en peso de elementos formadores de dispersoides, en los que los elementos formadores de dispersoides comprenden 0 a 1.2 % en peso de manganeso, 0 a 0.25 % en peso de cromo, 0 a 0.25 % en peso de circonio y 0 a 0,25% en peso de escandio; y,
- 10 excepto cuando la aleación de aluminio de la barra de aluminio es de la serie 2xxx, 0 a 0.05 % en peso de cobre;
- 10 colar (24) la masa fundida de aluminio para producir una palanquilla (100) de aluminio,
- 10 homogeneizar (26) la palanquilla de aluminio;
- 15 deformar (30) en caliente la palanquilla para formar la barra de aluminio; y
- 15 enfriar (33) rápidamente la barra de aluminio,
- en el que la microestructura de la barra de aluminio enfriada rápidamente es una microestructura deformada; y
- 20 en el que la nanoestructura de la barra de aluminio enfriada rápidamente comprende una matriz (6) de aluminio con dislocaciones (12) y dispersoides (8), y en el que al menos el 50 % de los elementos de aleación distintos de los elementos formadores de dispersoides y el hierro están en solución sólida en la matriz de aluminio.
- 25 14. Un método de acuerdo con la reivindicación 13, en el que la masa fundida de aluminio se produce a partir de aluminio virgen; y/o en el que la colada es colada en frío directo; y/o en el que la temperatura de homogeneización está entre la temperatura de solidus y solvus de la aleación de aluminio de la palanquilla y está más cerca de la temperatura de solvus que la temperatura de solidus, como se define por el diagrama de fase de equilibrio; y/o en el que la palanquilla se precalienta (28) mediante calentamiento por inducción antes de la deformación en caliente; y/o en el que, durante la deformación en caliente, la temperatura de la palanquilla se controla de modo que se mantenga por encima del solvus de equilibrio de la aleación, como se define en el diagrama de fase de equilibrio; y/o en el que 30 cuando el material se extrude en caliente, la relación de extrusión es al menos 5 veces mayor que la relación de estiramiento y cuando el material se lamine en caliente, la relación de laminación es al menos 2 veces mayor que la relación de estiramiento.
- 35 15. Un método de acuerdo con la reivindicación 13 o 14, en el que la deformación en caliente es extrusión en caliente y en el que la reducción del área mínima es al menos 10:1, o en el que la deformación en caliente es laminación en caliente y en el que la reducción del área es al menos 5:1.
- 40 16. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 13 a 15, en el que el diámetro de la barra de aluminio deformada en caliente es de aproximadamente 1.5 a 2 veces el diámetro del material de extrusión deseado.
- 40 17. Una unión (1) formada a partir del método de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, o el método de una cualquiera de las reivindicaciones 7 a 16 cuando depende de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, comprendiendo la unión:
- 45 los dos componentes (2); y
- un material (4) de relleno de aluminio entre ellos, el material de relleno de aluminio formado como resultado del paso de extrusión del material de extrusión de aluminio.

Fig. 1

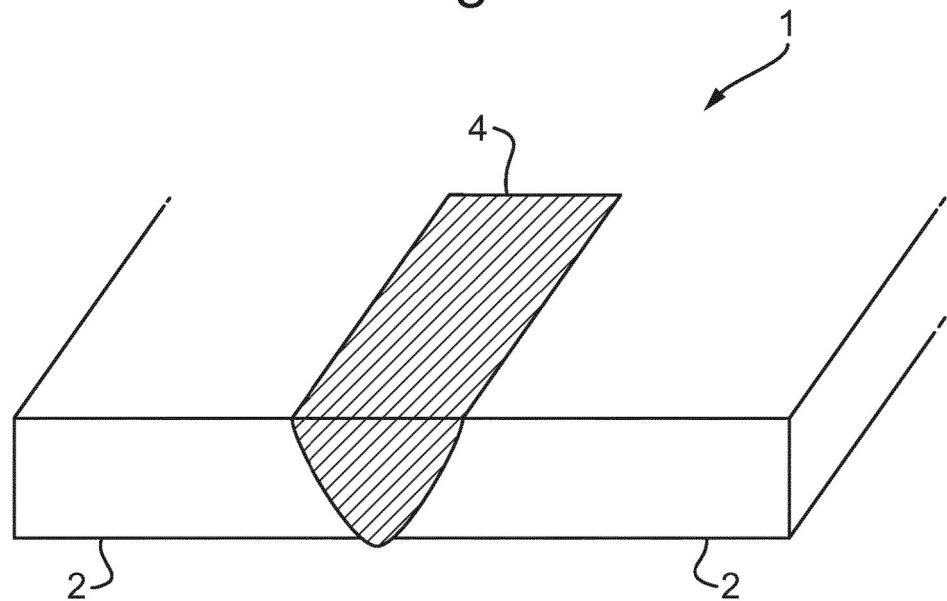


Fig. 2(a)

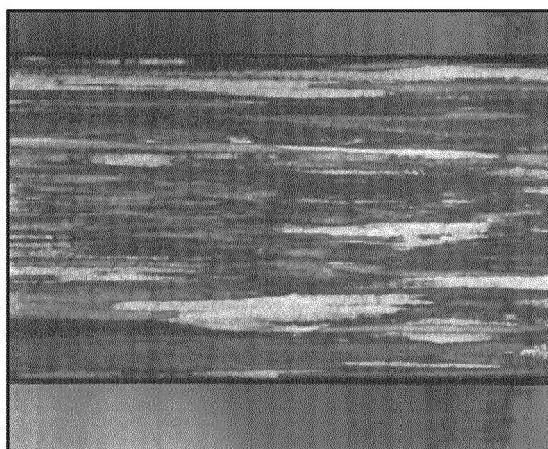


Fig. 2(b)

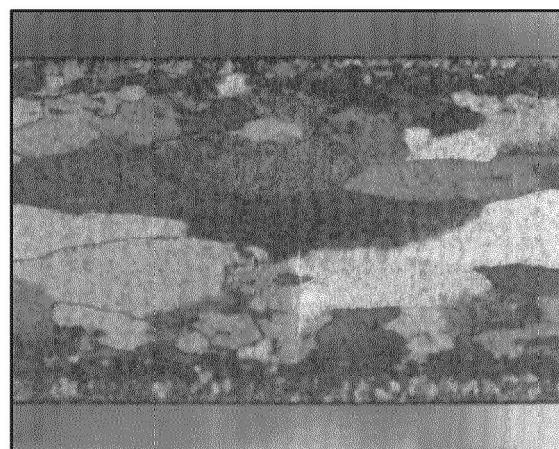


Fig. 3

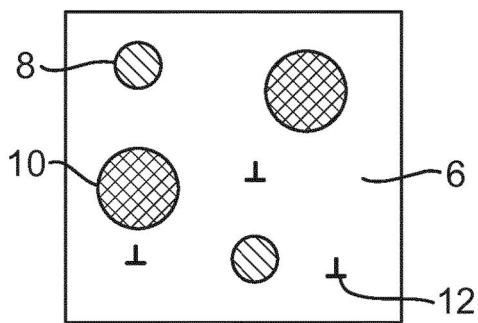


Fig. 4

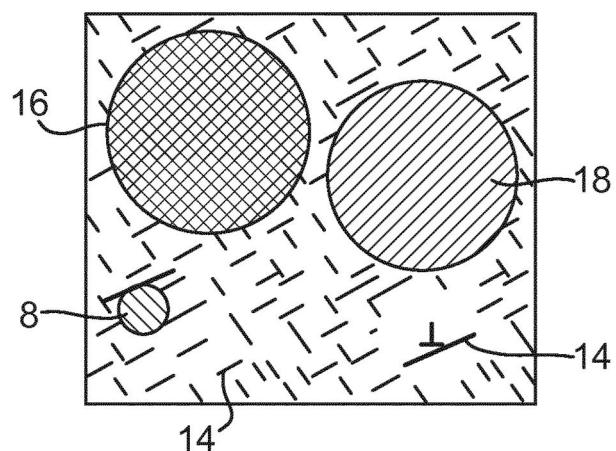


Fig. 5a

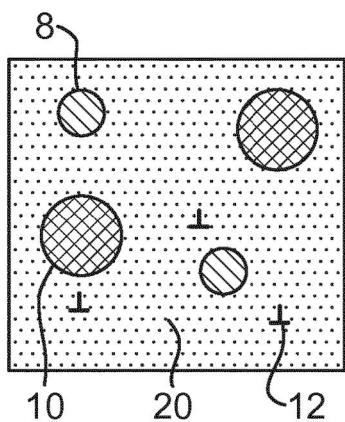


Fig. 5b

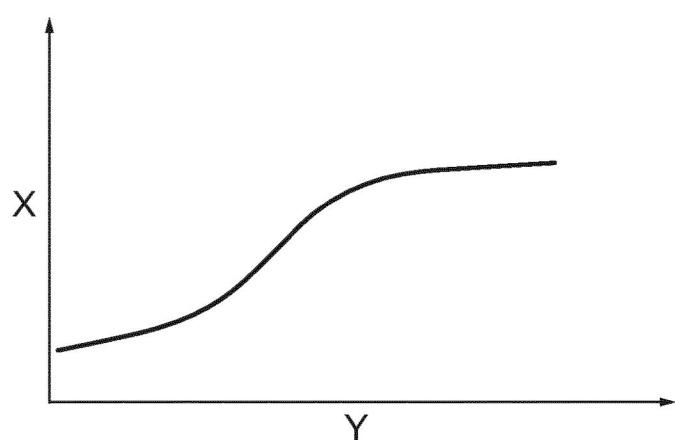


Fig. 6

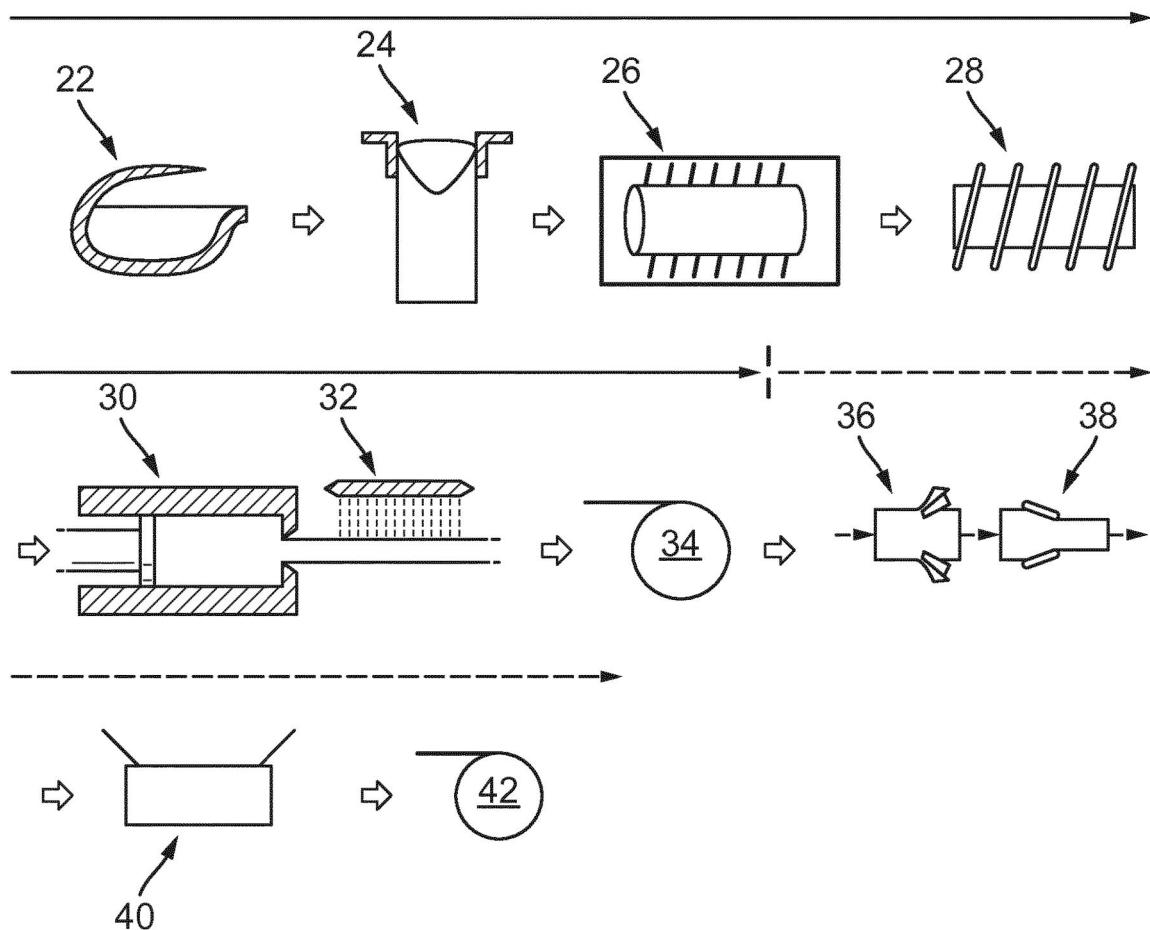


Fig. 7(a)

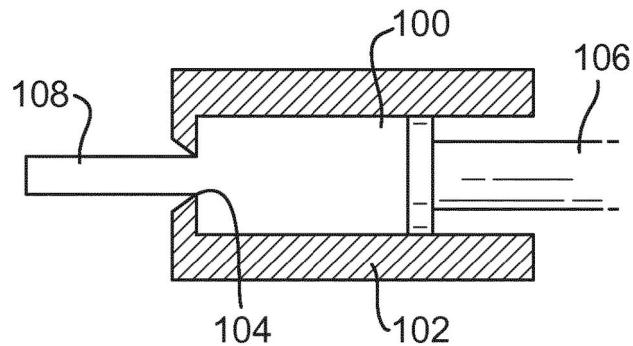


Fig. 7(b)

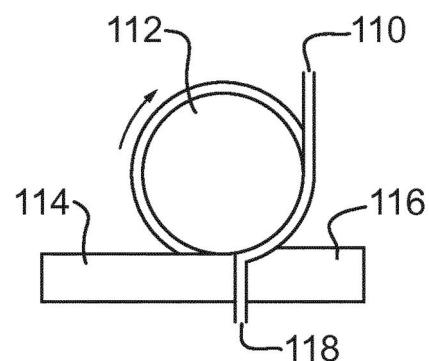


Fig. 7(c)

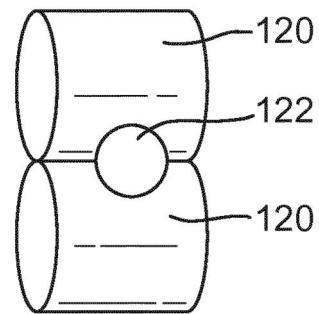


Fig. 8(a)

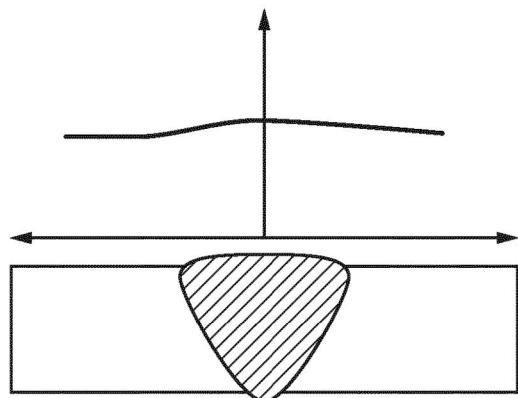


Fig. 8(b)

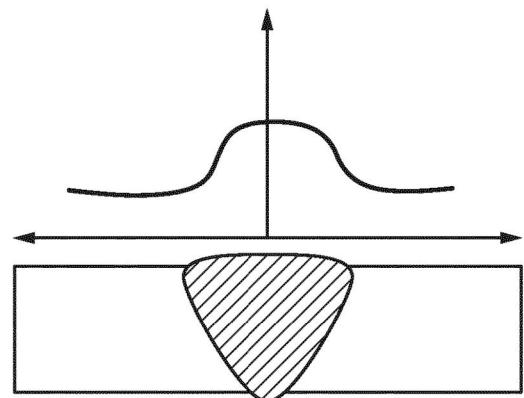


Fig. 8(c)

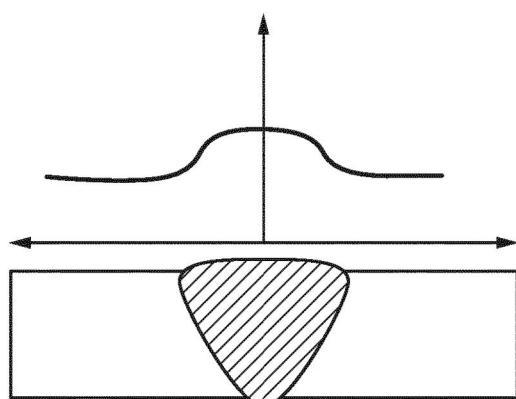


Fig. 8(d)

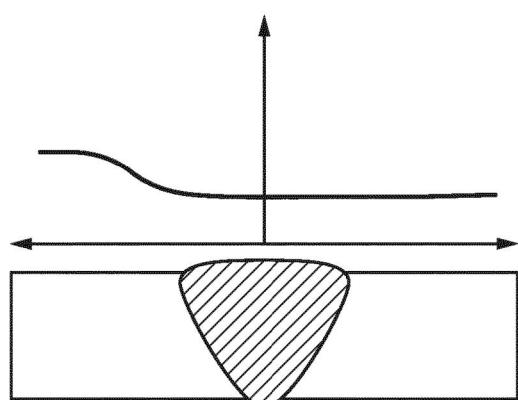


Fig. 8(e)

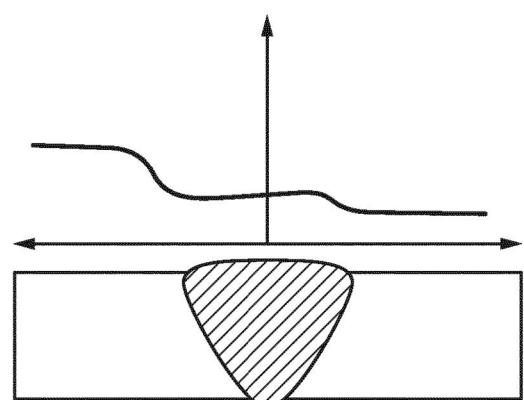


Fig. 9

