



①9



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

①1 Número de publicación: **2 282 360**

⑤1 Int. Cl.:
B23K 20/12 (2006.01)

⑫

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

⑧6 Número de solicitud europea: **02025893 .5**

⑧6 Fecha de presentación : **20.11.2002**

⑧7 Número de publicación de la solicitud: **1334793**

⑧7 Fecha de publicación de la solicitud: **13.08.2003**

⑤4 Título: **Soldadura por fricción y agitación de alta resistencia.**

③0 Prioridad: **26.12.2001 US 35865**

④5 Fecha de publicación de la mención BOPI:
16.10.2007

④5 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
16.10.2007

⑦3 Titular/es: **The Boeing Company**
100 North Riverside
Chicago, Illinois 60606-1596, US

⑦2 Inventor/es: **Litwinski, Edward**

⑦4 Agente: **Elzaburu Márquez, Alberto**

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

Soldadura por fricción y agitación de alta resistencia.

Campo de la invención

La presente invención se refiere a un aparato y un método de fabricación de un montaje estructural mediante una soldadura por fricción y agitación, según los preámbulos de las reivindicaciones 1 y 10, en la que el método comprende las operaciones de configurar una junta de soldadura por fricción y agitación en al menos un miembro estructural usando una herramienta de soldadura por fricción y agitación giratoria para construir el montaje estructural.

Ese tipo de aparato y método se conoce por el documento US 6.168.067 B1.

Antecedentes de la invención

La soldadura por fricción y agitación se utiliza para unir piezas de trabajo para formar montajes estructurales que pueden ser usados en la fabricación de aviones militares y comerciales, así como en otras aplicaciones que requieren uniones soldadas de alta resistencia. Como se ilustra en la figura 1, la soldadura por fricción y agitación implica la inserción del pasador roscado 10a de una herramienta 10 de soldadura por fricción y agitación giratoria entre las caras opuestas de un par de piezas 12, 14 de trabajo al mismo tiempo que se empuja juntando las piezas de trabajo. La soldadura por fricción y agitación puede ser usada también para reparar grietas u otros defectos en una pieza de trabajo única. La rotación del pasador roscado 10a entre las caras opuestas de las piezas de trabajo 12, 14, o dentro de una pieza de trabajo única, crea fricción que genera suficiente energía térmica para plastificar el material de la pieza de trabajo en la zona 16 de soldadura. La herramienta 10 de soldadura por fricción y agitación incluye también un resalte cóncavo destinado a consolidar el material de la pieza de trabajo plastificada dentro de la zona 16 de soldadura a medida que la herramienta de soldadura por fricción y agitación se mueve a lo largo de la interfaz 11 entre piezas de trabajo o a través de una pieza única de trabajo. Una junta 18 de soldadura por fricción y agitación se forma, uniendo las piezas de trabajo juntas en un montaje unitario, a medida que las regiones plastificadas de las piezas de trabajo 12, 14 circulan juntas y se enfría la zona 16 de soldadura. Véase la Patente de EE.UU. N° 5.460.317, de Thomas y otros, para un examen general de la soldadura por fricción y agitación.

Un beneficio particular de la soldadura por fricción y agitación se debe a que la formación de la junta 18 de soldadura es autógena y se crea mediante la solidificación de los materiales de base plastificados en vez de a partir de un material de relleno, como ocurre ordinariamente en un procedimiento de soldadura convencional. En adición, como se ilustra en la figura 2A, la junta 18 de soldadura por fricción y agitación comprende un cordón que tiene una estructura de grano refinada con granos que tienen una estructura equiaxial y tamaños de grano de un orden de magnitud que varía desde aproximadamente $2,54 \times 10^{-4}$ cm, (aproximadamente de 3 a 5 micrómetros). Como un resultado de de la estructura de grano mejorada la junta 18 de soldadura por fricción y agitación resiste la formación y propagación de microgrietas y presenta una resistencia, ductibilidad y tenacidad mejoradas, así como una resistencia a la corrosión y

la fatiga mejoradas.

El calor de fricción necesario para plastificar el material de la pieza de trabajo durante la soldadura por fricción y agitación puede degradar las propiedades de material de los materiales de base. Como se muestra en la figura 1, durante la soldadura por fricción y agitación, el calor de fricción creado por la herramienta 10 de soldadura por fricción y agitación giratoria es conducido desde la zona 16 de soldadura a través de las piezas 12, 14 de trabajo dentro del medio ambiente, creando una región 20 afectada por el calor alrededor de la zona 16 de soldadura. Las elevadas temperaturas asociadas con el procedimiento de soldadura por fricción y agitación pueden degradar las propiedades mecánicas de los materiales originales, incluyendo la resistencia, la tenacidad, y la ductilidad de las piezas 12, 14 de trabajo.

La degradación de las propiedades del material es particularmente problemática cuando los materiales originales endurecidos se precipitan en la soldadura, la cual tiene propiedades mecánicas mejoradas obtenidas por medio de tratamientos térmicos de disolución y precipitación. Cuando las piezas 12, 14 de trabajo endurecidas por precipitación de la soldadura agitada por fricción se unen, las piezas de trabajo unidas requieren ordinariamente un endurecimiento de la precipitación adicional o un tratamiento térmico de resolución para recuperar las propiedades de los materiales básicos. El tratamiento térmico de resolución incluye el tratamiento térmico de la solución que trata las piezas de trabajo 12, 14 a una temperatura predeterminada programada y luego el enfriamiento rápido de las piezas de trabajo mediante el temple. El procedimiento de tratamiento térmico de la solución es seguido entonces por un tratamiento térmico de precipitación que implica un envejecimiento natural o artificial a una segunda temperatura predeterminada programada para recuperar las propiedades del material original. Aunque el tratamiento térmico de resolución mejora las propiedades del material de las piezas 12, 14 de trabajo unidas, el tratamiento térmico de resolución origina típicamente un crecimiento de grano apreciable en la junta 18 de soldadura por fricción y agitación, como se ilustra mediante una comparación de las figuras 2A y 2B. Por ejemplo, las juntas 18 de soldadura por fricción y agitación ordinariamente tienen unos tamaños de grano de hasta 0,64 cm después del tratamiento térmico de resolución. Los granos grandes en la junta 18 de soldadura por fricción y agitación resultantes del tratamiento térmico de resolución afectan adversamente las propiedades del material de la junta soldada, incluyendo la reducción de la dureza, la ductilidad, la resistencia a la corrosión intergranular y la resistencia a la fatiga.

Al tratar de minimizar la degradación de las propiedades del material de las juntas 18 de soldadura por fricción y agitación durante los tratamientos térmicos posteriores a la soldadura, han sido propuestas varias soluciones alternativas, que incluyen el acortamiento de la duración del tratamiento térmico de la solución, recocido posterior a la soldadura antes del tratamiento térmico de la solución, y martillado de la superficie. No obstante, estas soluciones no han sido eficaces en la reducción del crecimiento de grano de las juntas 18 de soldadura por fricción y agitación durante los tratamientos térmicos de la solución posteriores a la soldadura.

Por tanto, existe una necesidad de métodos y apa-

ratos mejorados para los materiales tratados térmicamente de soldadura por fricción y agitación y, en particular, los materiales endurecidos de precipitación. Tales métodos y aparatos de fabricación deben examinar las propiedades de material mejoradas asociadas con la resolución del tratamiento térmico, al mismo tiempo que se minimiza la degradación de las propiedades del material de la junta de soldadura por fricción y agitación durante tales tratamientos térmicos.

Sumario de la invención

Esto se consigue mediante un método como se menciona en el comienzo que comprende además las operaciones de: calentar la herramienta de soldadura por fricción y agitación antes de dicha operación de configuración con al menos un calentador para de ese modo inhibir el crecimiento de grano en la junta de soldadura, y un tratamiento térmico de resolución o endurecimiento de precipitación del montaje estructural.

Esto se consigue además mediante un aparato como se menciona al principio, que adicionalmente tiene al menos un calentador de la herramienta de soldadura para calentar dicha herramienta, estando estructurado dicho al menos un calentador de modo que está aislado eléctricamente de al menos un miembro estructural.

La presente invención proporciona también un aparato según la reivindicación 10. En una realización, según la presente invención, el aparato incluye una herramienta de soldadura por fricción y agitación en comunicación giratoria con el husillo. La herramienta de soldadura por fricción y agitación define una cavidad. El aparato incluye al menos un calentador destinado a comunicar térmicamente con la herramienta de soldadura por fricción y agitación para de ese modo calentar la herramienta y en el que el al menos un calentador está recibido al menos parcialmente en la cavidad de la herramienta de soldadura por fricción y agitación. El al menos un calentador puede incluir una bobina de calentamiento de resistencia, una bobina de calentamiento de inducción, una lámpara de cuarzo, un soplete de gas, o un láser. En una realización, el al menos un calentador comunica térmicamente con la herramienta de soldadura por fricción y agitación por medio de convección, conducción, irradiación o inducción. En otra realización, el aparato incluye un sensor en comunicación térmica con la herramienta de soldadura por fricción y agitación para medir la temperatura de la herramienta de soldadura por fricción y agitación. En otra realización, el aparato incluye un controlador en comunicación eléctrica con el sensor y en comunicación operativa con al menos un calentador. El controlador está configurado para modificar automáticamente la producción de calor de al menos un calentador para modificar la temperatura de la herramienta de soldadura por fricción y agitación.

En otra realización, la presente invención proporciona un aparato para soldadura por fricción y agitación en al menos un miembro estructural, que incluye una máquina que tiene un husillo giratorio. Una herramienta de soldadura por fricción y agitación está en comunicación giratoria con el husillo. El aparato incluye al menos un calentador destinado a comunicar térmicamente con la herramienta de soldadura por fricción y agitación para de ese modo calentar la herramienta y en el que el al menos un calentador está estructurado de modo que está aislado eléctricamente

de al menos un miembro estructural. El al menos un calentador puede incluir una bobina de calentamiento de resistencia, una bobina de calentamiento de inducción, una lámpara de cuarzo, un soplete de gas, o un láser. En una realización la herramienta de soldadura por fricción y agitación define una cavidad destinada a recibir al menos parcialmente un calentador. En otra realización, el al menos un calentador está espaciado de la herramienta de soldadura por fricción y agitación. En otra realización, el al menos un calentador comunica térmicamente con la herramienta de soldadura por fricción y agitación por convección, conducción, irradiación o inducción. En otra realización más, el aparato incluye un sensor en comunicación térmica con la herramienta de soldadura por fricción y agitación para medir la temperatura de la herramienta de soldadura por fricción y agitación. En otra realización todavía, el aparato incluye un controlador en comunicación eléctrica con el sensor y en comunicación operativa con al menos un calentador. El controlador está configurado para modificar automáticamente la producción de calor del al menos un calentador para modificar la temperatura de la herramienta de soldadura por fricción y agitación.

La presente invención proporciona también un método de fabricación de un montaje estructural según la reivindicación 1 que incluye la formación de una junta de soldadura por fricción y agitación en al menos un miembro estructural que usa una herramienta de soldadura por fricción y agitación giratoria. El método incluye el calentamiento de la herramienta de soldadura por fricción y agitación antes de la operación de configuración con al menos un calentador para de ese modo inhibir el crecimiento de grano en la junta soldada. En una realización, las operaciones de configuración y calentamiento se repiten para de ese modo unir al menos un miembro estructural adicional al montaje estructural. En otra realización, el al menos un miembro estructural es endurecido por precipitación a una temperatura predeterminada programada con anterioridad a la operación de configuración. En otra realización todavía, el montaje estructural es la solución tratada por calor a una temperatura predeterminada programada con anterioridad a la operación de formación. Después de lo cual, el montaje estructural es precipitación caliente tratada mediante envejecimiento en un segundo programa de temperaturas predeterminado. Según otra realización, la operación de calentamiento comprende la transferencia de calor a la herramienta de soldadura por fricción y agitación por convección, conducción, irradiación o inducción. En otra realización, la operación de calentamiento comprende calentar la herramienta de soldadura por fricción y agitación a una temperatura comprendida entre alrededor de 315,6°C y alrededor de 537,8°C. En otra realización, el método incluye la medición de la temperatura de la herramienta de soldadura por fricción y agitación. En otra realización más, el método incluye la modificación automáticamente de la producción de calor del al menos un calentador para modificar de ese modo la temperatura de la herramienta de soldadura por fricción y agitación.

Consecuentemente, la presente invención proporciona un método y un aparato para la construcción de un montaje estructural endurecido de precipitación mejorada que tiene una o más juntas de soldadura por fricción y agitación con estructura de grano refinada. El método y el aparato para construir el montaje es-

estructural minimiza la degradación de las propiedades del material de la junta de soldadura por fricción y agitación durante la resolución posterior de los tratamientos térmicos comprobando eficazmente de ese modo las propiedades del material mejoradas asociadas con ambas la soldadura por fricción y agitación y el endurecimiento estructural (por solubilización de un componente).

Breve descripción de los dibujos

Las anteriores y otras ventajas y características de la invención, y la manera en la que las mismas se obtienen, se comprenderán mejor al considerar la descripción detallada siguiente de la invención en combinación con los dibujos que se acompañan, los cuales ilustran realizaciones a modo de ejemplo y preferidas, y las cuales no se dibujan necesariamente a escala, en las que:

la figura 1 es una vista en perspectiva que ilustra la unión de dos miembros estructurales usando soldadura por fricción y agitación, como se sabe en la técnica;

la figura 2A es una fotocopia de una fotografía que ilustra la estructura de grano de una junta de soldadura por fricción y agitación antes del tratamiento térmico de resolución, como se conoce en la técnica;

la figura 2B es una fotocopia de una fotografía que ilustra la estructura de grano de una junta de soldadura por fricción y agitación después del tratamiento térmico de resolución, como se conoce en la técnica;

la figura 3 es una vista en perspectiva que ilustra un montaje estructural, según una realización de la presente invención;

la figura 3A es una fotocopia de una fotografía que ilustra la estructura de grano de una junta de soldadura por fricción y agitación posterior al tratamiento térmico de resolución, según una realización de la presente invención;

la figura 4A es un diagrama de fase hipotético para un sistema de aleaciones de metal binario endurecible de precipitación;

la figura 4B es un diagrama esquemático de temperaturas en función del tiempo, que muestra ambos tratamientos térmicos, de solución y precipitación, para el endurecimiento por precipitación del sistema de aleaciones de metal binario hipotético de la figura 4A;

la figura 4C es un diagrama de fase para un sistema de aleaciones metálicas de aluminio-cobre;

la figura 5A es una vista en perspectiva que ilustra la unión de dos miembros estructurales usando soldadura por fricción y agitación, según una realización de la presente invención;

la figura 5B es un alzado que ilustra una herramienta de soldadura por fricción y agitación y un soplete de gas como calentador, según una realización de la presente invención;

la figura 5C es un alzado que ilustra una herramienta de soldadura por fricción y agitación y una lámpara de cuarzo como calentador, según una realización de la presente invención;

la figura 6A es una vista en perspectiva que ilustra la unión de dos miembros estructurales que usa soldadura por fricción y agitación, según otra realización de la presente invención;

la figura 6B es un alzado que ilustra la herramienta de soldadura por fricción y agitación y el calentador de resistencia de la figura 6A;

la figura 7 es un diagrama de flujo que ilustra un

método de formación de una junta de soldadura por fricción y agitación, según una realización de la presente invención; y

la figura 8 es un diagrama de flujo que ilustra un método de fabricación de un montaje estructural, según una realización de la presente invención.

Descripción detallada de la invención

La presente invención se describirá ahora con más detalle en esta memoria con referencia a los dibujos que se acompañan, en los que se muestran realizaciones preferidas de la invención. Esta invención puede, no obstante, ser incorporada de muchas formas diferentes y no deben ser consideradas como limitativas las realizaciones de la misma que se establecen en esta memoria; por el contrario, estas realizaciones se proporcionan para que esta descripción será más detallada y completa, y comprenda completamente el alcance de la invención para los expertos en la técnica. Los números similares se refieren a elementos similares a través de la misma.

Haciendo referencia ahora a los dibujos, y en particular a la figura 3, en ella se muestra un montaje estructural 22. El montaje estructural está compuesto de primero y segundo miembros estructurales 24a, 24b unidos al menos parcialmente a lo largo de una interfaz definida entre los miembros estructurales por una junta 28 de soldadura por fricción y agitación. El montaje estructural 22 puede estar compuesto de un único miembro estructural 24 o de tres o más miembros estructurales en los que la junta 28 de soldadura por fricción y agitación se forma para reparar una grieta u otro defecto en un miembro estructural o se forma para unir los miembros estructurales, respectivamente. En otra realización todavía (no mostrada), la junta 28 de soldadura por fricción y agitación puede estar formada para proporcionar una región de estructura de grano refinada dentro de una segunda región de un miembro estructural 24 que tiene comparativamente alta tensión operacional. Véase la Solicitud de Patente de EE.UU. N° 09/589.500, copendiente, presentada el 7 de Junio del 2001, que está asignada al cesionario de la presente invención, para una discusión general del refinado de grano por fricción y agitación de los miembros estructurales.

Cada miembro estructural 24 puede ser mecanizado, a través de medios de fabricación conocidos, a partir de una pieza de trabajo única en una forma y espesor predeterminados como se requiera para las cargas de diseño concreto y especificaciones del montaje 22 estructural resultante. Por ejemplo, una máquina para fresar CNC puede ser usada para mecanizar cada miembro estructural 24, como sea necesario. Los miembros estructurales 24 pueden ser fabricados en una diversidad de configuraciones, que incluyen, para los propósitos solamente ejemplos, y no limitaciones, placas, bloques, miembros tubulares y miembros curvilíneos. De modo similar, cada miembro estructural 24 puede estar compuesto de una diversidad de materiales, como se requiera para las cargas de diseño concretas y las especificaciones del montaje estructural resultante 22. Los miembros estructurales 24 están compuestos de materiales que pueden ser endurecidos por precipitación, como se examina con mayor detalle más adelante, y están compuestos preferiblemente de materiales que tienen alta resistencia para relaciones de carga, que incluyen, para los propósitos del ejemplo solamente y no de limitación, aluminio, aleaciones de aluminio, titanio, y aleaciones de titanio.

Para los montajes estructurales 22 compuestos de dos o más miembros estructurales 24a, 24b, los miembros estructurales pueden estar compuestos de metales similares o diferentes. Ventajosamente, puesto que los miembros estructurales 24a, 24b se unen por soldadura por fricción y agitación, los miembros estructurales pueden estar configurados de metales diferentes cuya unión mediante las técnicas de soldadura de fusión convencionales sería imposible o antieconómica. Los materiales insoldables, cuando se unen mediante técnicas de soldadura de fusión convencionales producen juntas de soldadura relativamente débiles que tienden a agrietarse durante la solidificación de la soldadura. Tales materiales incluyen el aluminio y algunas aleaciones de aluminio, particularmente las series AA de las aleaciones 2000 y 7000. El uso de la soldadura por fricción y agitación permite que miembros estructurales 24a, 24b compuestos de materiales insoldables se unan firmemente. La soldadura por fricción y agitación puede ser usada también para unir seguramente materiales soldables a otros soldables y a materiales insoldables. Por tanto, el método de la presente invención permite que los materiales que constituyen los miembros estructurales 24a y 24b sean escogidos de una mayor diversidad de metales y aleaciones de alta resistencia y poco peso, facilitando de ese modo la reducción del peso global del montaje estructural 22 resultante. El peso y la resistencia son de preocupación crítica en la industria aeroespacial.

Para mejorar las propiedades del material del miembro o miembros 24 estructurales, incluyendo la resistencia, dureza y resistencia a la corrosión, uno o más de los miembros estructurales puede ser endurecido por precipitación antes de la formación del montaje estructural 22 y luego tratando térmicamente la resolución del montaje estructural completo. En otra realización, el montaje estructural 22 es endurecido por precipitación después de ser configurado, pero los miembros estructurales 24 individuales no son endurecidos por precipitación antes de la configuración del conjunto. El endurecimiento por precipitación de aleaciones metálicas es un procedimiento mediante el cual las propiedades mecánicas de la aleación metálica son mejoradas mediante la formación de partículas dispersadas uniformemente o precipitadas de una o más fases secundarias dentro de la matriz de fase original. El endurecimiento por precipitación requiere que la aleación metálica soporte dos procedimientos de tratamiento térmico, siendo el primer procedimiento un tratamiento térmico de la solución y siendo el segundo procedimiento un tratamiento térmico de precipitación.

Haciendo referencia a la figura 4A, en ella se muestra un diagrama de fase hipotético para una aleación de metal endurecible por precipitación compuesta de los metales A y B de aleación. Aunque la figura 4A ilustra un diagrama de fase para un sistema binario, las aleaciones de metal endurecibles por precipitación pueden contener dos o más elementos de aleación. Para que una aleación metálica sea endurecible por precipitación, la aleación debe tener una solubilidad máxima apreciable de un elemento en el otro, del orden de varios porcentajes, y un límite de la solubilidad que disminuya rápidamente la concentración del elemento mayor con la reducción de la temperatura. Ambos requisitos son satisfechos por el diagrama de fase hipotético de la figura 4A, en el que la solubilidad máxima se desig-

na con M. Adicionalmente, la composición de una aleación de metal endurecible por precipitación debe ser menor que la solubilidad máxima. Ejemplos de algunas aleaciones de metal binarias y ternarias que son endurecibles por precipitación incluyen el aluminio-calcio, aluminio-cromo, aluminio-cobalto, aluminio-cobre, aluminio-hierro-titanio, aluminio-galio-germanio, aluminio-galio-indio, aluminio-germanio-estaño, aluminio-litio, aluminio-litio-magnesio, aluminio-manganeso, aluminio-molibdeno, aluminio-níquel-titanio, aluminio-niobio, aluminio-silicio, cobre-berilo, cobre-estaño, aluminio-magnesio, así como algunas aleaciones ferrosas.

En el sistema binario hipotético ilustrado en la figura 4A, el elemento A designa la matriz de fase original, en tanto que el elemento B designa el soluto o elemento secundario. Para configurar las partículas uniformemente dispersadas o precipitado del elemento de aleación secundario dentro de la matriz de fase original del miembro estructural 24, la fase asociada con el elemento de aleación debe estar primero completamente disuelta, de modo que solamente la fase remanente es la fase asociada con la matriz de fase original. La fase asociada con el elemento de la aleación secundario se disuelve a través de un procedimiento de tratamiento térmico de la solución en un primer programa de temperatura predeterminada. Para ilustrar el procedimiento de tratamiento térmico de la solución, se hace referencia a la figura 4A y la aleación metálica compuesta de un porcentaje predeterminado de elementos A y B designado C₁. A la temperatura ambiente, la aleación metálica hipotética del miembro estructural estará en un estado de equilibrio y contendrá tanto la fase α del elemento A como la fase β del elemento B. Durante el procedimiento de tratamiento térmico de la solución, la temperatura del miembro estructural se eleva a la temperatura T₀. A la temperatura T₀, la fase β o átomos de soluto del elemento B empieza a disolverse. Como se muestra en la figura 4B, el miembro estructural es mantenido a la temperatura T₀ durante un periodo suficiente de tiempo, designado t₁, para permitir que toda la fase β se disuelva de modo que la aleación contenga solamente la fase α de composición C₁.

Una vez disuelta completamente la fase β , el miembro estructural es enfriado rápidamente o templado a la temperatura ambiente, que es designada con T₁, como se muestra en las figuras 4A y 4B. El rápido enfriamiento impide la formación de la fase β de modo que solamente la solución sólida de fase α supersaturada con átomos de B está presente. No obstante, el miembro estructural en la fase α a esta temperatura está en un estado de no equilibrio con un temple incompleto, de modo que generalmente la fase β empezará gradualmente a formarse en la matriz de fase α existente. En este estado de desequilibrio, la mayoría de las aleaciones metálicas son relativamente blandas y débiles.

A continuación del tratamiento térmico de la solución, el endurecimiento por precipitación se termina mediante el tratamiento térmico de precipitación del montaje estructural 22 por medio de un envejecimiento natural o artificial del montaje con el revenido deseado a una temperatura predeterminada programada.

Haciendo referencia de nuevo a las figuras 4A y 4B, el tratamiento térmico de precipitación o envejecimiento requieren que el montaje estructural 22 ex-

perimento un tratamiento isotérmico mediante el cual la temperatura del montaje se eleva a una temperatura predeterminada designada con T_2 , durante una cantidad de tiempo predeterminada, designada t_2 . La temperatura T_2 está dentro de la región de dos fases α y β del diagrama de dos fases hipotético y es una temperatura a la cual los regímenes de difusión para los átomos B llegan a ser apreciables. La difusión de los átomos B dentro de la fase β origina la formación de partículas finamente dispersas del elemento de aleación B. Una vez que la cantidad deseada de difusión ha tenido lugar, el montaje estructural 22 puede ser enfriado a la temperatura de la habitación.

El carácter de las partículas de fase β , y por tanto la resistencia y dureza para una aleación de metales dada usada para formar el montaje estructural 22 dependen de la temperatura de precipitación, designada T_2 , y el tiempo de envejecimiento a esta temperatura, designado t_2 . Notablemente, algunas aleaciones metálicas envejecerán a la temperatura de la habitación durante un periodo extendido de tiempo, siendo designado ordinariamente envejecimiento natural, en tanto que otras aleaciones metálicas requerirán temperaturas elevadas artificialmente para envejecer, siendo designado ordinariamente envejecimiento artificial.

Haciendo referencia ahora a la figura 4C, en ella se muestra un diagrama de fase de sistema binario para el aluminio y el cobre adaptado de "Metals Handbook: Metallography, Structures and Phase Diagrams" (Metalografía, Diagramas de Estructuras y Fase), Vol. 8, 8th edition, ASM Handbook Committee, T. Lyman Editor, American Society for Metals, 1973, pg. 259, para ilustrar mejor los procedimientos de tratamiento térmico de precipitación y el tratamiento térmico de la solución. A partir del diagrama, el margen (designado previamente T_0) de temperaturas para el tratamiento térmico de la solución, puede ser determinado para una aleación metálica de aluminio y cobre que tiene una composición conocida de porcentaje de cobre (designado anteriormente C_1) para disolver completamente los átomos de cobre. El periodo de tiempo necesario para terminar la disolución de los átomos de cobre, designado anteriormente t_1 horas, depende de la composición del material, C_1 , y la temperatura, T_0 , y puede ser determinado fácilmente por los expertos en la técnica. Tras terminar el tratamiento térmico de la solución, la aleación resultante tiene un revenido incompleto y está en un estado de desequilibrio. El procedimiento de tratamiento térmico de precipitación se efectúa entonces a un margen de temperaturas de aproximadamente 100 a 300°C (designado anteriormente T_2) durante t_2 horas para terminar el revenido y estabilizar las propiedades del material. El periodo de tiempo, t_2 , que depende de la composición, C_1 , del material y la temperatura, T_2 , y puede ser fácilmente determinado por los expertos en la técnica.

Haciendo referencia de nuevo a la figura 3, el montaje estructural 22 incluye al menos una junta 28 de soldadura por fricción y agitación que se forma antes del endurecimiento de precipitación del montaje. Como se ilustra en las figuras 5A y 6A, para unir los miembros estructurales 24a, 24b mediante una soldadura por fricción y agitación, los miembros estructurales son posicionados uno con relación a otro de modo que los miembros definen una interfaz entre ambos. Los miembros estructurales 24a, 24b preferiblemente se aseguran para impedir el movimiento de los

miembros de uno con relación a otro. Por ejemplo, los miembros estructurales 24a, 24b pueden estar asegurados uno con respecto a otro por puntos de soldadura o usando una abrazadera, como se conoce en la técnica. Los miembros estructurales 24a, 24b pueden ser asegurados entonces a una mesa portapiezas por medio de una abrazadera o dispositivo similar (no mostrado). Cuando se configura una junta 28 de soldadura por fricción y agitación en un miembro 24 estructural único, preferiblemente se asegura el miembro estructural a una mesa de trabajo por medio de una abrazadera o dispositivo similar.

Los miembros estructurales 24a, 24b se unen entonces uno con otro mediante una soldadura por fricción y agitación a lo largo de la interfaz 32 entre los miembros, que define la trayectoria 34 de soldadura de la herramienta 30 de soldadura por fricción y agitación. Concretamente, un pasador 30a de soldadura por fricción y agitación giratorio, que está fijado a una herramienta 30 de soldadura por fricción y agitación es forzado a través de las superficies exteriores 35 de los miembros estructurales 24a, 24b. El calor de rozamiento generado por el pasador giratorio 30a crea una región plastificada o zona 36 de soldadura entre los miembros estructurales 24a, 24b. Una región 40 afectada por el calor se crea alrededor de la zona 16 de soldadura. El pasador 30a giratorio se mueve entonces a lo largo de la trayectoria definida por la interfaz 32 entre los miembros estructurales 24a, 24b para de ese modo formar una junta 28 de soldadura por fricción y agitación continua a lo largo de la longitud de los miembros, formando por tanto un montaje 22 estructural unitario. Una junta 28 de soldadura por fricción y agitación puede ser configurada de modo similar en un miembro 24 estructural único para reparar una grieta u otro defecto, o para formar una región de estructura de grano refinado dentro de una segunda región del miembro estructural que tiene comparativamente alta tensión operacional. Un dispositivo que tiene un husillo que puede girar, tal como una máquina CNC, puede ser usado para hacer girar y mover la herramienta 30 de soldadura por fricción y agitación, como se conoce en la técnica, y tales dispositivos son colectivamente denominados en esta memoria como "máquinas fresadoras" 47.

Como se ilustra en las figuras 5A y 6A, la herramienta 30 de soldadura por fricción y agitación se calienta usando al menos un calentador 41 antes de, y durante la, formación de la junta 28 de soldadura por fricción y agitación. La temperatura o el margen de temperaturas en el que la herramienta 30 de soldadura por fricción y agitación se calienta depende del material o materiales particulares que se sueldan. Por ejemplo, para el aluminio y las aleaciones de aluminio, la herramienta 30 de soldadura por fricción y agitación se calienta a temperaturas de alrededor de 315,6°C a alrededor de 537,8°C, y preferiblemente de alrededor de 398,9°C. Ventajosamente, se ha hallado que calentando la herramienta 30 de soldadura por fricción y agitación antes y durante la soldadura por fricción y agitación se inhibe el crecimiento de grano dentro de la junta 28 de soldadura por fricción y agitación resultante durante la precipitación posterior de endurecimiento del montaje estructural 22. Aunque no ha sido comprobado por la teoría, se cree que la soldadura por fricción y agitación impone una cantidad crítica de trabajo en frío sobre el montaje estructural. El trabajo en frío origina tensiones residuales en

la junta soldada que causan el crecimiento de grano durante la posterior solución de tratamientos térmicos. Se cree que calentando la herramienta de soldadura por fricción y agitación antes de, y durante, la soldadura se convierte trabajo en frío en trabajo en caliente de modo que no se producen tensiones residuales en la junta de soldadura y, por tanto, no hay crecimiento de grano apreciable durante la solución posterior de tratamientos térmicos.

Según una realización de la presente invención, como se ilustra en las figuras 5A, 5B y 5C, el calentador 41 está posicionado exteriormente a la herramienta 30 de soldadura por fricción y agitación. El calentador 41 puede estar fijado a la fresadora 47 usada para hacer girar y mover la herramienta 30 de soldadura por fricción y agitación de modo que el calentador 41 se mueve automáticamente con la herramienta. Por ejemplo, como se ilustra en la figura 5A, el calentador 41 puede ser fijado a un brazo 48 ajustable rígido o similar que se fija a la fresadora 47. Alternativamente, el calentador 41 puede ser movido separadamente de la máquina 47 de fresar. En una realización (no mostrada), el calentador se mueve usando un brazo robótico controlado mediante un controlador o microprocesador, tal como un ordenador que funcione bajo el control del software. En otra realización, el calentador 41 es movido manualmente por el operador.

Una diversidad de calentadores 41 puede ser usada para calentar exteriormente la herramienta 30 de soldadura por fricción y agitación. Por ejemplo, haciendo referencia a la figura 5A, el calentador 41 puede comprender un láser que térmicamente comunique con, o transfiera calor a, la herramienta 30 de soldadura por fricción y agitación básicamente por irradiación. En otra realización, como se ilustra en la figura 5B, el calentador 41 comprende un soplete de gas que transfiere calor a la herramienta 30 de soldadura por fricción y agitación por convección e irradiación. Por ejemplo, el soplete de gas puede usar un gas de hidrocarburos licuado como combustible. En otra realización más, como se ilustra en la figura 5C, el calentador 41 puede comprender una lámpara de cuarzo que transfiera calor a la herramienta 30 de soldadura por fricción y agitación mediante convección e irradiación. Todavía en otra realización más (no mostrada), el calentador 41 puede comprender una bobina de calentamiento de inducción posicionada al menos parcialmente alrededor de la herramienta 30 de soldadura por fricción y agitación que transfiera calor a la herramienta de soldadura por inducción.

La posición del calentador 41 con relación a la herramienta 30 de soldadura por fricción y agitación, que incluye la orientación del calentador con relación a la dirección de desplazamiento de la herramienta y la distancia del calentador a la herramienta, dependerá de una diversidad de factores, que incluyen la configuración del miembro 24 o los miembros 24a, 24b estructurales, y el tipo de calentador que se usa. Según una realización, como se ilustra en la figura 5A, el calentador 41 está posicionado sobre el lado trasero de la herramienta 30 de modo que el calor es transferido en la dirección de desplazamiento de la herramienta, como se ilustra mediante la flecha 34. Alternativamente, el calentador 41 puede estar posicionado de modo que transfiera calor hacia la herramienta 34 en una dirección perpendicular a la dirección de desplazamiento de la herramienta o transfiera calor hacia la herramienta en una dirección opuesta a la dirección

de desplazamiento de la herramienta.

Según otra realización de la presente invención, como se ilustra en las figuras 6A y 6B, el calentador 41 está posicionado al menos parcialmente dentro de una cavidad o rebaje 43 definido por la herramienta 30 de soldadura por fricción y agitación. Por ejemplo, el calentador 41 puede comprender uno o más calentadores de resistencia que transfieren calor a la herramienta 30 de soldadura por fricción y agitación, por conducción y, dependiendo del tamaño de la cavidad, por convección. El calentador 41 puede girar con la herramienta 30 de soldadura por fricción y agitación dentro de la cavidad o rebaje 30 o el calentador puede estar aislado de la rotación de la herramienta 30 de soldadura por fricción y agitación usando cojinetes (no mostrados). En el caso de uno o más calentadores de resistencia, los calentadores 41 están preferiblemente en contacto íntimo con la herramienta 30 de soldadura por fricción y agitación. En otra realización (no mostrada), el calentador 41 puede comprender una lámpara de cuarzo, un soplete de gas o un láser posicionado dentro de la cavidad 43 definida por la herramienta 30 de soldadura por fricción y agitación de modo que el calentador transfiere calor a la herramienta de soldadura por fricción y agitación por convección e irradiación. En otra realización todavía (no mostrada), el calentador 41 puede comprender una bobina de calentamiento por inducción posicionada dentro de la cavidad 43 definida por la herramienta 30 de soldadura por fricción y agitación de modo que el calentador transfiere calor a la herramienta de soldadura por fricción y agitación por inducción.

El calentador 41 incluye el cableado 51 adecuado para conectar el calentador a una fuente de energía (no mostrada), como se conoce en la técnica. Por ejemplo, el calentador 41 puede ser alimentado por la fresadora o por una fuente de energía separada. Para evitar descargas eléctricas e impedir daños en el miembro estructural 24 o en los miembros 24a, 24b, el calentador 41 preferiblemente está aislado eléctricamente del miembro estructural o de los miembros que se sueldan. El calentador 41 puede estar en comunicación eléctrica a través de un cableado 51 adecuado con un controlador o microprocesador 49, tal como un ordenador que funcione bajo el control de software de ordenador, que esté configurado para controlar el calentamiento o energía proporcionada por el calentador. El controlador 49 puede incluir el controlador para la máquina fresadora 47. La emisión de calor del calentador 41 puede ser controlada también manualmente. En las realizaciones en las que el calentador 41 está posicionado dentro de una cavidad 43 definida por la herramienta 30 de soldadura por fricción y agitación y el calentador gira con la herramienta, el cableado 51 incluye preferiblemente uno o más conectores eléctricos (no mostrados) que tienen rodillos eléctricamente conductores que conducen continuamente electricidad al calentador de la fuente de potencia y/o controlador 49, pero también permiten que la porción de cableado conectada al calentador gire mientras el resto del cableado permanece fijo para impedir de ese modo que el cableado se retuerza.

Como se ha ilustrado en las figuras 5A, 5B, 5C, 6A y 6B, la herramienta 30 de soldadura por fricción y agitación incluye preferiblemente al menos un sensor 45, tal como un termopar, termopar óptico, termopila, termómetro, elemento sensible a la temperatura bimetálico, elemento termorresistivo, detector de la tem-

peratura de la resistencia, termistores, un pirómetro, que esté en comunicación térmica con la herramienta 30 de soldadura por fricción y agitación para medir la temperatura de la herramienta antes y durante la soldadura por fricción y agitación. El sensor 45 puede estar fijado o montado directamente en la herramienta 30 de soldadura por fricción y agitación que usa sujetadores o adhesivos adecuados (no mostrados). Alternativamente, puede ser usado un termopar óptico para vigilar la temperatura de la herramienta 30 de soldadura por fricción y agitación desde una cierta distancia. Por ejemplo, un termopar óptico puede estar fijado a la máquina 47 de fresar que usa un brazo rígido o ajustable o similar (no mostrado) de modo que el termopar óptico se mueve con la herramienta 30 de soldadura por fricción y agitación o, alternativamente, el termopar 41 óptico puede ser movido separadamente de la máquina de fresar usando un brazo robótico (no mostrado) controlado mediante un controlador o microprocesador, tal como un ordenador que funcione bajo el control de software. En otra realización, el termopar óptico es movido manualmente por el operador. El sensor 45 está en comunicación eléctrica a través de cableado 52 adecuado con el controlador 49. En las realizaciones en las que el sensor 45 está fijado a la herramienta 30 de soldadura por fricción y agitación y el calentador gira con la herramienta, el cableado 52 incluye preferiblemente uno o más conectores eléctricos (no mostrados) que tienen rodillos eléctricamente conductores que conducen continuamente la señal desde el calentador a la fuente de potencia y/o controlador 49, pero que permiten que la porción del cableado conectado al sensor gire mientras el resto del cableado permanece fijo para impedir de ese modo que el cableado se retuerza.

En funcionamiento, el sensor 45 mide la temperatura de la herramienta 30 de soldadura por fricción y agitación de modo continuo o a intervalos predeterminados y luego transmite una señal representativa de la temperatura de la herramienta de soldadura por fricción y agitación al controlador 49. El controlador compara la lectura de la temperatura del sensor 45 con una temperatura o valor predeterminado. En respuesta a los cambios de temperatura en la herramienta 30 de soldadura por fricción y agitación, medidos por el sensor 45 y comunicados al controlador 49, el controlador modificará automáticamente la producción de calor del calentador 41 para modificar de ese modo la temperatura de la herramienta de soldadura por fricción y agitación. Más concretamente, si la temperatura de la herramienta 30 de soldadura por fricción y agitación, medida por el sensor 45, es menor que la temperatura o valor predeterminado, el controlador 49 incrementará la producción de calor del calentador 41 para incrementar de ese modo la temperatura de la herramienta de soldadura por fricción y agitación. Si la temperatura de la herramienta 30 de soldadura por fricción y agitación, medida por el sensor 45, es mayor que la temperatura o valor predeterminado, el controlador 49 disminuirá la producción de calor del calentador 41 para disminuir de ese modo la temperatura de la herramienta de soldadura por fricción y agitación.

Una vez que la junta o juntas de soldadura por fricción y agitación están formadas, el montaje estructural 22 resultante puede ser tratado por el calor de resolución, como se describe más adelante. Ventajosamente, la junta o juntas 28 de soldadura por fricción

y agitación no presentarán crecimiento de grano apreciable durante o después del tratamiento térmico. Como se ha ilustrado en la figura 3A, después del tratamiento de calor de resolución, la junta 28 de soldadura por fricción y agitación tiene una estructura de grano refinado que tiene un tamaño de grano de menos de alrededor de 5 micrómetros. Tras el enfriamiento, el montaje estructural 22 puede ser instalado fijando el montaje a otros montajes estructurales, para así configurar el bastidor de una aeronave.

Haciendo referencia a la figura 7, en ella se ilustran las operaciones realizadas para formar una junta de soldadura por fricción y agitación, según una realización de la presente invención. El método incluye el montaje de una herramienta de soldadura por fricción y agitación en un husillo que puede girar de modo que la herramienta de soldadura por fricción y agitación gira con el husillo. Véase el bloque 61. La herramienta de soldadura por fricción y agitación se calienta con un calentador para inhibir de ese modo el crecimiento de grano en la junta soldada. Véase el bloque 62. La operación de calentamiento incluye transferir calor a la herramienta por fricción y agitación por convección, conducción, irradiación o inducción. Véase el bloque 63. En una realización, la operación de calentamiento incluye calentar la herramienta de soldadura por fricción y agitación a una temperatura comprendida entre alrededor de 315,6°C y alrededor de 537,8°C. Véase el bloque 64. Seguidamente a la operación de calentamiento, la herramienta de soldadura por fricción y agitación se inserta dentro de al menos un miembro estructural. Véase el bloque 65. La herramienta de soldadura por fricción y agitación es calentada simultáneamente con la operación de inserción. Véase el bloque 66. El al menos un miembro estructural puede ser endurecido por precipitación antes de la operación de inserción. Véase el bloque 60. La herramienta de soldadura por fricción y agitación es movida a través de al menos un miembro estructural para formar la junta de soldadura por fricción y agitación. Véase el bloque 67. La temperatura de la herramienta de soldadura por fricción y agitación se mide. Véase el bloque 68. La producción de calor del al menos un calentador es entonces modificada automáticamente para de ese modo modificar la temperatura de la herramienta de soldadura por fricción y agitación. Véase el bloque 69. El al menos un miembro estructural y la junta de soldadura por fricción y agitación son tratados térmicamente en la solución a una temperatura predeterminada programada posterior a la operación de movimiento. Véase el bloque 70. Después de los cual, el al menos un miembro estructural y la junta de soldadura por fricción y agitación son tratados por calor de precipitación envejeciendo a una segunda temperatura predeterminada programada. Véase el bloque 71.

Haciendo referencia ahora a la figura 8, en ella se ilustran las operaciones realizadas para fabricar un montaje estructural. El método incluye calentar una herramienta de soldadura por fricción y agitación con un calentador para de ese modo inhibir el crecimiento de grano en la junta soldada. Véase el bloque 81. La operación de calentamiento incluye la transferencia de calor a la herramienta de soldadura por fricción y agitación por convección, conducción, irradiación o inducción. Véase el bloque 82. En una realización, la operación de calentamiento incluye calentar la herramienta de soldadura por fricción y agita-

ción a una temperatura comprendida entre alrededor de 315,6°C y alrededor de 537,8°C. Véase el bloque 83. Una junta de soldadura por fricción y agitación se forma entonces en al menos un miembro estructural que usa la herramienta de soldadura por fricción y agitación giratoria. El al menos un miembro estructural puede ser endurecido por precipitación a una temperatura predeterminada programada anteriormente a la operación de configuración. Véase el bloque 80. La herramienta de soldadura por fricción y agitación es calentada durante la operación de formación con un calentador para de ese modo inhibir el crecimiento de grano en la junta de soldadura. Véase el bloque 85. La temperatura de la herramienta de soldadura por fricción y agitación se mide. Véase el bloque 86. La producción de calor del al menos un calentador puede entonces ser modificada automáticamente para modificar de ese modo la temperatura de la herramienta de soldadura por fricción y agitación. Véase el bloque

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

87. En una realización, las operaciones de calentar y configurar se repiten para unir de ese modo al menos un miembro estructural adicional al montaje estructural. Véase el bloque 88. El montaje estructural es tratado por calor de la solución a una temperatura predeterminada programada después de la operación de formación. Véase el bloque 89. Después de lo cual, el montaje estructural es tratado por calor de precipitación envejeciendo a una segunda temperatura predeterminada programada. Véase el bloque 90.

Muchas modificaciones y otras realizaciones de la invención serán evidentes para un experto en la técnica a la que esta invención pertenece que tiene el beneficio de las enseñanzas presentadas en la descripción anterior y los dibujos asociados. Por lo tanto, se ha de entender que la invención no está limitada a las realizaciones concretas descritas y que modificaciones y otras realizaciones están destinadas a ser incluidas dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un método de fabricación de un montaje estructural (22) compuesto de materiales que pueden ser endurecidos por precipitación, que comprende:

configurar (84) una junta (28) de soldadura por fricción y agitación en al menos un miembro estructural (24a, b) que usa una herramienta (30) de soldadura por fricción y agitación giratoria para construir el montaje estructural (22); **caracterizado** por

calentar (83, 85) la herramienta (30) de soldadura por fricción y agitación antes de dicha operación (84) de formación con al menos un calentador (41) para de ese modo inhibir el crecimiento de grano en la junta (28) de soldadura y el tratamiento térmico de resolución o endurecimiento de precipitación del montaje estructural (22).

2. El método de la reivindicación 1, **caracterizado** por repetir (88) dichas operaciones (83 a 85) de configuración y calentamiento para de ese modo unir al menos un miembro estructural adicional (24a, b) al montaje estructural (22).

3. El método de las reivindicaciones 1 ó 2, **caracterizado** por el endurecimiento (80) de precipitación del al menos un miembro estructural (24a, b) a una temperatura predeterminada programada antes de dicha operación (84) de configuración.

4. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado** porque tratando térmicamente (89) la solución el montaje estructural (22) se realiza a una temperatura predeterminada programada después de dicha operación (84) de configuración.

5. el método de la reivindicación 4, **caracterizado** porque el montaje estructural (22) se hace envejecer a una segunda temperatura predeterminada programada.

6. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado** porque dicha operación (62, 64; 83, 85) de calentamiento comprende la transferencia de calor a la herramienta (30) de soldadura por fricción y agitación por medio de una transferencia de calor seleccionada del grupo compuesto de convección, conducción, irradiación, e inducción.

7. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado** porque dicha operación (62, 64; 83, 85) de calentamiento comprende calentar (64; 83) la herramienta (30) de soldadura por fricción y agitación a una temperatura comprendida entre alrededor de 315,6°C y alrededor de 537,8°C.

8. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, **caracterizado** por comprender además la operación de medir (68; 86) la temperatura de la herramienta (30) de soldadura por fricción y agitación.

9. El método de la reivindicación 8, **caracterizado** por comprender además la operación de modificar

(69; 87) automáticamente la producción de calor del al menos un calentador (41) para modificar de ese modo la temperatura de la herramienta (30) de soldadura por fricción y agitación.

10. Un aparato para la soldadura por fricción y agitación de al menos un miembro estructural (24a, b), que comprende:

una máquina (47) que tiene un husillo giratorio; y una herramienta (30) de soldadura por fricción y agitación en comunicación giratoria con dicho husillo;

caracterizado por

al menos un calentador (41) de la herramienta de soldadura por fricción y agitación para calentar dicha herramienta (30), estando estructurado dicho al menos un calentador (41) de modo que está eléctricamente aislado del al menos un miembro estructural (24a, b).

11. El aparato de la reivindicación 10, **caracterizado** porque dicha herramienta (30) de soldadura por fricción y agitación define una cavidad (43) destinada al menos a recibir parcialmente dicho al menos un calentador (41).

12. El aparato de las reivindicaciones 10 u 11, **caracterizado** porque dicho al menos un calentador (41) se selecciona del grupo compuesto de una bobina de calentamiento de resistencia, una bobina de calentamiento de inducción, una lámpara de cuarzo, un soplete de gas, y un láser.

13. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 10 a 12, **caracterizado** porque dicho al menos un calentador (41) comunica térmicamente con dicha herramienta de soldadura por fricción y agitación por medio de una transferencia de calor seleccionada del grupo compuesto de convección, conducción, irradiación e inducción.

14. El aparato de la reivindicación 10, **caracterizado** porque dicho al menos un calentador (41) está espaciado de dicha herramienta (30) de soldadura por fricción y agitación.

15. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 10 a 14, **caracterizado** por un sensor (45) en comunicación térmica con dicha herramienta (30) de soldadura por fricción y agitación para medir la temperatura de dicha herramienta (30) de soldadura por fricción y agitación.

16. El aparato de la reivindicación 15, **caracterizado** por un controlador (49) en comunicación eléctrica con dicho sensor (45) y en comunicación operativa con dicho al menos un calentador (41), estando dicho controlador (49) configurado para modificar automáticamente la producción de calor de dicho al menos un calentador (41) para modificar la temperatura de dicha herramienta (30) de soldadura por fricción y agitación.

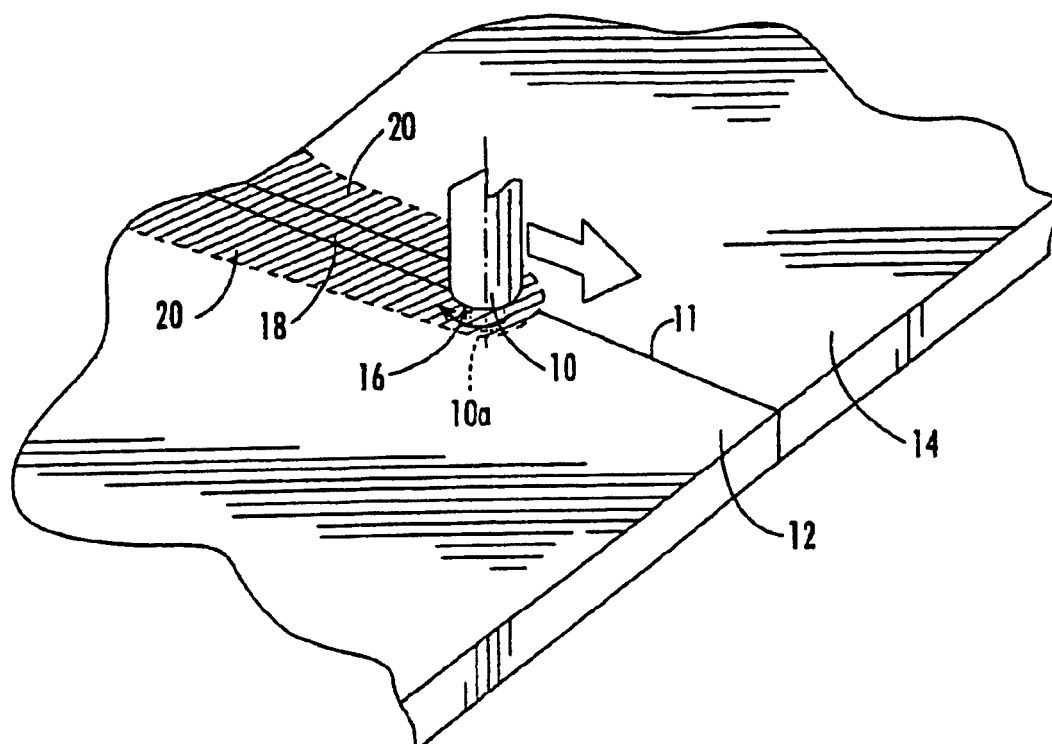
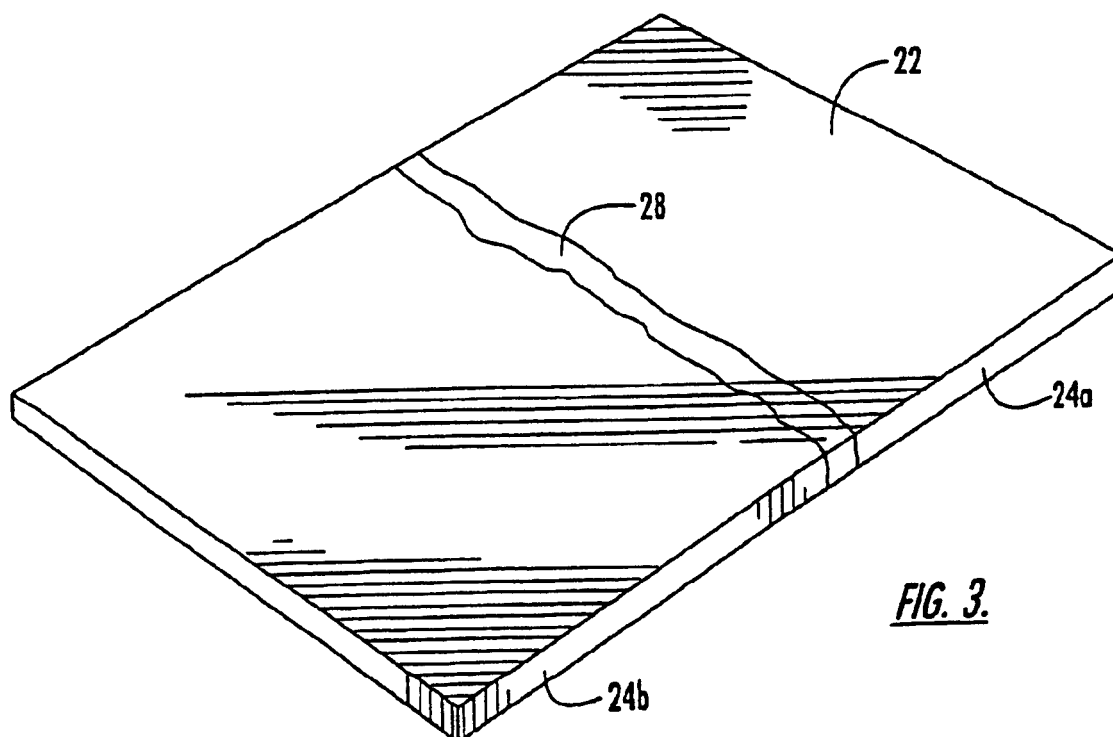


FIG. 1.
(TÉCNICA ANTERIOR)



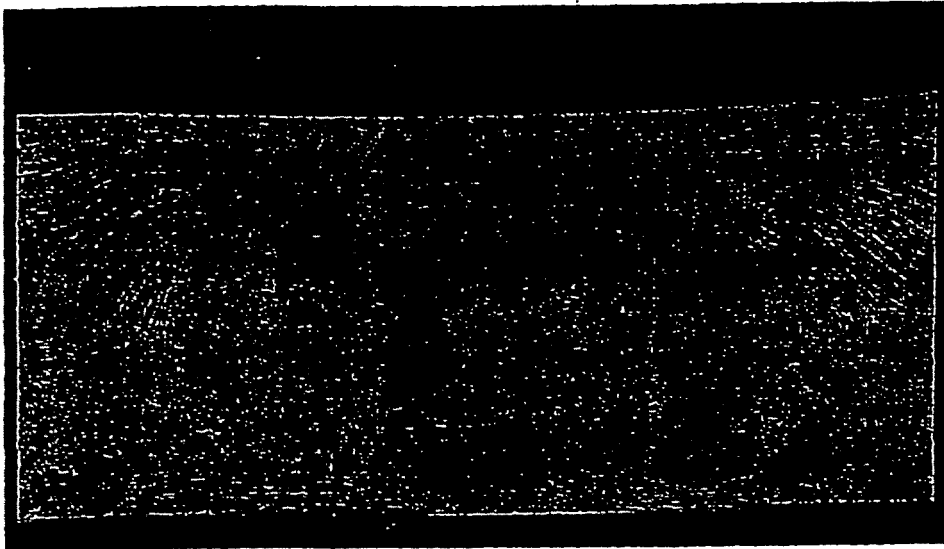


FIG. 2A.



FIG. 2B.

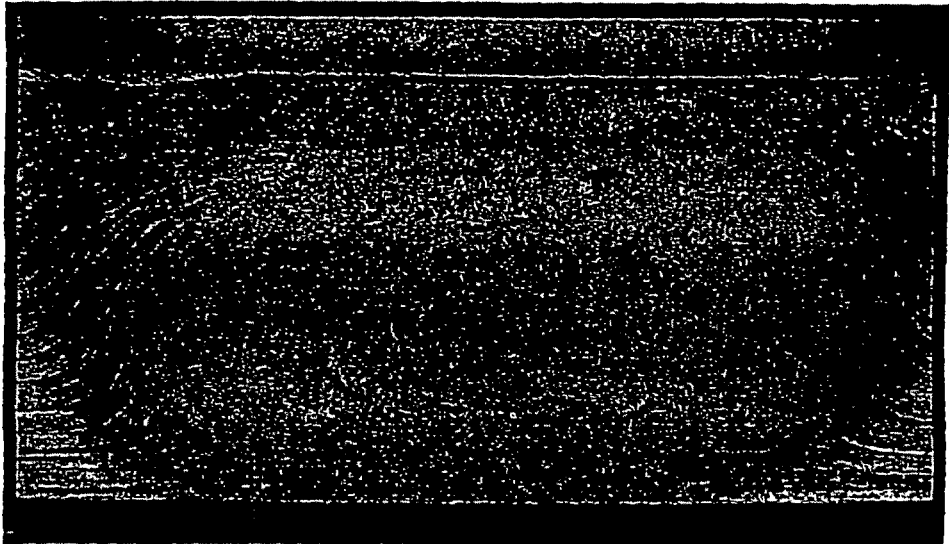


FIG. 3A.

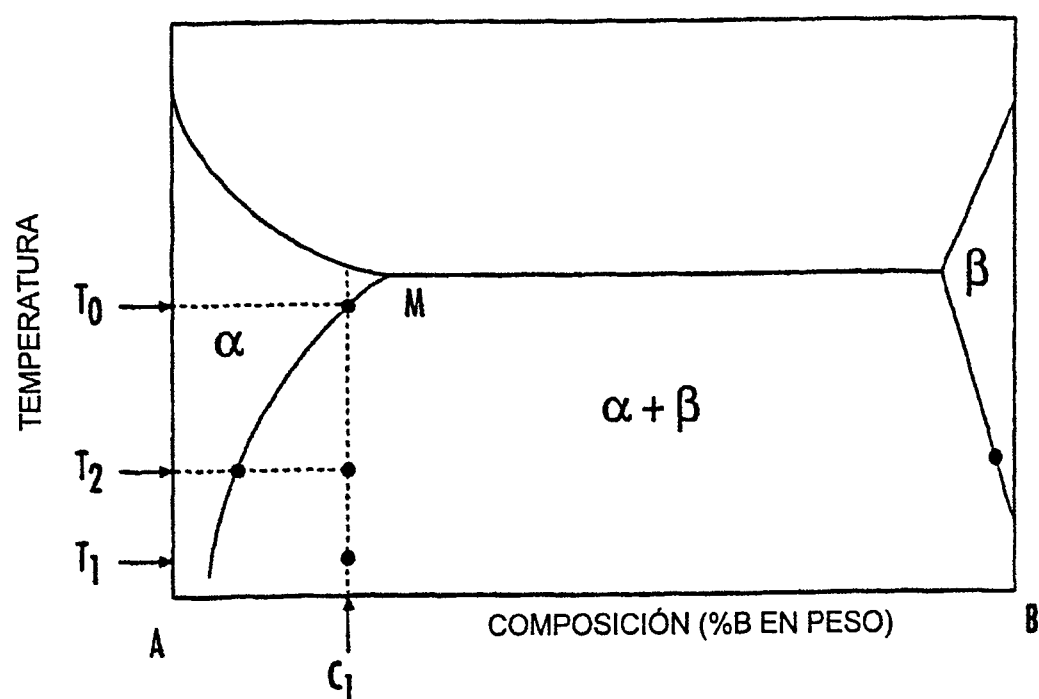


FIG. 4A.

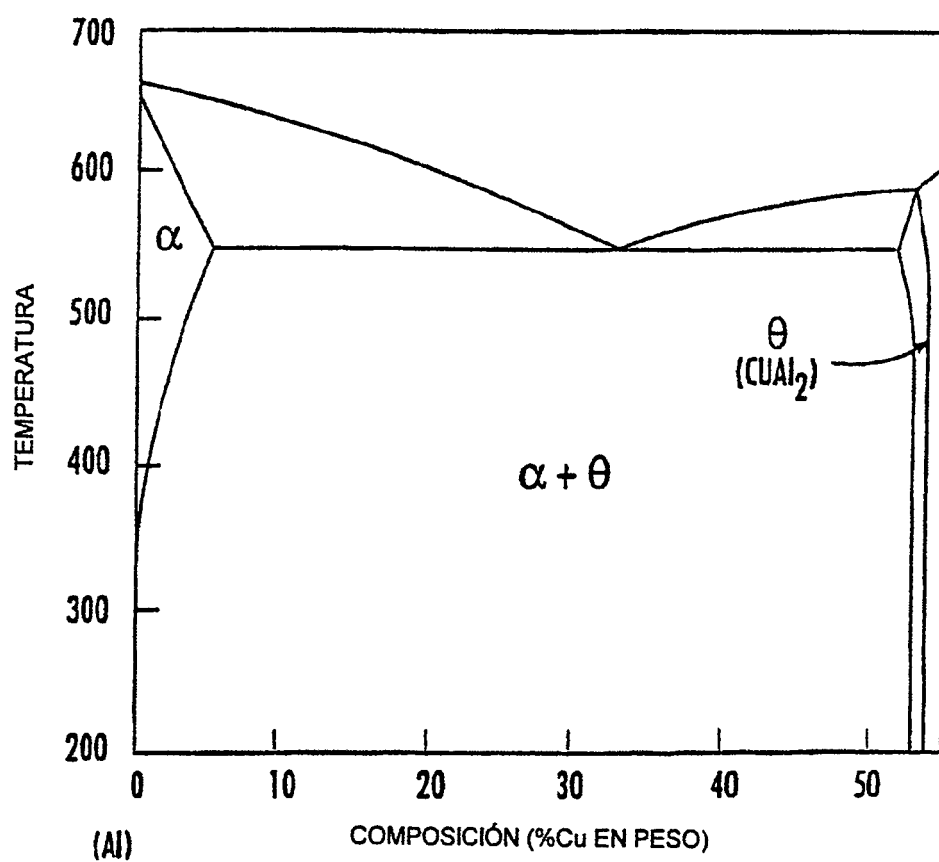
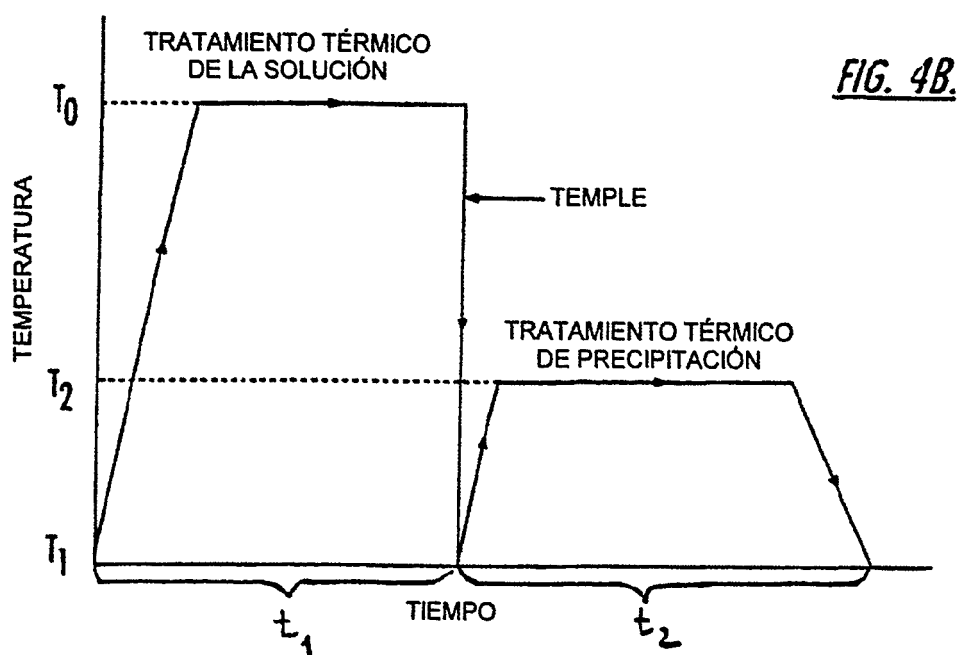


FIG. 4C.

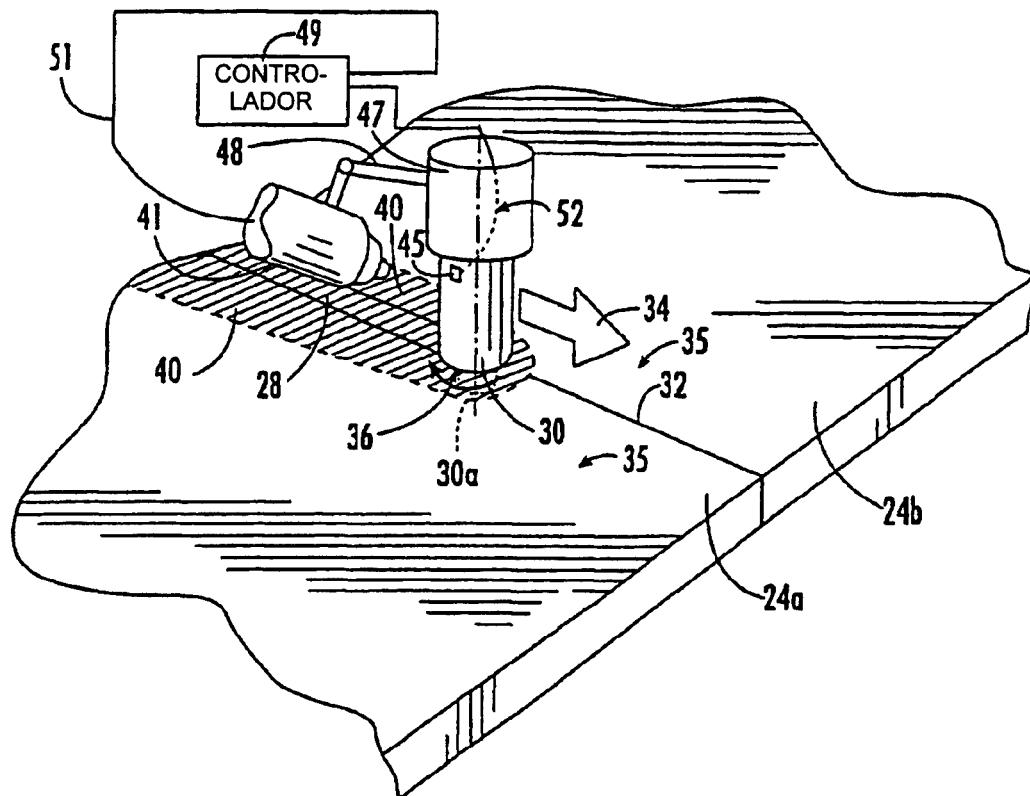


FIG. 5A.

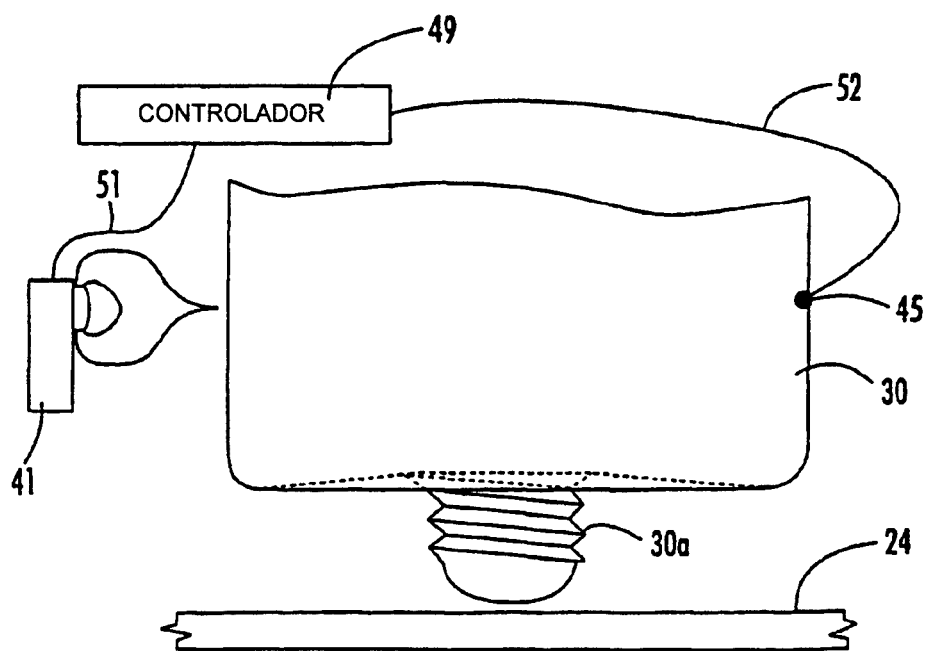
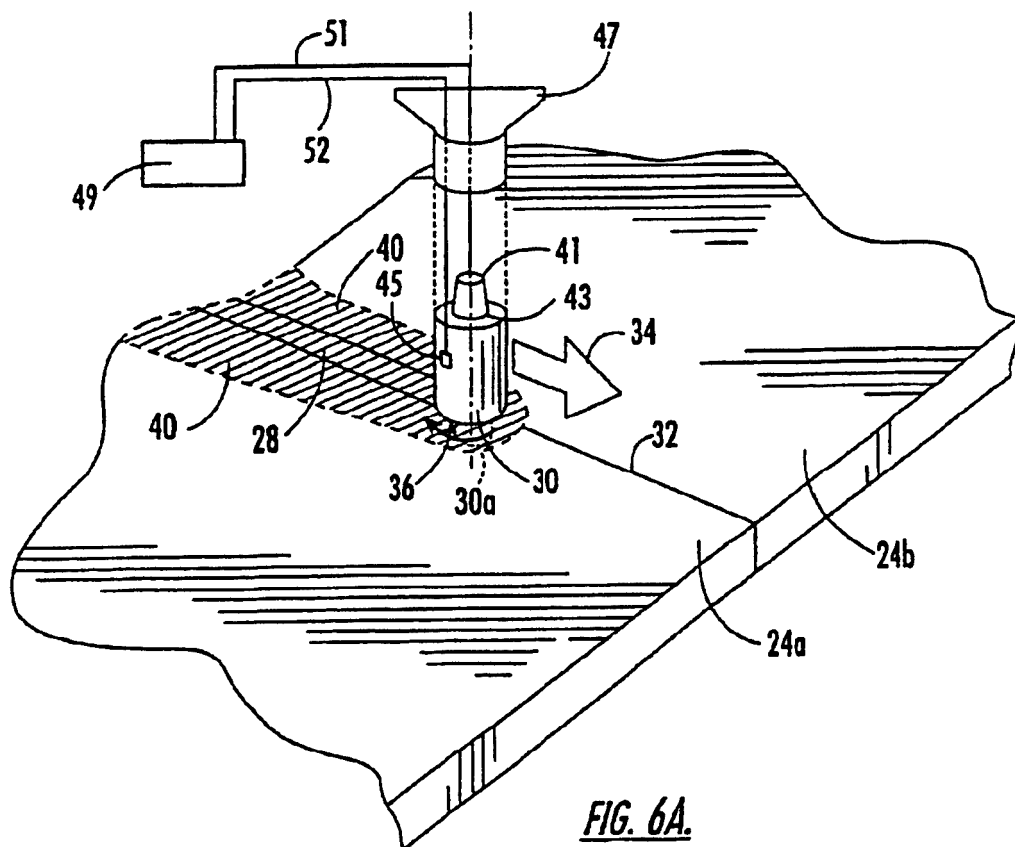
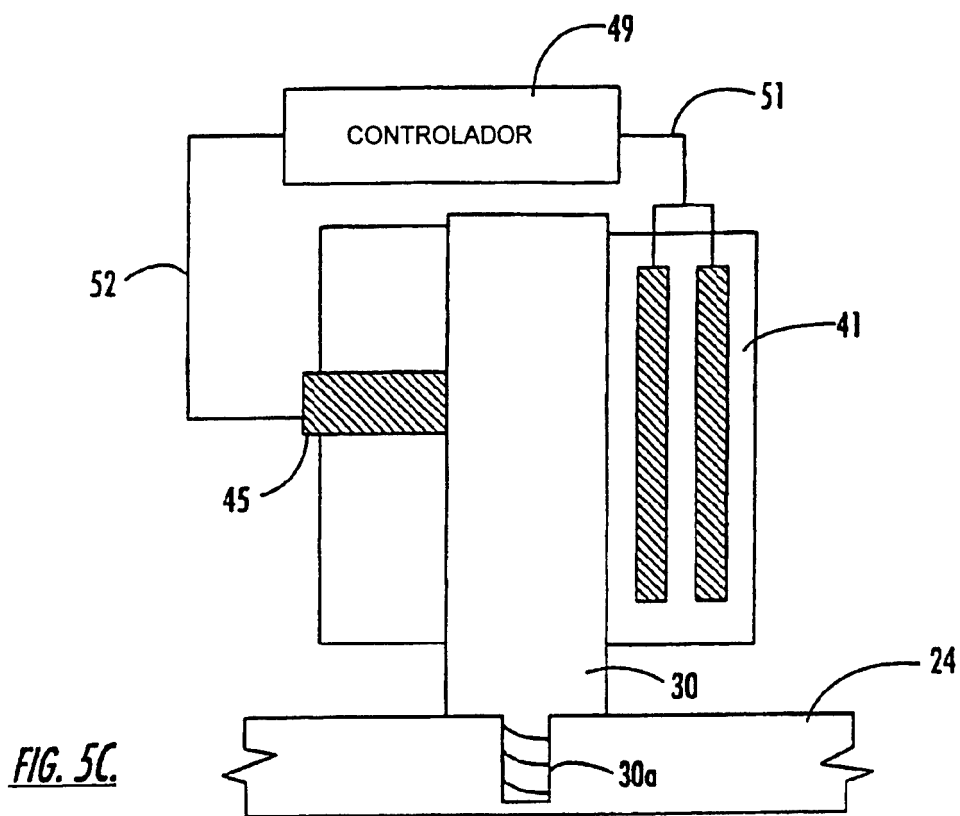


FIG. 5B.



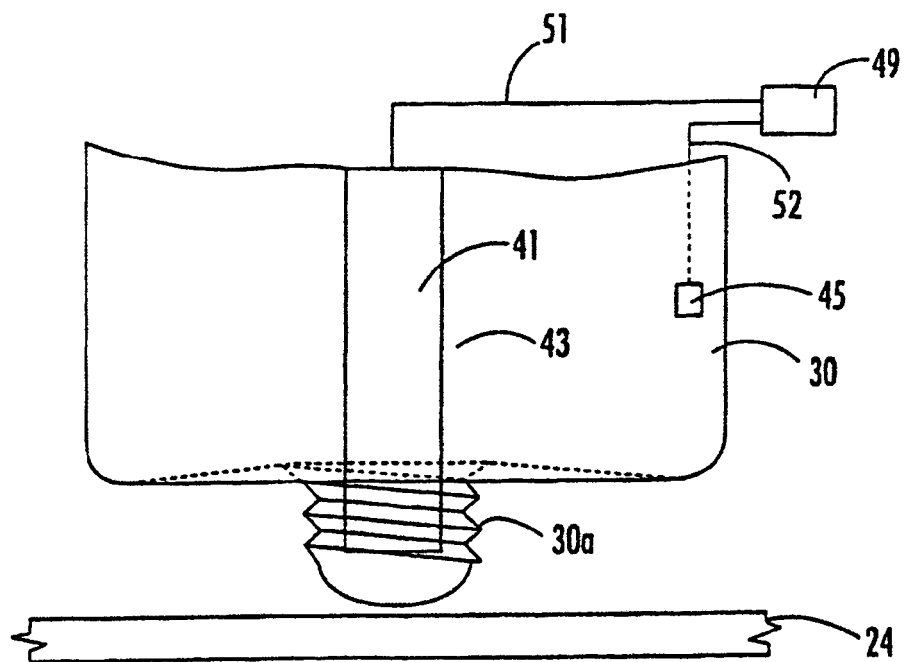


FIG. 6B.

FIG. 7.

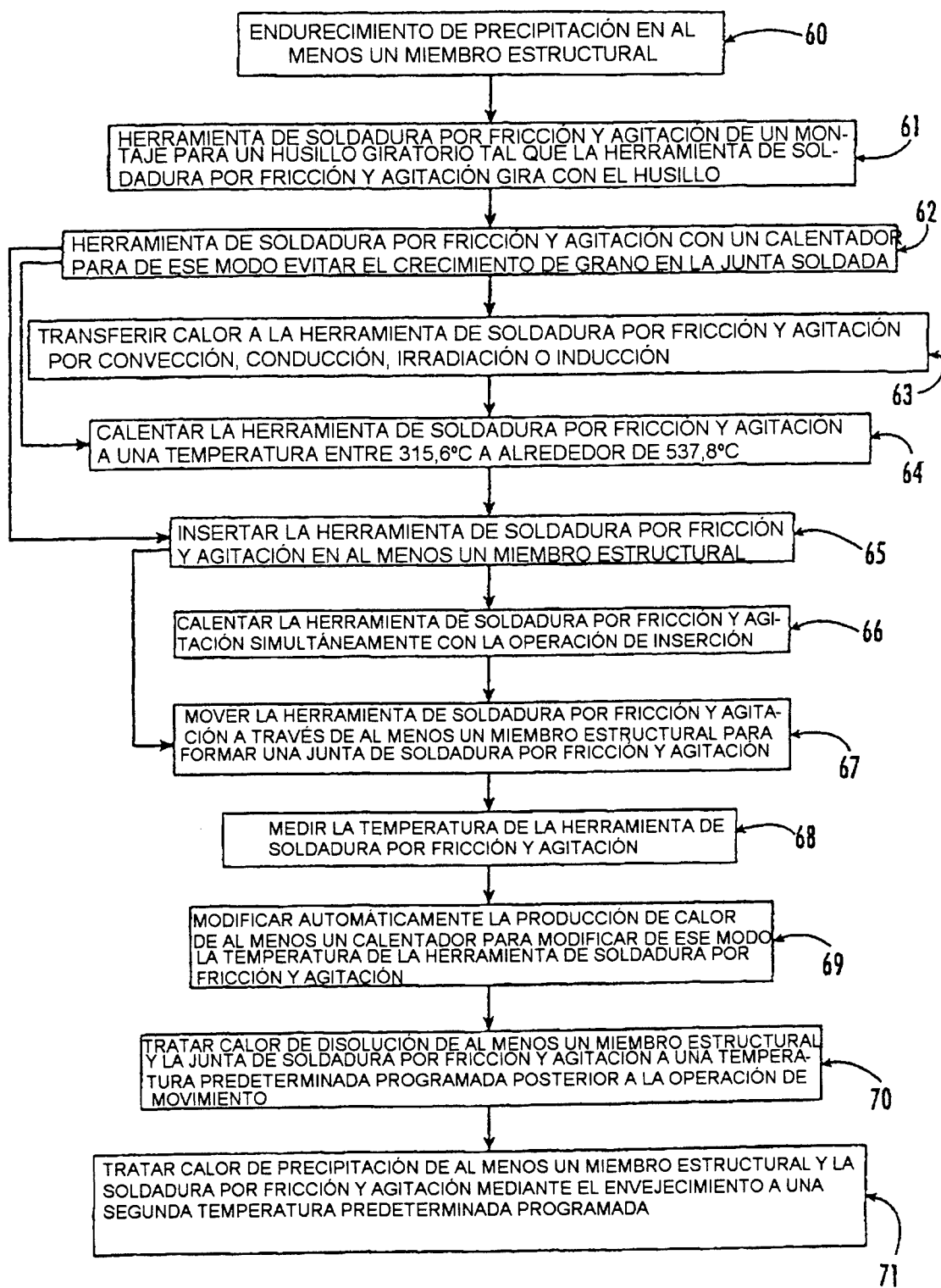


FIG. 8.

