

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 554 548**

51 Int. Cl.:

**B23K 20/12** (2006.01)

**B21D 26/02** (2011.01)

**G01N 3/00** (2006.01)

**B23K 26/20** (2014.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.11.2009 E 09760051 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.09.2015 EP 2364235**

54 Título: **Métodos de soldadura de una pluralidad de láminas metálicas para el conformado superplástico para obtener características iguales en las láminas**

30 Prioridad:

**15.11.2008 US 199296 P**

**12.11.2009 US 617022**

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

**21.12.2015**

73 Titular/es:

**THE BOEING COMPANY (100.0%)**

**100 North Riverside Plaza  
Chicago, IL 60606-2016, US**

72 Inventor/es:

**SANDERS, DANIEL G.;  
LEON, LUIS R.;  
EDWARDS, PAUL D.;  
RAMSEY, GREGORY L. y  
COLEMAN, GARY W.**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

**ES 2 554 548 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

Métodos de soldadura de una pluralidad de láminas metálicas para el conformado superplástico para obtener características iguales en las láminas

5 La presente descripción se refiere, en general, a métodos de fabricación y, en particular, a la soldadura de láminas de titanio. Aún más en particular, la presente descripción se refiere a la soldadura de láminas de titanio que utiliza la soldadura por fricción-agitación.

10 La conformación es un proceso utilizado para fabricar un componente a partir de materiales tales como metal, plásticos y/u otros materiales adecuados. El componente puede ser para una pieza o conjunto ensamblado de una aeronave, por ejemplo. La conformación superplástica es un tipo de proceso de conformación que calienta un material de tal manera que el material tenga superplasticidad. La superplasticidad es la capacidad de un material para alargarse de manera uniforme más allá de, aproximadamente, el cien por cien de la longitud del material. Este alargamiento uniforme del material reduce la cantidad de estricción del material en comparación con el alargamiento no uniforme.

15 La estricción se produce cuando un material se deforma de tal manera que grandes cantidades de deformación pueden concentrarse de forma desproporcionada en una zona o parte del material. Como resultado, esta zona del material puede ser de espesor menor que otras zonas del material en respuesta a la deformación. En estos ejemplos, la deformación es un alargamiento. La estricción puede dar lugar a inconsistencias, tales como fracturas y/u otros tipos de inconsistencias, en el material.

20 Con metales, la conformación superplástica consiste en colocar una lámina de metal entre una sección de molde y una sección de contramolde. Esta lámina de metal también puede ser referida como una pieza no acabada o pieza en bruto. Con algunas secciones de molde utilizadas en la actualidad, una lámina de metal puede no ser lo suficientemente grande para fabricar un componente. Con estos tipos de secciones de molde, una serie de láminas de metal pueden soldarse entre sí para conformar la pieza no acabada. La serie de láminas de metal pueden soldarse usando la soldadura por fricción-agitación.

25 Con soldadura por fricción-agitación, se juntan los bordes de dos láminas de metal. Se aplican calor y energía mecánica a las láminas de metal para unir las láminas de metal en los bordes. El calor y la energía mecánica originan que zonas de las láminas de metal formen una región metálica continua que une las dos láminas de metal. Esta región puede ser un cordón de soldadura. Este tipo de soldadura no causa fusión del metal y evita la distorsión térmica asociada con la fusión.

30 Normalmente, la sección de molde tiene la forma del componente. La pieza no acabada es forzada a adoptar la forma de la sección de molde utilizando gas a presión. El gas a presión puede ser introducido a través de la sección de contramolde. La sección de molde puede calentarse hasta una temperatura que afecte a las propiedades mecánicas, al comportamiento a la fatiga, y/o a otras características del metal y las zonas soldadas de la pieza no acabada.

35 Por lo tanto, sería ventajoso disponer de métodos que tengan en cuenta uno o más de los problemas expuestos anteriormente, así como otros posibles problemas.

40 US 2006/086774 A1, la cual se considera que representa el estado de la técnica para las reivindicaciones 1 y 2, describe un método de fabricación que comprende las etapas de soldar una pluralidad de láminas de metal para conformar una pieza no acabada con una pluralidad de cordones de soldadura; colocar la pieza no acabada entre una sección de molde y una sección de contramolde, siendo la sección de molde calentada para calentar la pieza no acabada; introducir un gas a presión entre la sección de contramolde y la sección de molde para presionar la pieza no acabada en un molde en la sección de molde para conformar un componente, teniendo la pluralidad de láminas de metal y el componente conformado un número de características que son, en esencia, las mismas.

### Resumen

45 Realizaciones ventajosas de la presente invención se definen en las reivindicaciones de métodos 1 y 2 mediante la soldadura de una pluralidad de láminas de metal para conformar una pieza no acabada con cierto número de cordones de soldadura, la colocación de la pieza no acabada entre una sección de molde y una sección de contramolde, el calentamiento de la sección de molde para calentar la pieza no acabada, y la introducción de gas a presión entre la sección de contramolde y la sección de molde para presionar la pieza no acabada hacia dentro de un molde en la sección de molde para conformar un componente. El número de cordones de soldadura tienen una relación de espesores deseada entre aproximadamente 1,1 y 1,25 después de conformar el componente, de tal manera que la pluralidad de láminas de metal y el componente conformado tienen cierto número de características que son en esencia las mismas.

55 Las características, funciones y ventajas pueden alcanzarse independientemente en varias realizaciones de la presente invención o pueden combinarse incluso en otras realizaciones, en las que detalles adicionales pueden verse en referencia a la siguiente descripción y dibujos.

**Breve descripción de los dibujos**

- La FIG. 1 es una ilustración de un entorno de fabricación que emplea la conformación y la soldadura por agitación;
- La FIG. 2 es una ilustración de una aeronave;
- La FIG. 3 es una ilustración de una vista ampliada de un motor a reacción;
- 5 La FIG. 4 es una ilustración de un entorno de fabricación;
- La FIG. 5 es una ilustración de un entorno de fabricación;
- La FIG. 6 es una ilustración de una sección transversal de una pieza no acabada colocada entre una sección de molde y una sección de contramolde;
- 10 La FIG. 7 es una ilustración de una sección transversal de una pieza no acabada presionada hacia un molde de una sección de molde;
- La FIG. 8 es una ilustración de una unión a tope con una barra;
- La FIG. 9 es una ilustración de un dispositivo de soldadura;
- La FIG. 10 es una ilustración de una vista en sección transversal de una soldadura;
- La FIG. 11 es una probeta;
- 15 La FIG. 12 es una probeta;
- La FIG. 13 es una probeta;
- La FIG. 14 es una ilustración de una gráfica de relaciones de espesores;
- La FIG. 15 es una ilustración de una gráfica que representa las relaciones del pseudo calor frente a las relaciones de espesores para una probeta;
- 20 La FIG. 16 es una ilustración de un diagrama de flujo de un proceso para la fabricación de un componente;
- La FIG. 17 es una ilustración de un diagrama de flujo de un proceso para llevar a cabo un ensayo con una probeta de acuerdo con una realización ventajosa;
- La FIG. 18 es una ilustración de un proceso de identificación de los parámetros de un proceso de soldadura por fricción-agitación de acuerdo con una realización ventajosa;
- 25 La FIG. 19 es una ilustración de un proceso de soldadura por fricción-agitación de acuerdo con una realización ventajosa;
- La FIG. 20 es una ilustración de un diagrama de flujo de un proceso para llevar a cabo operaciones de acabado;
- La FIG. 21 es una ilustración de una tabla de resultados del ensayo;
- La FIG. 22 es una ilustración de una tabla de resultados del ensayo;
- 30 La FIG. 23 es una ilustración de una tabla de resultados del ensayo;
- La FIG. 24 es una ilustración de una tabla de resultados del ensayo;
- La FIG. 25 es una ilustración de una tabla de resultados del ensayo;

**Descripción detallada**

- 35 Con referencia ahora a la Fig. 1, se representa una ilustración de un entorno de fabricación. En este ejemplo, el entorno de fabricación 100 se utiliza para fabricar componentes, tales como, por ejemplo, sin limitación, piezas, conjuntos ensamblados, piezas de una aeronave, articulaciones, paneles de revestimiento, largueros, costillas, y/u otros componentes adecuados. El suministrador de equipamiento 110 proporciona equipamiento y el suministrador de material 112 proporciona materiales para su utilización en el entorno de fabricación 100. En este ejemplo
- 40 ilustrativo, el suministrador de equipamiento 110 proporciona equipamiento para ser utilizado en la fabricación de láminas 114, en la fabricación de piezas no acabadas 116 y en la fabricación de componentes 118. El suministrador de material 112 proporciona materiales, tales como el metal, para ser utilizado en la fabricación de láminas 114.

La fabricación de láminas 114 forma una lámina de metal a partir del metal proporcionado por el suministrador de material 112. Esta lámina de metal es utilizada, a continuación, por la fabricación de piezas no acabadas 116. En

este ejemplo ilustrativo, la fabricación de piezas no acabadas 116 forma una pieza no acabada utilizando una pluralidad de láminas de metal formadas por la fabricación de láminas 114. Por ejemplo, la fabricación de piezas no acabadas 116 puede comprender la soldadura por fricción-agitación para formar la pieza no acabada. "Un número o pluralidad de", cuando se refiere a artículos, significa uno o más artículos. Por ejemplo, un número de realizaciones del aparato puede ser una o más realizaciones del aparato.

La pieza no acabada es utilizada por la fabricación de componentes 118 para conformar un componente. Como ejemplo, el componente puede ser un panel de revestimiento de una aeronave. El componente puede ser utilizado para formar un conjunto ensamblado de una aeronave en la fabricación de conjuntos ensamblados 120. El conjunto ensamblado puede ser, por ejemplo, un fuselaje de una aeronave. El conjunto ensamblado se utiliza en la integración de sistemas 122. Por ejemplo, cuando el sistema es una aeronave, el conjunto ensamblado puede incorporarse en la aeronave en la integración de sistemas 122. El sistema es, a continuación, puesto en servicio en servicio 124.

En algunos ejemplos, el componente conformado en la fabricación de componentes 118 puede ser utilizado en las operaciones de servicio y reparación 126 y/u operaciones de remanufacturado 128.

Con referencia ahora a la Fig. 2, se representa una ilustración de una aeronave. En este ejemplo ilustrativo, la aeronave 200 toma la forma de una aeronave a reacción 202. La aeronave a reacción 202 es un ejemplo de una plataforma para la cual los componentes pueden fabricarse utilizando el entorno de fabricación 100 de la FIG. 1. Por ejemplo, los componentes para la carcasa del motor a reacción 204 y la carcasa del motor a reacción 206 de la aeronave a reacción 202 pueden fabricarse en el entorno de fabricación 100. Estas carcasas toman la forma de una góndola 208 para el motor a reacción 204 y de la góndola 210 para el motor a reacción 206.

Volviendo ahora a la FIG. 3, se representa una ilustración de una vista ampliada de un motor a reacción. En este ejemplo ilustrativo, el motor a reacción 204 de la FIG. 3 está representado con la góndola 208. Como se representa, la góndola 208 tiene el borde de ataque 300. El borde de ataque 300 es el borde frontal de la góndola 208. En este ejemplo ilustrativo, el borde de ataque 300 está fabricado de metal. El borde de ataque 300 es un ejemplo de un componente que puede formarse en la fabricación de componentes 118 en el entorno de fabricación 100 de la FIG. 1.

Los diferentes aspectos reconocen y tienen en cuenta varias consideraciones diferentes. Los diferentes aspectos reconocen y tienen en cuenta que un componente formado a partir de múltiples piezas puede tener un comportamiento inferior en comparación con un componente formado a partir de una sola pieza. Por ejemplo, con algunas góndolas disponibles en la actualidad, los bordes de ataque de estas góndolas se forman a partir de múltiples piezas de aluminio unidas entre sí con elementos de fijación. Estos elementos de fijación y las uniones de las piezas unidas pueden dar lugar a una superficie irregular del borde de ataque. Esta superficie irregular puede dar lugar a flujo turbulento no deseado del aire sobre el borde de ataque durante un vuelo de una aeronave. Esta turbulencia no deseada puede producir arrastre, que a su vez puede reducir el rendimiento del combustible de una aeronave.

Los diferentes aspectos reconocen y tienen en cuenta que un borde de ataque formado a partir de una sola pieza puede dar lugar a un flujo esencialmente más laminar del aire sobre del borde de ataque que un borde de ataque formado a partir de múltiples piezas. Además, los diferentes aspectos reconocen y tienen en cuenta que una sola pieza de aluminio puede usarse para formar un borde de ataque. Sin embargo, los diferentes aspectos reconocen y tienen en cuenta que el titanio puede tener una capacidad de soportar temperaturas más altas en comparación con el aluminio.

Además, el titanio también tiene propiedades deseadas para plataformas aeroespaciales, tales como, por ejemplo, un peso deseado, una resistencia deseada, resistencia a la corrosión, compatibilidad con los materiales compuestos, un coeficiente deseado de dilatación térmica, y una capacidad para ser conformado usando un proceso de conformación. Los diferentes aspectos también reconocen y tienen en cuenta que el uso de titanio para fabricar componentes de gran tamaño puede estar limitado por el tamaño de las láminas de titanio disponibles actualmente. Actualmente, las láminas de titanio pueden estar disponibles hasta un tamaño de, aproximadamente, 1,2 metros por aproximadamente 3,6 metros. Como ejemplo específico, algunos bordes de ataque tienen diámetros mayores de, aproximadamente, 10 metros. Los diferentes aspectos reconocen que una sola lámina de titanio no puede ser utilizada para conformar estos tipos de bordes de ataque.

Con estos tipos de bordes de ataque puede utilizarse una pieza no acabada o en bruto fabricada a partir de más de una lámina de titanio.

Además, los diferentes aspectos reconocen y tienen en cuenta que el comportamiento de un componente formado a partir de múltiples láminas de metal puede depender de los efectos de la soldadura de las múltiples láminas de metal. Por ejemplo, la soldadura de múltiples láminas de metal puede afectar a las propiedades de las regiones soldadas.

Los diferentes aspectos reconocen y tienen en cuenta que la soldadura de materiales superplásticos utilizados para formar una pieza no acabada puede dar lugar a efectos no deseados cuando se utiliza la pieza no acabada en un

proceso de conformación superplástica. Por ejemplo, la soldadura por fusión de metales superplásticos puede causar una mayor deformación superplástica que se produce en el material base adyacente a un cordón de soldadura en comparación con el cordón de soldadura. Esta deformación superplástica en el material base puede dar lugar a una estricción prematura de la pieza no acabada.

5 Los diferentes aspectos también reconocen y tienen en cuenta que después de soldar láminas de metal para formar una pieza no acabada, un número características del metal base de la pieza no acabada y del cordón de soldadura de la pieza no acabada pueden no ser, en esencia, la mismas después de la soldadura y/o después de un proceso de conformación superplástica. Por ejemplo, con los procesos disponibles actualmente para la soldadura por fricción-agitación, un cordón de soldadura puede tener una resistencia disminuida en comparación con el material base de la pieza no acabada. Además, el cordón de soldadura puede tener características de fatiga no deseadas en comparación con el material base.

10 Aún más, los diferentes aspectos tienen en cuenta y reconocen que el cordón de soldadura puede tener una composición del grano diferente en comparación con el material base. Esta diferencia en la composición del grano puede dar lugar a características no deseadas en un componente formado a partir de la pieza no acabada usando el proceso de conformación superplástica. Los diferentes aspectos reconocen que tener un componente con varias características que sean en esencia las mismas que las de las láminas metálicas soldadas entre sí, antes y después del proceso de conformación superplástica, puede ser deseable.

15 Por lo tanto, los diferentes aspectos proporcionan métodos para formar una pieza no acabada a partir de titanio. La presente invención forma un componente mediante la soldadura de una pluralidad de láminas de metal para conformar una pieza no acabada con cierto número de cordones de soldadura, colocando la pieza no acabada entre una sección de molde y una sección de contramolde, calentando la sección de molde para calentar la pieza no acabada, e introduciendo un gas a presión entre la sección de contramolde y la sección de molde para presionar la pieza no acabada en un molde en la sección de molde para conformar un componente. El número de cordones de soldadura tiene una relación de espesores deseada entre, aproximadamente, 1,1 y, aproximadamente, 1,25 de tal manera que la pluralidad de láminas de metal y el componente conformado tienen una serie de características que son sustancialmente las mismas.

20 Con referencia ahora a la FIG. 4, se representa una ilustración de un entorno de fabricación. En estos ejemplos ilustrativos, el entorno de fabricación 400 puede ser un ejemplo de una implementación de la parte del entorno de fabricación de 100 de la FIG. 1 utilizado en la fabricación de láminas 114, la fabricación de piezas no acabadas 116, y la fabricación de componentes 118. Además, el entorno de fabricación 400 puede utilizarse para fabricar componentes para una plataforma, tal como la aeronave 200 de la FIG. 2. En particular, el entorno de fabricación 400 se puede usar para fabricar el borde de ataque 300 de la góndola 208 de la FIG. 3.

25 El entorno de fabricación incluye los materiales 402, la pluralidad de máquinas 404, y el sistema de computación 406. En este ejemplo ilustrativo, los materiales 402 incluyen titanio 408, espigas 410, materiales base 412, materiales de acabado 414, y/u otros materiales adecuados. Las espigas 410 pueden ser, por ejemplo, espigas de agitación utilizadas en los dispositivos de soldadura por fricción-agitación. En estos ejemplos, los materiales 402 pueden ser suministrados por el proveedor de material 112 de la FIG. 1. El titanio 408 se utiliza para formar cierto número de láminas 416 de titanio 408. Las espigas de agitación de soldadura 410, los materiales base 412, y los materiales de acabado 414 se utilizan para conformar piezas no acabadas 418 a partir del número de láminas 416.

30 En otros aspectos, se pueden usar metales distintos del titanio 408. Por ejemplo, los materiales 402 pueden incluir, sin limitación, al menos uno de entre una aleación de metal, aluminio, titanio, magnesio, acero, aleaciones de aluminio, aleaciones de titanio, aleaciones de aluminio-magnesio, aleaciones de aluminio-litio, aleaciones de níquel-cromo-hierro, aleaciones de níquel-acero, superaleaciones de metal, y/u otros tipos adecuados de metal.

35 En estos ejemplos ilustrativos, el número de láminas 416 y piezas no acabadas 418 se forman a partir de materiales 402 utilizando la pluralidad de máquinas 404. La pluralidad de máquinas 404 también se utiliza para formar el componente 419 que utiliza la pieza no acabada 418. El componente 419 puede ser, por ejemplo, el borde de ataque 300 de la FIG. 3. En otros ejemplos ilustrativos, el componente 419 puede tomar la forma de un panel de revestimiento, un larguero, una costilla, o cualquier otro tipo adecuado de componente.

40 La pluralidad de máquinas 404 puede incluir, por ejemplo, sin limitación, máquinas de soldadura 420, máquinas de conformación 422, herramientas de acabado 424, y el equipamiento de ensayo 426. La pluralidad de máquinas 404 es un ejemplo de equipamiento que puede suministrarse por el suministrador de equipamiento 110 de la FIG. 1. Como se representa en estos ejemplos, la pluralidad de máquinas 404 está controlada por el sistema de computación 406.

45 En este ejemplo ilustrativo, el sistema de computación 406 puede estar compuesto de una serie de ordenadores. Además, el sistema de computación 406 incluye el software 428 y la base de datos 430. El software 428 incluye el software de diseño de soldadura 432, el software de control de soldadura 434, el software de acabado 436, el software de generación de forma de conformación 438, el software de control de conformación 439, y el software de ensayo 440. El software de diseño de soldadura 432 y el software de control de soldadura 434 se ejecutan en el

sistema de computación 406 para controlar las operaciones de soldadura realizadas en una serie de láminas 416 mediante las máquinas de soldadura 420.

5 En este ejemplo representado, el software de acabado 436 se ejecuta para controlar las operaciones de acabado realizadas en la pieza no acabada 418 mediante las herramientas de acabado 424. El software de generación de forma de conformación 438 y el software de control de conformación 439 se ejecutan para controlar las máquinas de conformación 422 que conforman el componente 419 a partir de la pieza no acabada 418. El software de ensayo 440 se ejecuta para controlar el ensayo de la pieza no acabada 418 y el componente 419 por medio del equipamiento de ensayo 426.

10 En este ejemplo ilustrativo, la base de datos 430 almacena información utilizada por el software 428 para controlar la pluralidad de máquinas 404. Esta información puede ser, por ejemplo, sin limitación, datos, comandos u órdenes, mensajes, parámetros para la pluralidad de máquinas 404, pautas de seguridad, y/u otros tipos adecuados de información. Los parámetros para la pluralidad de máquinas 404 pueden incluir, por ejemplo, sin limitación, un espesor para el número de láminas 416, un tamaño de grano para el titanio 408, una velocidad del husillo en revoluciones por minuto para las máquinas de soldadura 420, una velocidad de avance para las máquinas de  
15 soldadura 420, y/u otros parámetros adecuados.

La ilustración del entorno de fabricación 400 de la FIG. 4 no pretende implicar limitaciones físicas o arquitectónicas a la manera en que diferentes realizaciones ventajosas pueden implementarse. Pueden utilizarse otros componentes adicionales y/o en lugar de los ilustrados. Algunos componentes pueden ser innecesarios en algunas realizaciones ventajosas. Además, los bloques son presentados para ilustrar algunos de los componentes funcionales. Uno o más  
20 de estos bloques pueden combinarse y/o dividirse en diferentes bloques cuando se implementa en diferentes realizaciones ventajosas.

Con referencia ahora a la FIG. 5, se representa una ilustración de un entorno de fabricación. En este ejemplo ilustrativo, el entorno de fabricación 500 es un ejemplo de una implementación del entorno de fabricación 400 de la FIG. 4. En el entorno de fabricación 500, un proceso de conformación se utiliza para conformar un borde de ataque, tal como el borde de ataque 300 de la FIG. 3. El proceso de conformación puede ser un proceso de conformación  
25 superplástica.

En este ejemplo ilustrativo, el entorno de fabricación 500 incluye un sistema de carriles 502, la sección de molde 504 y la sección de contramolde 506. La sección de molde 504 tiene la base 507 y el molde 508 con la horma 510. La horma 510 puede tener la forma del borde de ataque a conformar. Como se representa en este ejemplo, la  
30 acanaladura 508 recibe la pieza no acabada 512. La pieza no acabada 512 está compuesta por cierto número de láminas de titanio. Estas láminas de titanio incluyen la lámina de titanio 514, la lámina de titanio 516, la lámina de titanio 518, la lámina de titanio 520, la lámina de titanio 522, la lámina de titanio 524, la lámina de titanio 526, y la lámina de titanio 528. En otros ejemplos ilustrativos, la pieza no acabada 512 puede conformarse a partir de un número diferente de láminas de titanio.

35 Como se muestra, las láminas de titanio 514-528 tienen formas personalizadas. En otras palabras, las láminas de titanio 514-528 están configuradas de tal manera que cuando se colocan unas en relación con las otras, las láminas de titanio 514-528 adoptan una forma de rosquilla para formar la pieza no acabada 512. En estos ejemplos ilustrativos, las formas personalizadas para las láminas de titanio 514-528 pueden cortarse a partir de una pluralidad de láminas de titanio, de manera tal que al menos aproximadamente el 75 por ciento de la pluralidad de las láminas de titanio sean utilizadas para cada una de las láminas de titanio 514-528.  
40

La pieza no acabada 512 se coloca sobre la sección de molde 504. La sección de molde 504 se mueve sobre el sistema de carriles 502 hacia la sección de contramolde 506 mediante el sistema de ruedas 530 de la sección de molde 504. La sección de molde 504 se mueve hasta que la pieza no acabada 512 se coloca bajo la sección de  
45 contramolde 506. La sección de contramolde 506 puede bajarse sobre la pieza no acabada 512 utilizando gatos hidráulicos 532, 534, 536, y 538. En este ejemplo ilustrativo, la sección de contramolde 506 puede bajarse de tal manera que la prensa 540 se acople con la pieza no acabada 512. Cuando la prensa 540 se acopla con la pieza no acabada 512, gas a presión puede introducirse a través de la prensa 540 de tal manera que la pieza no acabada 512 sea presionada hacia el molde 508 de la sección molde 504. La pieza no acabada 512 es presionada en el molde 508 de tal manera que la pieza no acabada 512 toma la forma de la horma 510 del borde de ataque que está siendo  
50 conformando.

Con referencia ahora a la FIG. 6, se representa una ilustración de una sección transversal de una pieza no acabada colocada entre una sección de molde y una sección de contramolde. En este ejemplo ilustrativo, la pieza no acabada 512 descansa sobre la base 507 en la sección de molde 504. La prensa 540 se coloca sobre la pieza no acabada 512 y se apoya en la parte superior de la pieza no acabada 512. Además, la prensa 540 se apoya en la pieza no  
55 acabada 512 utilizando los apoyos 600, 602, 604, y 606.

En este ejemplo ilustrativo puede introducirse gas a presión a través de la prensa 540 a través del conducto 608. El gas a presión puede alcanzar la pieza no acabada 512 a través del orificio 610 y del orificio 612 de la prensa 540. El gas a presión puede utilizarse para presionar la pieza no acabada 512 hacia el interior del molde 508 en la sección

de molde 504.

5 Con referencia ahora a la FIG. 7, se representa una ilustración de una sección transversal de la pieza no acabada presionada hacia un molde de una sección de molde de acuerdo con una realización ventajosa. En este ejemplo ilustrativo, la sección de molde 504 puede calentarse. El calor que se irradia desde la sección de molde 504 y el gas a presión que entra a través de los orificios 610 y 612 permiten que la pieza no acabada 512 ser presionada hacia el molde 508 en la sección de molde 504. Como se representa, la pieza no acabada 512 puede ser presionada hacia el molde 508 para conformar el borde de ataque 700.

10 Con referencia ahora a la FIG. 8, se representa una ilustración de una unión a tope. En este ejemplo ilustrativo, la unión a tope 800 se forma mediante la unión de la lámina de titanio 802 y de la lámina de titanio 804 sobre la pieza apoyo 806. Esta unión de la lámina de titanio 802 y la lámina de titanio 804 puede realizarse usando un proceso de soldadura láser. Además, la barra 808 puede también unirse a la unión a tope 800 usando un proceso de soldadura láser.

15 Con referencia ahora a la FIG. 9, se representa una ilustración de un dispositivo de soldadura. En este ejemplo ilustrativo, el dispositivo de soldadura 900 se utiliza para formar la soldadura 902 en la unión a tope 800. El dispositivo de soldadura 900 forma la soldadura 902 utilizando soldadura por fricción-agitación en este ejemplo ilustrativo. El dispositivo de soldadura 900 se compone de la herramienta de soldadura 904 y de la espiga de agitación 906.

20 Como se muestra en este ejemplo, el dispositivo de soldadura 900 se mueve a lo largo de unión a tope 800 en la dirección de la flecha 908. Además, la espiga de agitación 906 gira en el sentido de la flecha 910 cuando el dispositivo de soldadura 900 se mueve. El dispositivo de soldadura 900 ejerce la fuerza 912 cuando el dispositivo de soldadura 900 se mueve y la espiga de agitación 906 rota.

25 Cuando el dispositivo de soldadura 900 suelda conjuntamente la lámina de titanio 802 y la lámina de titanio 804 junto con la barra 808, se forma el cordón de soldadura 914 a partir del desplazamiento de zonas o partes de la lámina de titanio 802 y la lámina de titanio 804 cuando el dispositivo de soldadura 900 empuja hacia abajo sobre la unión a tope 800. Se forman marcas 916 en la superficie 918 de la soldadura 902 cuando se forma el cordón de soldadura 914. Como se representa, las marcas 916 pueden tener una forma circular debido a la rotación de la espiga de agitación 906.

30 La barra 808, soldada por láser a la unión a tope 800, asegura que después que la soldadura es realizada a lo largo de la unión a tope 800, el cordón de soldadura 914 tiene, en esencia, el mismo espesor que las zonas de la lámina de titanio 802 y la lámina de titanio 804 no soldadas.

Con referencia ahora a la FIG. 10, se representa una ilustración de una vista en sección transversal de una soldadura. En este ejemplo ilustrativo, la punta 1.000 de la espiga de agitación 906 del dispositivo de soldadura 900 desplaza zonas de la lámina de titanio 802 y la lámina de titanio 804 para formar el cordón de soldadura 914.

35 El contacto entre la punta 1.000 de la espiga de agitación 906 y zonas de la lámina de titanio 802 y de la lámina de titanio 804 produce calor por fricción cuando la espiga de agitación 906 rota y el dispositivo de soldadura 900 empuja hacia abajo con la fuerza 912. Este calor por fricción ablanda las zonas de lámina de titanio 802 y de la lámina de titanio 804 cerca de la punta 1.000 de la espiga de agitación 906. Este ablandamiento permite al cordón de soldadura 914 formarse. En este ejemplo ilustrativo, la temperatura del cordón de soldadura 914 no supera el punto de fusión de lámina de titanio 802 y de la lámina de titanio 804. De esta manera, la porosidad y/o el agrietamiento térmico pueden reducirse o evitarse en el cordón de soldadura 914.

45 Con referencia ahora a las FIG. 11-13, se representan ejemplos de probetas. En estos ejemplos ilustrativos, las probetas se forman usando un proceso de soldadura por fricción-agitación para soldar dos piezas de titanio. El proceso de soldadura por fricción-agitación forma un cordón de soldadura en cada probeta. El conjunto de parámetros seleccionados para el proceso de soldadura por fricción-agitación determina las características superplásticas del cordón de soldadura. Cada probeta es alargada utilizando un proceso de conformación superplástica para determinar la cantidad de deformación superplástica producida en la probeta. La cantidad de deformación superplástica producida en un cordón de soldadura en comparación con el material base de la probeta puede determinarse mediante el cálculo de una relación de espesores usando la siguiente ecuación:

$$\text{Relación de espesores} = (e_p) / (e_w)$$

50 donde  $e_p$  es el espesor de la material base después de la elongación superplástica del material base, y  $e_w$  es el espesor del cordón de soldadura después de la elongación superplástica del cordón de soldadura.

Volviendo en primer lugar a la FIG. 11, la probeta 1100 tiene el cordón de soldadura 1102, la zona 1104, y la zona 1106. La zona 1104 y la zona 1106 son las zonas de la probeta 1100 que componen el material base de la probeta 1100, el cual es de titanio en este ejemplo.

55 El conjunto de parámetros seleccionados para conformar el cordón de soldadura 1102 son tales que el cordón de

soldadura 1102 tiene un espesor menor en comparación con la zona 1104 y la zona 1106. En otras palabras, se produce una mayor deformación superplástica en el cordón de soldadura 1102 en comparación con la zona 1104 y la zona 1106.

5 Volviendo ahora a la FIG. 12, la probeta 1200 tiene el cordón de soldadura 1202, la zona 1204, y la zona de 1206. La zona 1204 y la zona 1206 se componen del material base de la probeta 1200, el cual es de titanio en este ejemplo.

10 Los parámetros seleccionados para el proceso de soldadura por fricción-agitación que formó el cordón de soldadura 1202 son tales que la zona 1204 y la zona de 1206 tienen un espesor mayor en comparación con el cordón de soldadura 1202. En otras palabras, una mayor deformación superplástica se produce en la zona 1204 y la zona de 1206 en comparación con el cordón de soldadura 1202.

Volviendo ahora a la FIG. 13, la probeta 1300 tiene el cordón de soldadura 1302, la zona 1304, y la zona 1306. La zona 1304 y la zona 1306 se componen de material base de la probeta 1300, el cual es titanio en este ejemplo.

15 Los parámetros seleccionados para el proceso de soldadura por fricción-agitación que formó el cordón de soldadura 1302 son tales que el cordón de soldadura 1302, la zona 1304, y la zona de 1306 experimentan, en esencia, el mismo espesor. En otras palabras, en esencia, la misma cantidad de deformación superplástica se produce en el cordón de soldadura 1302, la zona 1304, y la zona 1306. Además, el cordón de soldadura 1302, la zona 1304, y la zona 1306 son alargados de manera uniforme a lo largo de la probeta 1300 de tal manera que las zonas 1304 y 1306 no experimentan, en esencia, estrechamiento.

20 En este ejemplo ilustrativo, se puede calcular una relación de espesores de aproximadamente 1,0. Una relación de espesores de aproximadamente 1,0 indica que el material base de la probeta 1300 y el cordón de soldadura 1302 tienen, en esencia, el mismo espesor después del alargamiento.

25 Cuando se utiliza una pieza no acabada en un proceso de conformación, se desea una relación de espesores de aproximadamente 1,1 a aproximadamente 1,25. Con una relación de espesores de aproximadamente 1,1 a aproximadamente 1,25, un cordón de soldadura puede tener un espesor de aproximadamente un 1 por ciento a aproximadamente un 25 por ciento más que el material base después del alargamiento. Este espesor permite al cordón de soldadura y al material base tener un número de características que son, en esencia, las mismas que después del alargamiento. Estas características pueden incluir, por ejemplo, sin limitación, la resistencia, las características de fatiga, el comportamiento de la tenacidad a la fractura, la resistencia a la corrosión, la tolerancia al daño por impacto, la composición del grano, y/u otras características adecuadas.

30 La composición del grano de un material puede incluir al menos uno de los siguientes: un tamaño de grano, una orientación de grano, una densidad de grano dentro del material, y/u otras características adecuadas de granos.

35 En los diferentes aspectos, la deformación superplástica de un cordón de soldadura puede determinarse mediante el proceso de soldadura utilizado para formar el cordón de soldadura. Por ejemplo, con un proceso de soldadura por fricción-agitación, la deformación superplástica de un cordón de soldadura puede disminuirse a medida que la velocidad del perno y la velocidad de avance del dispositivo de soldadura por fricción-agitación se incrementan. En los diferentes aspectos, una deformación superplástica para la pieza no acabada está entre aproximadamente  $1 \times 10^{-2}$  cm por cm por segundo ( $1 \times 10^{-2}$  pulgadas por pulgada por segundo) y  $5 \times 10^{-6}$  cm por cm por segundo ( $5 \times 10^{-6}$  pulgadas por pulgada por segundo).

40 Un proceso de soldadura por fricción-agitación se puede ajustar para lograr la deformación superplástica deseada para el cordón de soldadura. Este ajuste se puede basar en la temperatura relativa producida a lo largo de un cordón de soldadura durante el proceso de soldadura por fricción-agitación. Además, una pseudo relación de calor se puede utilizar para realizar el ajuste. La pseudo relación de calor se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Pseudo relación de calor} = (N)^2 / (\text{fr})$$

45 donde N es la velocidad del husillo en revoluciones por minuto (rpm) y fr es la velocidad de avance expresada en milímetros por segundo (mm/s)

50 En estos ejemplos ilustrativos, los valores calculados para la pseudo relación de calor se utilizan para interpretar la cantidad de calor generada debido a la cantidad de fricción desarrollada durante el proceso de soldadura por fricción-agitación. Los valores calculados de la pseudo relación de calor pueden ser escalados para adaptarse a un gráfico de datos. Los cambios en la velocidad del husillo pueden tener un mayor efecto en la cantidad de energía térmica desarrollada durante la soldadura por fricción-agitación en comparación con los cambios en la velocidad de avance.

Con referencia ahora a la FIG. 14, se representa una ilustración de una gráfica de relaciones de espesores. En este ejemplo ilustrativo, la gráfica 1400 representa gráficamente la relación de los espesores del material base de una probeta con un cordón de soldadura de la probeta.

El material base puede ser la aleación de aluminio 5083-SP en este ejemplo ilustrativo. Además, el cordón de soldadura puede formarse usando un proceso de soldadura por fricción-agitación.

5 La gráfica 1400 ilustra la representación gráfica de las relaciones de espesores de una probeta a lo largo de la longitud de la probeta. El eje horizontal 1402 es la distancia desde el inicio del proceso de soldadura que formó el cordón de soldadura. El eje vertical 1404 es la relación de espesores. Las gráficas 1406 son para una velocidad de avance constante de aproximadamente 150 milímetros por segundo y variando las velocidades del husillo.

Cada una de las gráficas 1406 tiene tres puntos de ensayo tomados a una distancia de aproximadamente 75 milímetros, aproximadamente 125 milímetros, y aproximadamente de 175 milímetros desde el inicio del proceso de soldadura.

10 Una relación de espesores de aproximadamente 1 proporciona la deformación superplástica deseada para un cordón de soldadura. La gráfica 1400 se puede utilizar para determinar la velocidad del husillo y la velocidad de avance que proporcionarán una relación de espesores de aproximadamente 1. Una relación de espesores de aproximadamente 1 puede lograrse con una velocidad de avance de aproximadamente 150 milímetros por segundo y una velocidad del husillo de aproximadamente 420 revoluciones por minuto.

15 Como se representa en la gráfica 1400, a medida que aumenta la velocidad del husillo, la deformación superplástica del cordón de soldadura se reduce. A medida que aumenta la velocidad del husillo, la cantidad de calor producido en el proceso de soldadura por fricción-agitación puede aumentar la temperatura dentro del cordón de soldadura. Este aumento de temperatura puede reducir la superplasticidad del cordón de soldadura.

20 Con referencia ahora a la FIG. 15, se representa una ilustración de una gráfica que representa gráficamente las pseudo relaciones de calor frente a las relaciones de espesores para una probeta. En este ejemplo ilustrativo, la gráfica 1500 tiene eje horizontal 1502 y 1504. El eje horizontal 1502 es la pseudo relación de calor, y el eje vertical 1504 es la relación de espesores. La relación de espesores se calcula como la relación de espesores.

25 En este ejemplo ilustrativo, la curva 1506 es la curva que mejor se adapta a los puntos 1508 representados gráficamente en el gráfico 1500. Como se indica en el punto 1510, una pseudo relación de calor de aproximadamente 30 puede proporcionar la relación de espesores deseada de aproximadamente 1. Usando la pseudo relación de calor de aproximadamente 30, se pueden calcular un número de valores para los parámetros de la velocidad del husillo y la velocidad de avance. Estos valores se pueden usar para ajustar el proceso de soldadura por fricción-agitación con el fin de lograr la deformación superplástica deseada en un cordón de soldadura.

30 En los diferentes aspectos, la deformación superplástica deseada para el cordón de soldadura es entre aproximadamente  $1 \times 10^{-2}$  cm por cm por segundo ( $1 \times 10^{-2}$  pulgadas por pulgada por segundo) y  $5 \times 10^{-6}$  cm por cm por segundo ( $5 \times 10^{-6}$  pulgadas por pulgada por segundo). Un cordón de soldadura con este tipo de superplasticidad tiene un espesor que es aproximadamente un 1 por ciento a aproximadamente un 25 por ciento más grueso que el material base después de un proceso de formación superplástica. El espesor adicional del cordón de soldadura asegura que el cordón de soldadura no se estrecha durante el proceso de conformación superplástica.

35 Además, en los diferentes aspectos, el proceso de soldadura por fricción-agitación puede ser ajustado de tal manera que el cordón de soldadura y el material base tengan, en esencia, la misma composición de grano. Por ejemplo, cuando se usa titanio de grano fino para conformar una pieza no acabada, el proceso de soldadura por fricción-agitación puede ser ajustado de manera que el cordón de soldadura formado tenga, en esencia, la misma composición de grano que el titanio base. Haciendo coincidir la composición de grano del cordón de soldadura con la del titanio base, puede lograrse la superplasticidad deseada para la pieza no acabada.

40 Además, teniendo tanto el cordón de soldadura como el material base una composición de grano similar, el proceso de conformación superplástica utilizado para conformar la pieza no acabada se puede realizar a temperaturas entre aproximadamente 774 grados centígrados (1.425 grados Fahrenheit) y aproximadamente 788 grados centígrados (1.450 grados Fahrenheit). En algunas realizaciones ventajosas, el proceso de conformación se puede realizar a temperaturas entre aproximadamente 704 grados centígrados (1.300 grados Fahrenheit) y aproximadamente 954 grados centígrados (1.750 grados Fahrenheit).

Con referencia ahora a la FIG. 16, se representa una ilustración de un diagrama de flujo de un proceso para la fabricación de un componente. El proceso ilustrado en la FIG. 16 puede ser implementado en el entorno de fabricación 400 de la FIG. 4.

50 El proceso comienza mediante la soldadura de una pluralidad de láminas de titanio para conformar una pieza no acabada con cierto número de cordones de soldadura (operación 1600). Los cordones de soldadura pueden formarse en las zonas de las láminas de titanio unidas entre sí mediante la operación de soldadura. El proceso, a continuación, coloca la pieza no acabada entre una sección de molde y una sección de contramolde (operación 1602). La sección de molde puede ser una sección de molde calentada que a su vez caliente la pieza no acabada a una temperatura entre aproximadamente 704 grados centígrados (1.300 grados Fahrenheit) y aproximadamente 954 grados centígrados (1.750 grados Fahrenheit).

5 A continuación, el proceso introduce un gas a presión entre la sección de contramolde y la sección de molde para presionar la pieza no acabada hacia un molde en la sección de molde para conformar un componente (operación 1.604). Las operaciones 1.602 y 1.604 pueden incluir un proceso de conformación superplástica. En la operación 1.604, la pieza no acabada puede ser presionada hacia el interior del molde de tal manera que la pieza no acabada se alarga con deformación superplástica.

Además, la operación de soldadura en la operación 1.600 se puede realizar de tal manera que una relación de espesores entre aproximadamente 1,1 y aproximadamente 1,25 puede calcularse para la pieza no acabada en respuesta al proceso de conformación superplástica. En estos ejemplos ilustrativos, la relación de espesores es una relación del espesor del material base al espesor del cordón de soldadura.

10 Con referencia ahora a la FIG. 17, se representa una ilustración de un diagrama de flujo de un proceso para realizar un ensayo en una probeta de acuerdo con un primer aspecto de la presente invención. El proceso ilustrado de la FIG. 17 puede implementarse en el entorno de fabricación 400 usando el equipamiento de ensayo 426 de la FIG. 4.

15 El proceso comienza mediante la introducción de un número de parámetros para el proceso de conformación superplástica (operación 1700). Estos parámetros pueden ser ensayados en una probeta de tal manera que el proceso de conformación superplástica pueda ser ajustado cuando se conforma una pieza no acabada. Los parámetros pueden incluir, por ejemplo, sin limitación, el espesor, el tamaño de grano, la fuerza de prensado, la velocidad del husillo, la velocidad de avance, el desgaste de la espiga de agitación, el caudal de agua, y/u otros parámetros adecuados. El proceso, a continuación, forma una unión a tope para la probeta (operación 1702). A continuación, el proceso suelda por fricción-agitación la unión a tope para formar un cordón de soldadura (operación 1704). El proceso realiza a continuación el ensayo mediante el alargamiento de la probeta para producir deformación superplástica en el cordón de soldadura y el material base de la probeta (operación 1706).

20 El proceso registra los resultados del ensayo (operación 1708). El proceso determina, a continuación, si los parámetros deben ajustarse sobre la base de los resultados (operación 1710). Si los parámetros no tienen que ser ajustados, el proceso representa gráficamente los datos (operación 1712), finalizando el proceso a continuación. De lo contrario, el proceso retorna a la operación 1700.

Con referencia ahora a la Fig. 18, se representa una ilustración de un proceso para identificar los parámetros de un proceso de soldadura por fricción-agitación de acuerdo con un segundo aspecto de la presente invención. En este ejemplo ilustrativo, el proceso ilustrado de la FIG. 18 puede ser implementado en el entorno de fabricación 400 de la FIG. 4.

30 El proceso comienza mediante la introducción de un número de parámetros para el proceso de soldadura por fricción-agitación (operación 1800). Estos parámetros pueden incluir, por ejemplo, sin limitación, el espesor, el tamaño de grano, y/u otros parámetros adecuados. El proceso determina, a continuación, si tiene que ser utilizada una barra (operación 1802). Si tiene que ser utilizada una barra, el proceso introduce, a continuación, varios parámetros para la barra (operación 1804). Estos parámetros incluyen, por ejemplo, sin limitación, el espesor y el tamaño del grano.

35 El proceso calcula, a continuación, una relación de espesores (operación 1806) y un pseudo índice de calor (operación 1808) en base a los parámetros introducidos. Las operaciones 1806 y 1808 pueden realizarse mediante el acceso a una base de datos de valores. A continuación, el proceso identifica entonces una velocidad del husillo deseada y una velocidad de avance deseada en base a una relación de espesores deseada y el pseudo índice de calor deseado (operación 1810). La velocidad del husillo deseada y la velocidad de avance deseada se utilizan, a continuación, para identificar una velocidad del husillo y una velocidad de avance para el proceso de soldadura por fricción-agitación (operación 1812), finalizando a continuación el proceso.

Con referencia de nuevo a la operación 1802, si no se tiene que usar una barra, el proceso continúa a la operación 1806 como se describió anteriormente.

45 Con referencia ahora a la FIG. 19, se representa una ilustración de un proceso para la soldadura por fricción-agitación. El proceso ilustrado de la FIG. 19 puede ser implementado en el entorno de fabricación de 400 de la FIG. 4.

50 El proceso comienza mediante la colocación de dos piezas de metal juntas (operación 1900). El proceso, a continuación, suelda por láser las dos piezas de metal para conformar una unión a tope (operación 1902). El proceso suelda por láser una barra en la parte superior de la unión a tope (operación 1904). A continuación, el proceso introduce varios parámetros para el proceso de soldadura por fricción-agitación (operación 1906). Estos parámetros pueden incluir una velocidad del husillo en revoluciones por minuto, una velocidad de avance, el desgaste de la espiga de agitación, la fuerza, y/u otros parámetros adecuados. El proceso, a continuación, suelda por fricción-agitación la unión a tope (operación 1908), finalizando a continuación el proceso.

55 Con referencia ahora a la Fig. 20, se representa una ilustración de un diagrama de flujo de un proceso para realizar operaciones de acabado. El proceso ilustrado de la FIG. 20 puede ser implementado en el entorno de fabricación 400 de la FIG. 4.

5 El proceso comienza mediante la determinación de si existen rebabas en una pieza no acabada que ha sido soldada por fricción-agitación (operación 2000). Si existen rebabas, el proceso rectifica las rebabas (operación 2002). El proceso determina, a continuación, si existen marcas en la superficie del cordón de soldadura (operación 2004). Si no existen marcas, el proceso termina. De lo contrario, si existen marcas, el proceso mecaniza las marcas eliminándolas (operación 2006), finalizando el proceso a partir de entonces. Con referencia de nuevo a la operación 2000, si no existen rebabas, el proceso continúa a la operación 2004 como se describió anteriormente.

Con referencia ahora a las FIGS. 21-25, se representan ilustraciones de tablas de resultados del ensayo. En estos ejemplos ilustrativos, las tablas son ejemplos de los resultados que pueden generarse mediante la realización del ensayo en la operación 1706 y el registro, a continuación, en la operación 1708 de la FIG. 17.

10 Volviendo primero a la FIG. 21, se representa la tabla 2100. Volviendo, a continuación, a la FIG. 22, se representa la tabla 2200. Volviendo, a continuación, a la FIG. 23, se representa la tabla 2300. Volviendo, a continuación, a la FIG. 24, se representa la tabla 2400. Volviendo, a continuación, a la FIG. 25, se representa la tabla 2500.

15 La descripción de los diferentes aspectos se ha presentado con fines de ilustración y descripción, y no pretende ser exhaustiva o limitada a las realizaciones en la forma descrita. Muchas modificaciones y variaciones serán evidentes para los expertos habituales en la técnica.

20 Aunque las diferentes realizaciones ventajosas se han descrito con respecto a las aeronaves, las diferentes realizaciones ventajosas también reconocen que algunas realizaciones ventajosas se pueden aplicar a otros tipos de plataformas. Por ejemplo, sin limitación, otras realizaciones ventajosas también reconocen que algunas realizaciones ventajosas puedan aplicarse a una plataforma móvil, una plataforma estacionaria, una estructura con base en tierra, una estructura con base en el agua, una estructura con base en el espacio y/o algún otro objeto adecuado. Más específicamente, las diferentes realizaciones ventajosas pueden aplicarse a, por ejemplo, sin limitación, un submarino, un autobús, un medio para transporte de personal, un tanque, un tren, un automóvil, una nave espacial, una estación espacial, un satélite, un buque de superficie, una planta de energía, una presa, una instalación de fabricación, un edificio, y/o algún otro objeto adecuado.

25 Además, diferentes realizaciones ventajosas pueden proporcionar diferentes ventajas en comparación con otras realizaciones ventajosas. Las realizaciones seleccionadas se eligieron y describieron con el fin de explicar mejor los principios de las realizaciones, la aplicación práctica, y para permitir que otros distintos de los expertos habituales en la técnica comprendan la descripción para las diferentes realizaciones con las diferentes modificaciones según sean adecuadas al uso particular contemplado.

30

**REIVINDICACIONES**

1. Un método de fabricación, que comprende:

antes de soldar por fricción-agitación una pluralidad de láminas de metal:

realizar un ensayo en una probeta, comprendiendo el ensayo

5 introducir un conjunto de parámetros para la soldadura por fricción-agitación, formar una unión a tope para una probeta, soldar por fricción-agitación la unión a tope para formar un cordón de soldadura, realizar un ensayo mediante el alargamiento de la probeta para producir deformación superplástica en el cordón de soldadura y el material base de la probeta, y ajustar el conjunto de parámetros de forma tal que la relación entre el espesor del material base y el del cordón de soldadura esté entre 1,1 y 1,25;

10 soldar por fricción-agitación la pluralidad de láminas de metal para formar una pieza en bruto con una pluralidad de cordones de soldadura; siendo el proceso de soldadura realizado de tal manera que se calcula una relación de espesores entre aproximadamente 1,1 a aproximadamente 1,25 para la pieza no acabada en respuesta al proceso de conformación superplástica, siendo la relación de espesores una relación del espesor del material base al espesor del cordón de soldadura;

15 colocar la pieza en bruto entre una sección de molde y una sección de contramolde, siendo la sección de molde se calentada para calentar la pieza en bruto;

introducir un gas a presión entre la sección de contramolde y la sección de molde para presionar la pieza de trabajo hacia el molde en la sección de molde para conformar un componente, en el que la pluralidad de cordones de soldadura tienen una relación de espesores deseada después de la conformación del componente entre

20 aproximadamente 1,1 y aproximadamente 1,25 de tal manera que la pluralidad de láminas de metal y los cordones de soldadura tienen un número de características que son, en esencia, las mismas.

2. Un método de fabricación, que comprende:

antes de soldar por fricción-agitación una pluralidad de láminas de metal,

25 introducir cierto número de parámetros para la soldadura por fricción-agitación, calcular una relación de espesores y un pseudo índice de calor en base a los parámetros seleccionados, identificar una velocidad del husillo deseada y una velocidad de avance deseada en base a tales relación de espesores deseada y el pseudo índice de calor deseado, identificar una velocidad del husillo y una velocidad de avance para el proceso de soldadura por fricción-agitación en base a la velocidad del husillo y la velocidad de avance deseadas identificadas en la etapa precedente;

30 soldar por fricción-agitación la pluralidad de láminas de metal para formar una pieza en bruto con una pluralidad de cordones de soldadura, siendo el proceso de soldadura realizado de tal manera que una relación de espesores entre aproximadamente 1,1 y aproximadamente 1,25 se calcula para la pieza en bruto en respuesta al proceso de conformación superplástica, siendo la relación de espesores una relación del espesor de un material base al espesor del cordón de soldadura;

35 colocar la pieza en bruto entre una sección de molde y una sección de contramolde, en el que la sección de molde calentada para calentar la pieza en bruto;

introducir un gas a presión entre la sección de contramolde y la sección de molde para presionar la pieza de trabajo hacia un molde en la sección de molde para conformar un componente, en el que la serie de cordones de soldadura tenga una relación de espesores deseada después de la conformación del componente entre aproximadamente 1,1 y aproximadamente 1,25, de tal manera que la pluralidad de láminas de metal y los cordones de soldadura tienen un

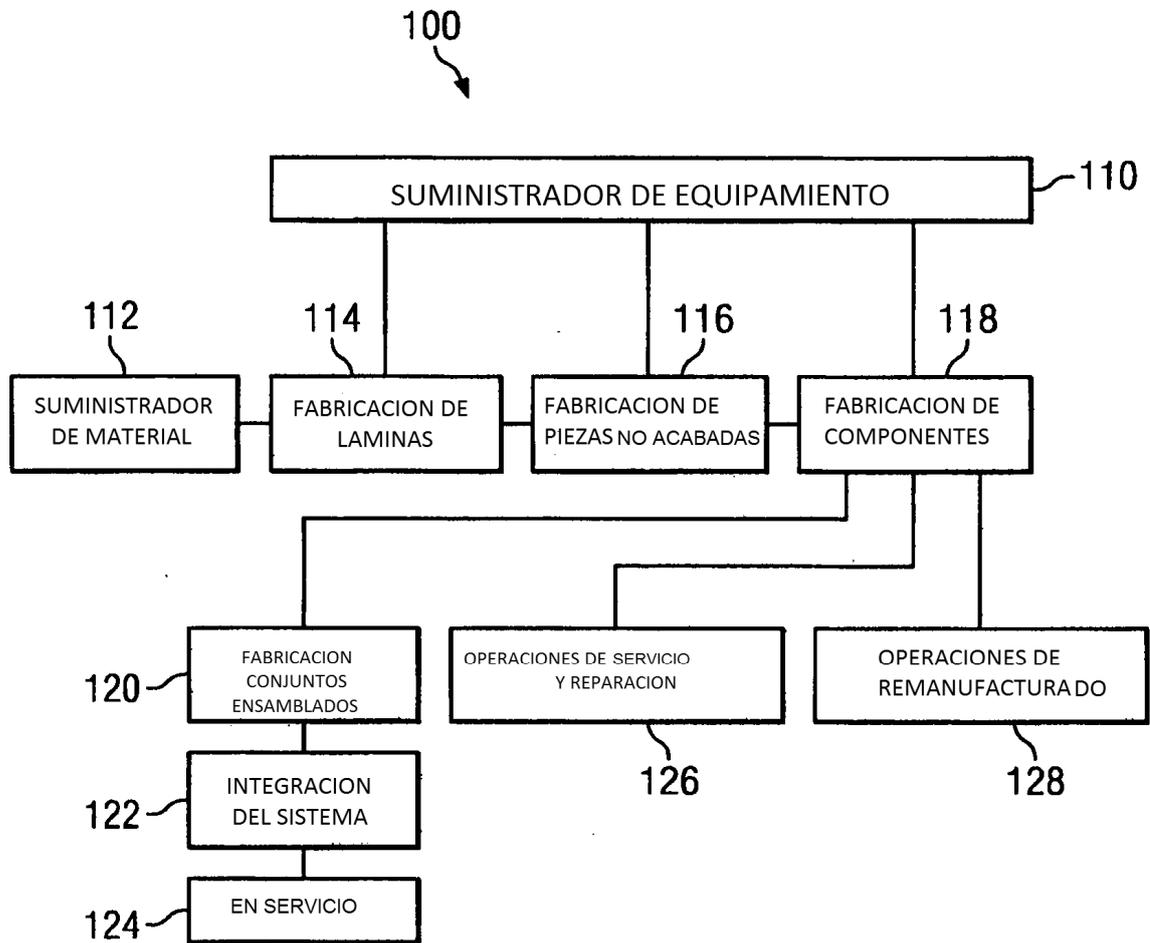
40 número de características que son, en esencia, las mismas.

3. El método de la reivindicación 1 ó 2, en el que el número de características se selecciona a partir de un grupo de características de resistencia, de fatiga, de comportamiento a la tenacidad a la fractura, de resistencia a la corrosión, de tolerancia al daño por impacto, y de composición del grano.

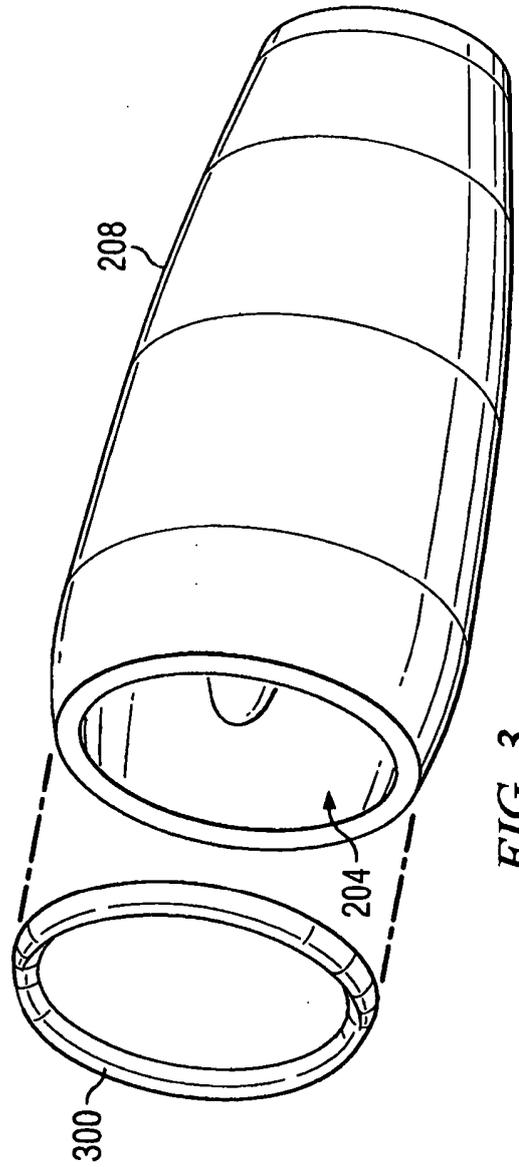
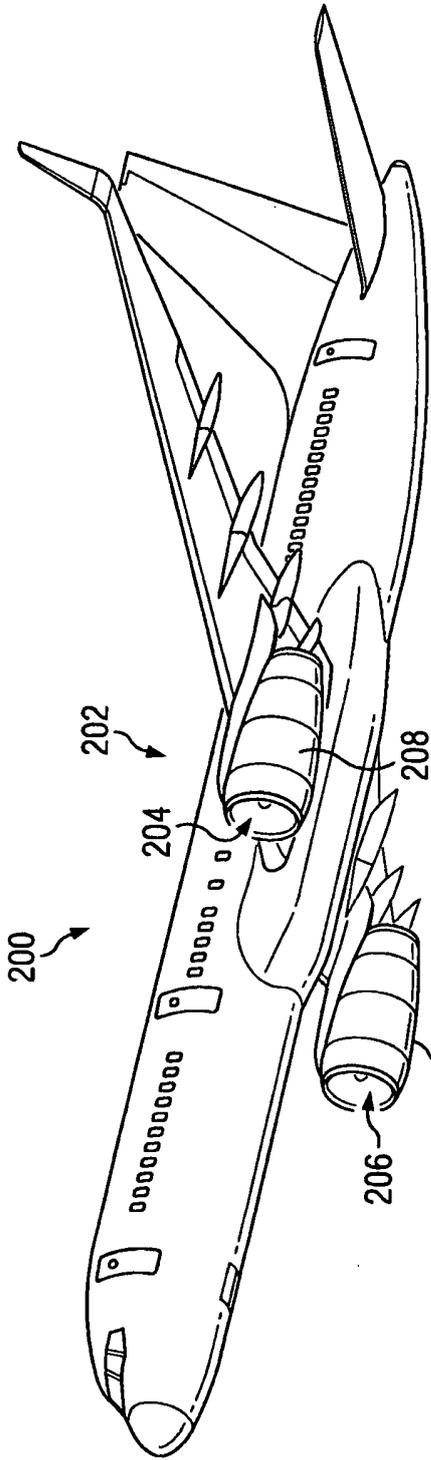
45 4. El método de la reivindicación 1, 2 ó 3, en el que las láminas de metal son láminas de titanio y que comprende además la realización de al menos uno de entre calentamiento y enfriamiento de la pieza en bruto para alcanzar una temperatura para la pieza en bruto entre aproximadamente 704 °C (1.300 grados Fahrenheit) a aproximadamente 954°C (1.750 grados Fahrenheit) cuando la pieza en bruto es calentada mediante la sección molde.

50 5. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1-4, en el que la pieza en bruto tiene una velocidad de deformación durante el conformación del componente de entre aproximadamente  $1 \times 10^{-2}$  cm por cm por segundo ( $1 \times 10^{-2}$  pulgadas por pulgada por segundo) y  $5 \times 10^{-6}$  cm por cm por segundo ( $5 \times 10^{-6}$  pulgadas por pulgada por segundo).

6. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1-5, en el que las zonas de la pieza en bruto que no forman parte de la pluralidad de cordones de soldadura son un metal base de las láminas de metal y en el que el metal base se alarga desde aproximadamente un 1 por ciento hasta aproximadamente un 25 por ciento más veces que la pluralidad de cordones de soldadura durante la conformación del componente.
- 5 7. El método de las reivindicaciones 5-6, en el que el metal base de la pieza no acabada y la pluralidad de cordones de soldadura tienen el número de características que son, en esencia, las mismas después de que el componente es conformado.
8. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1-7, en el que un metal de las láminas de metal es seleccionado a partir de al menos uno de una aleación de metal, de aluminio, de titanio, de magnesio, de acero, de  
10 aleaciones de aluminio, de aleaciones de titanio, de aleaciones de magnesio-aluminio, de aleaciones de aluminio-litio, de aleaciones de níquel-cromo-hierro, de aleaciones de níquel-acero, y de superaleaciones de metal.
9. El método de la reivindicación 1 ó 2, que comprende:
- 15 utilizar un proceso de conformación superplástica para conformar el componente a partir de la pieza en bruto, en el que el cordón de soldadura tiene dicha relación de espesores deseada entre aproximadamente 1,1 y aproximadamente 1,25 después del proceso de conformación superplástica, en el que el cordón de soldadura y las láminas de metal soldadas por fricción-agitación tienen una velocidad de deformación entre aproximadamente  $1 \times 10^{-2}$  cm por cm por segundo ( $1 \times 10^{-2}$  pulgadas por pulgada por segundo) y  $5 \times 10^{-6}$  cm por cm por segundo ( $5 \times 10^{-6}$  pulgadas por pulgada por segundo), y en el que las láminas metálicas soldadas y el cordón de soldadura tienen un número de características que son, en esencia, las mismas después del proceso de conformación superplástica.
- 20 10. El método de la reivindicación 9, en el que el componente es un borde de ataque para la góndola de un motor a reacción.
11. El método de la reivindicación 4, en el que la etapa de conformación del componente de titanio se realiza utilizando un proceso seleccionado a partir de uno de un proceso de conformación superplástica y un proceso de conformación por fluencia en caliente.
- 25 12. El método de la reivindicación 10, que además comprende:
- instalar un mamparo separado en el interior del borde de ataque conformado como una ayuda para concentrar el aire caliente de deshielo en el extremo delantero de la góndola.
13. El método de cualquiera de las reivindicaciones 10-12, en el que la etapa de conformación del componente de titanio comprende soldar por fusión una barra en el lado superior de la unión a tope antes de soldar por fricción-agitación la unión a tope y, a continuación, mecanizar eliminando un exceso de la superficie superior de una soldadura a tope, de tal manera que la soldadura a tope es inicialmente aproximadamente de un mismo espesor y tiene aproximadamente una misma rugosidad superficial que una lámina de metal base antes de la conformación superplástica o conformación por fluencia en caliente.
- 30 14. El método de la reivindicación 13, en el que el componente de titanio es una pieza en bruto para un borde de ataque de una aeronave o un miembro estructural para un ala, planos de cola o un componente de la superficie de control.
- 35 15. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1-14, en el que segmentos de la pieza en bruto son localmente soldados por láser antes de la soldadura por fricción-agitación para evitar una falta de penetración de la soldadura en la parte inferior de la unión a tope después de la soldadura por fricción-agitación y la conformación superplástica.
- 40



*FIG. 1*



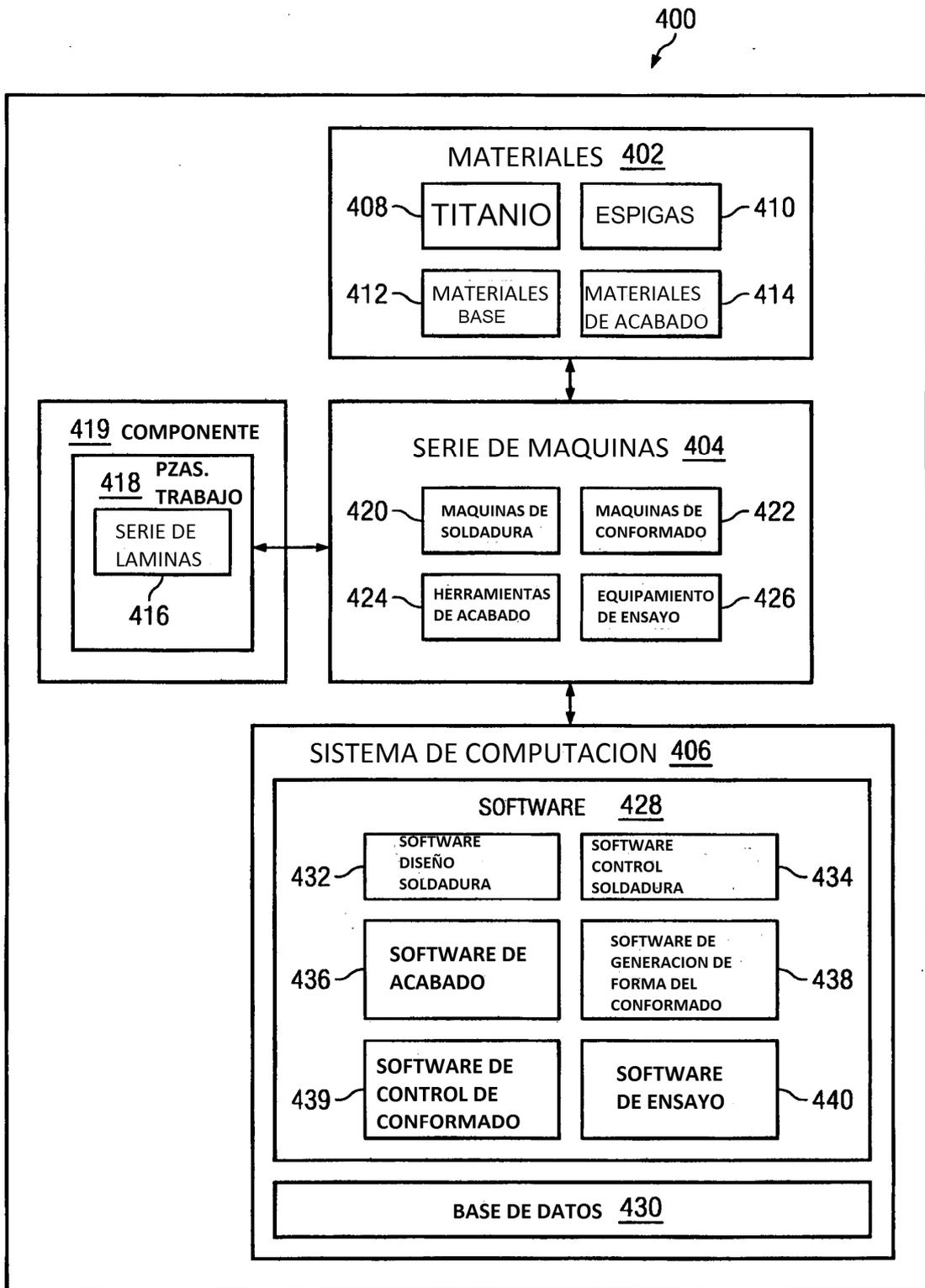
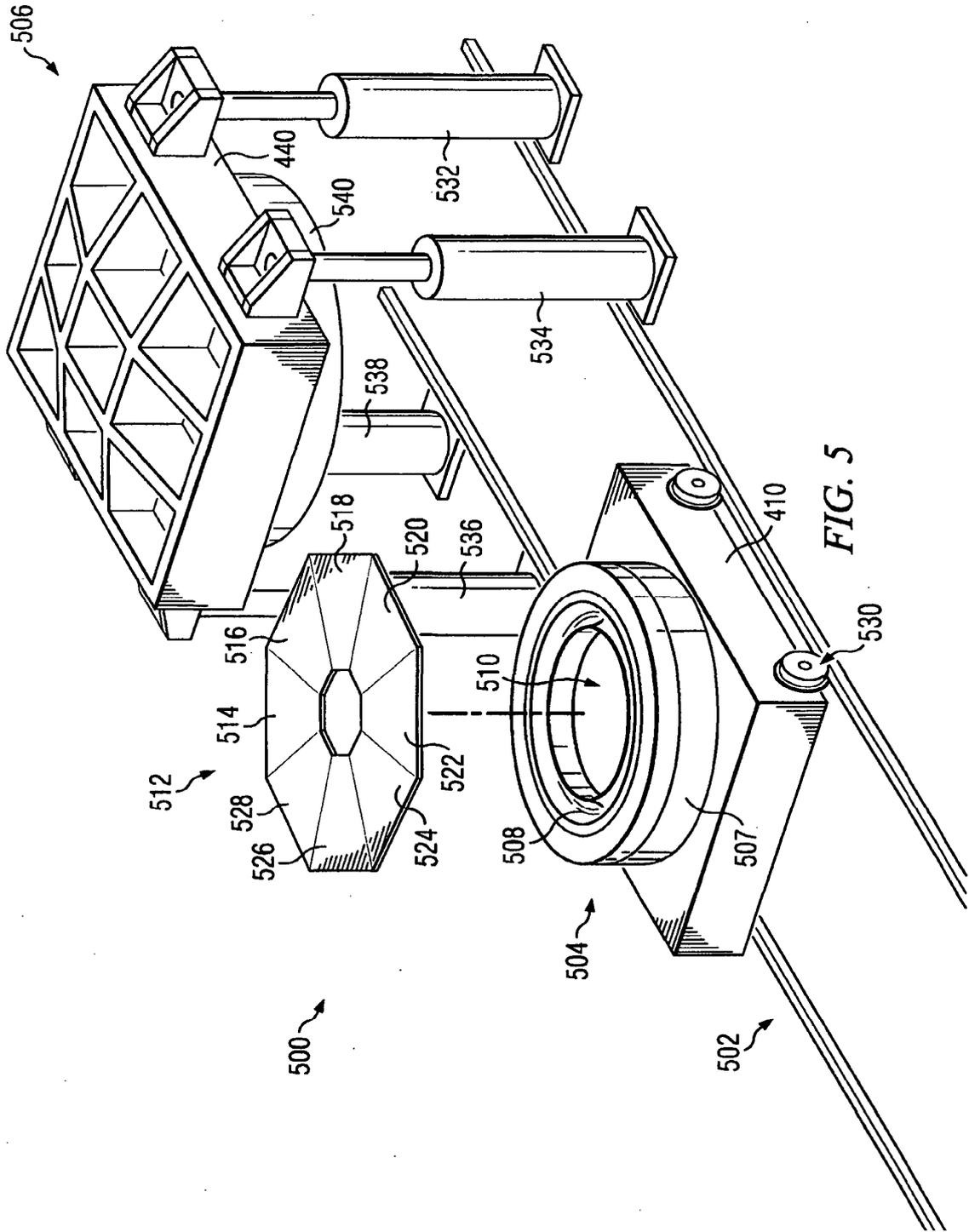
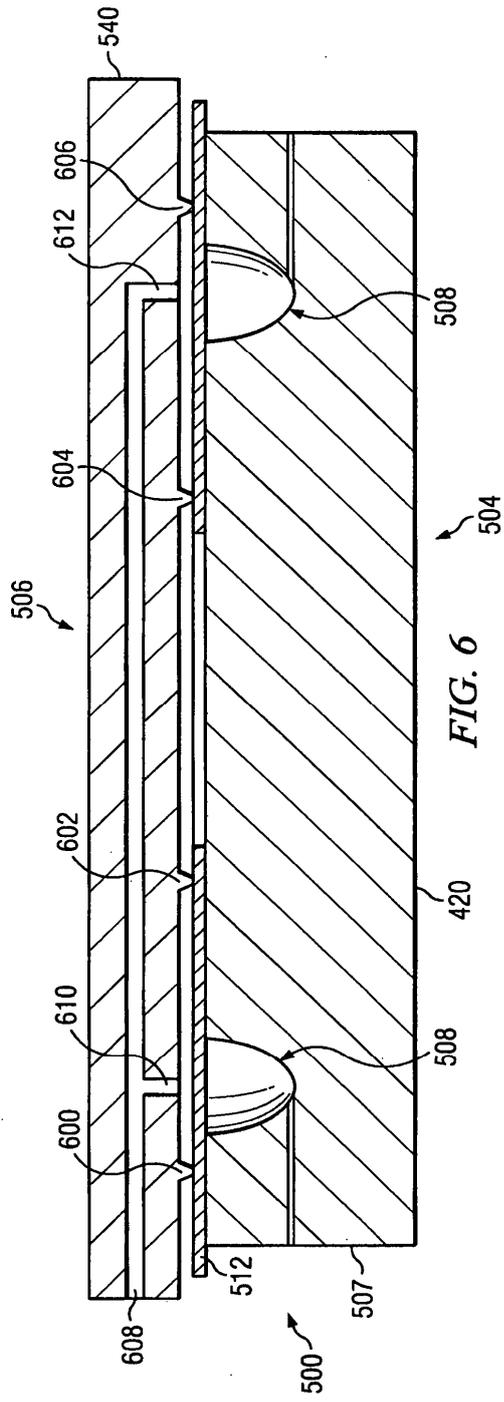


FIG. 4





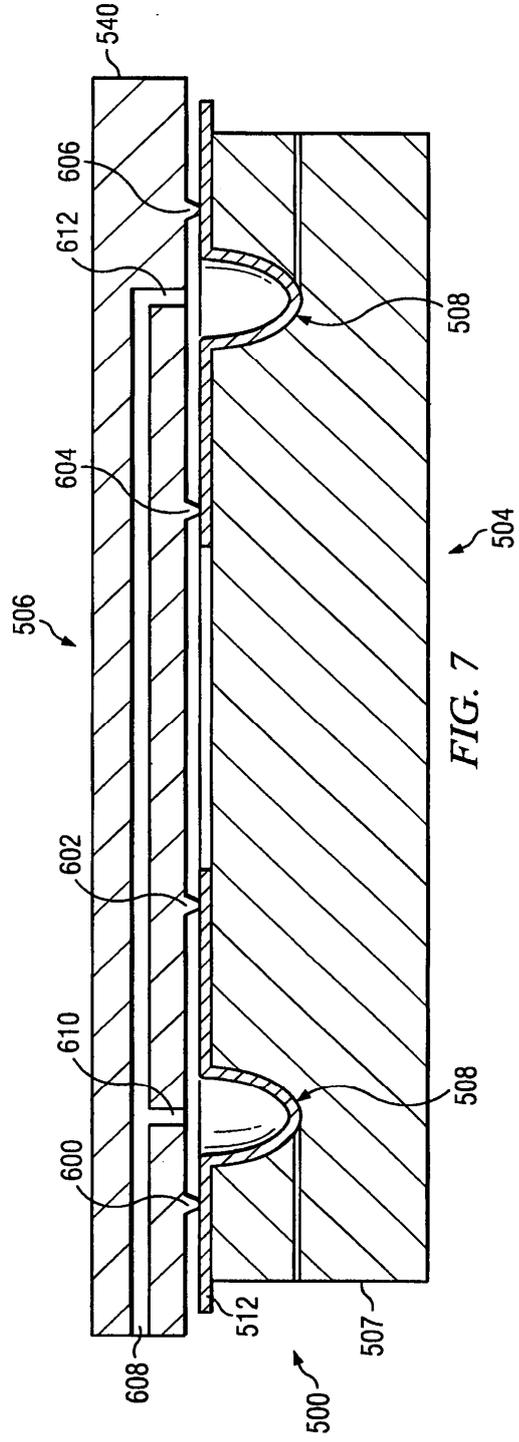
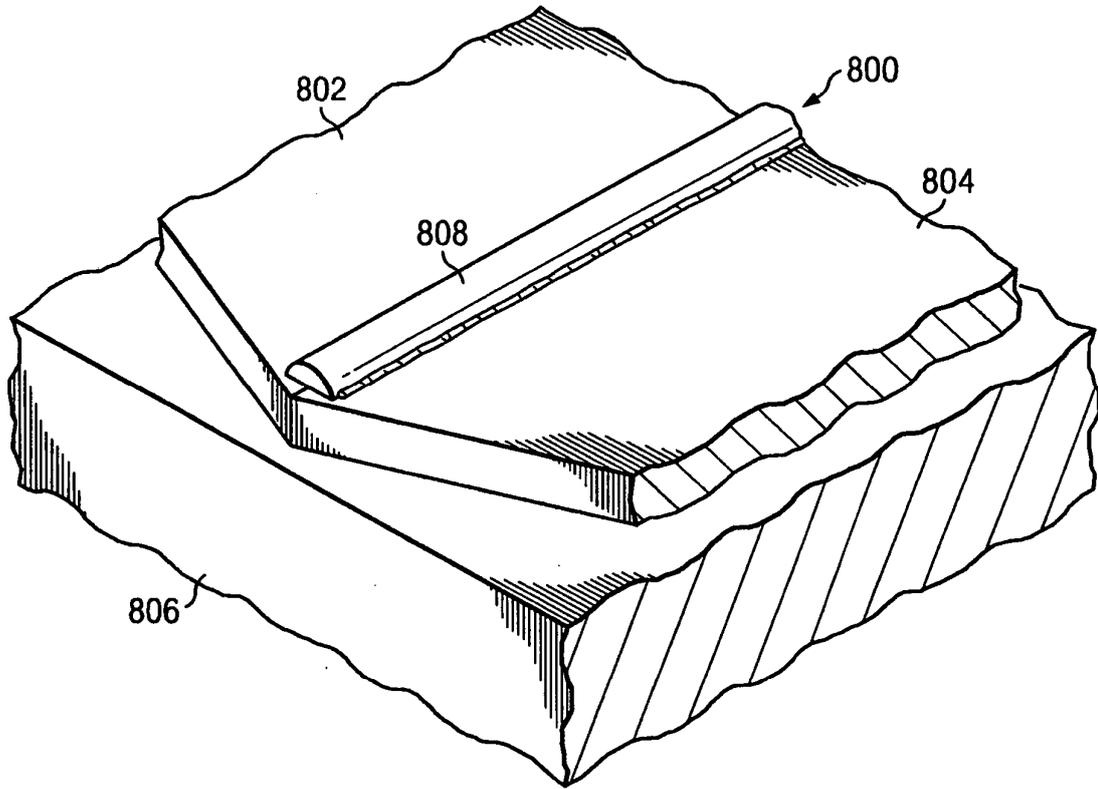


FIG. 7



**FIG. 8**

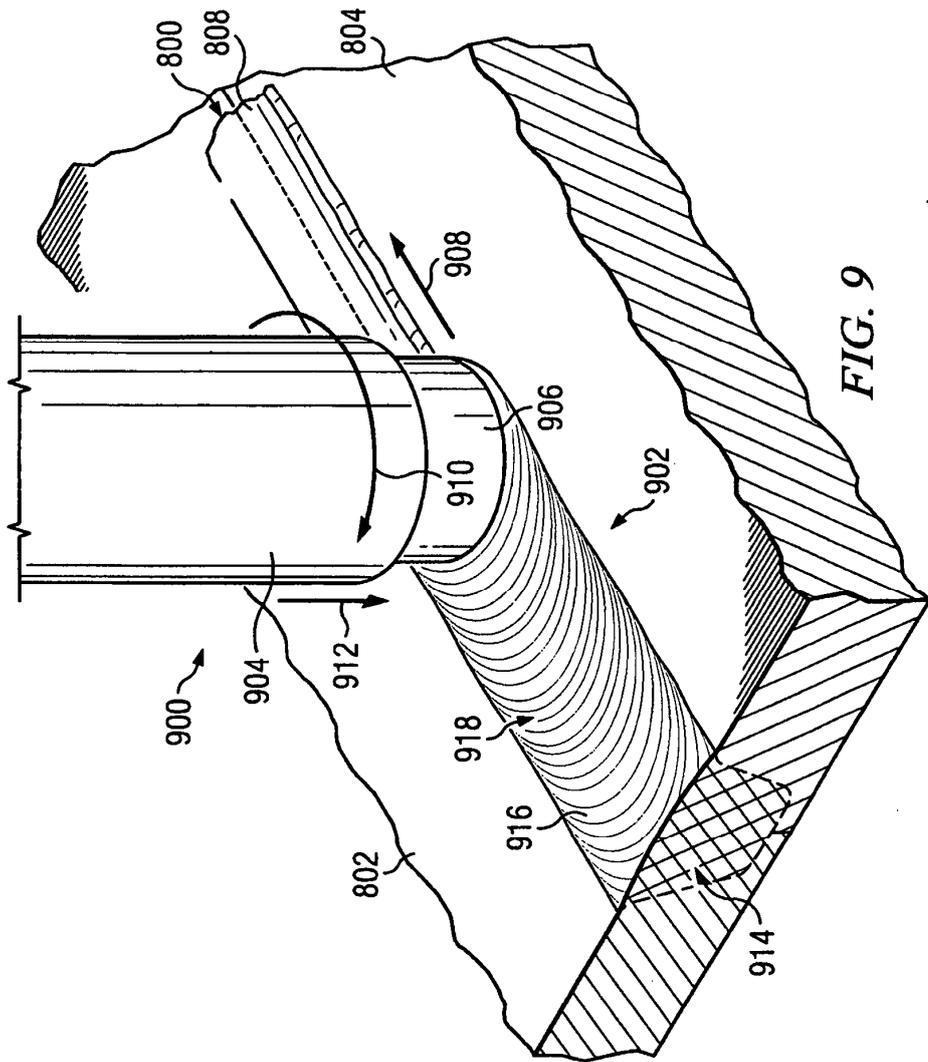


FIG. 9

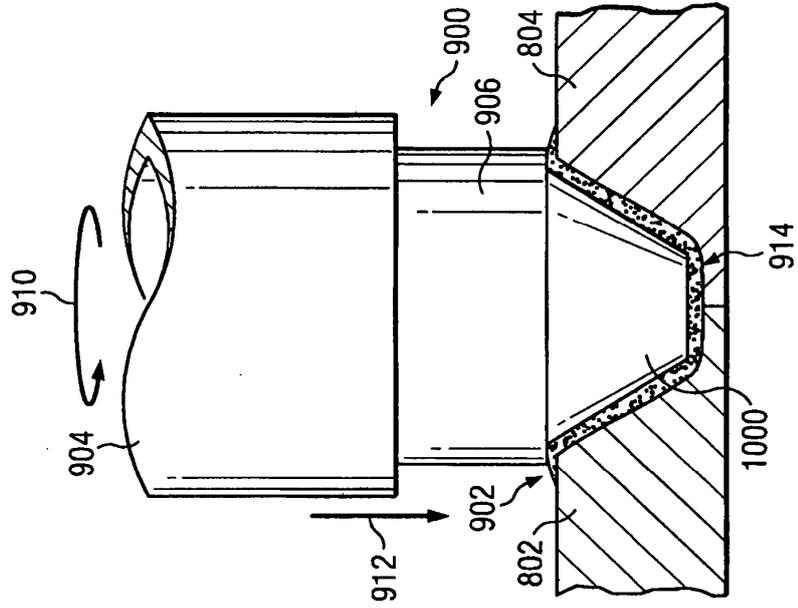
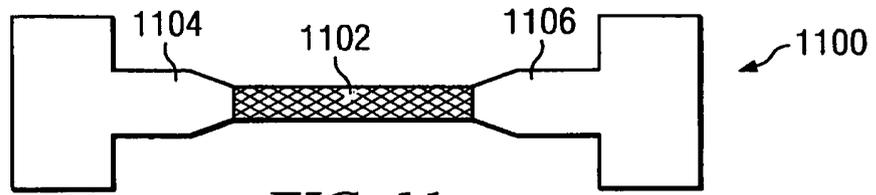
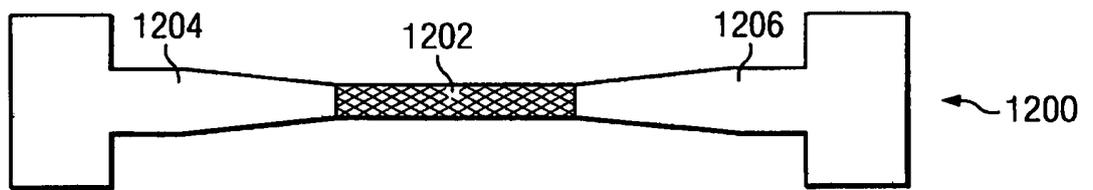


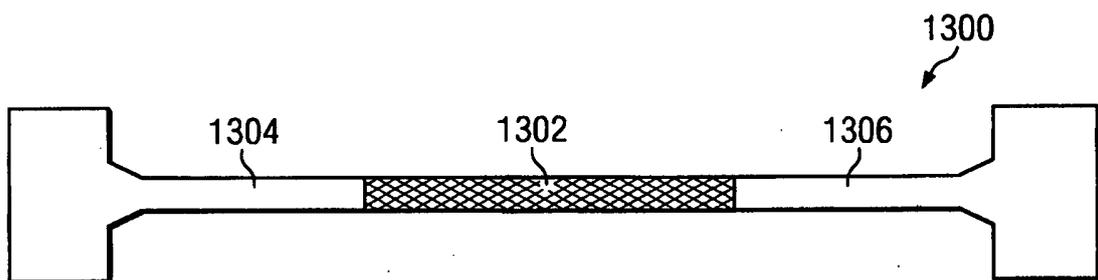
FIG. 10



*FIG. 11*



*FIG. 12*



*FIG. 13*

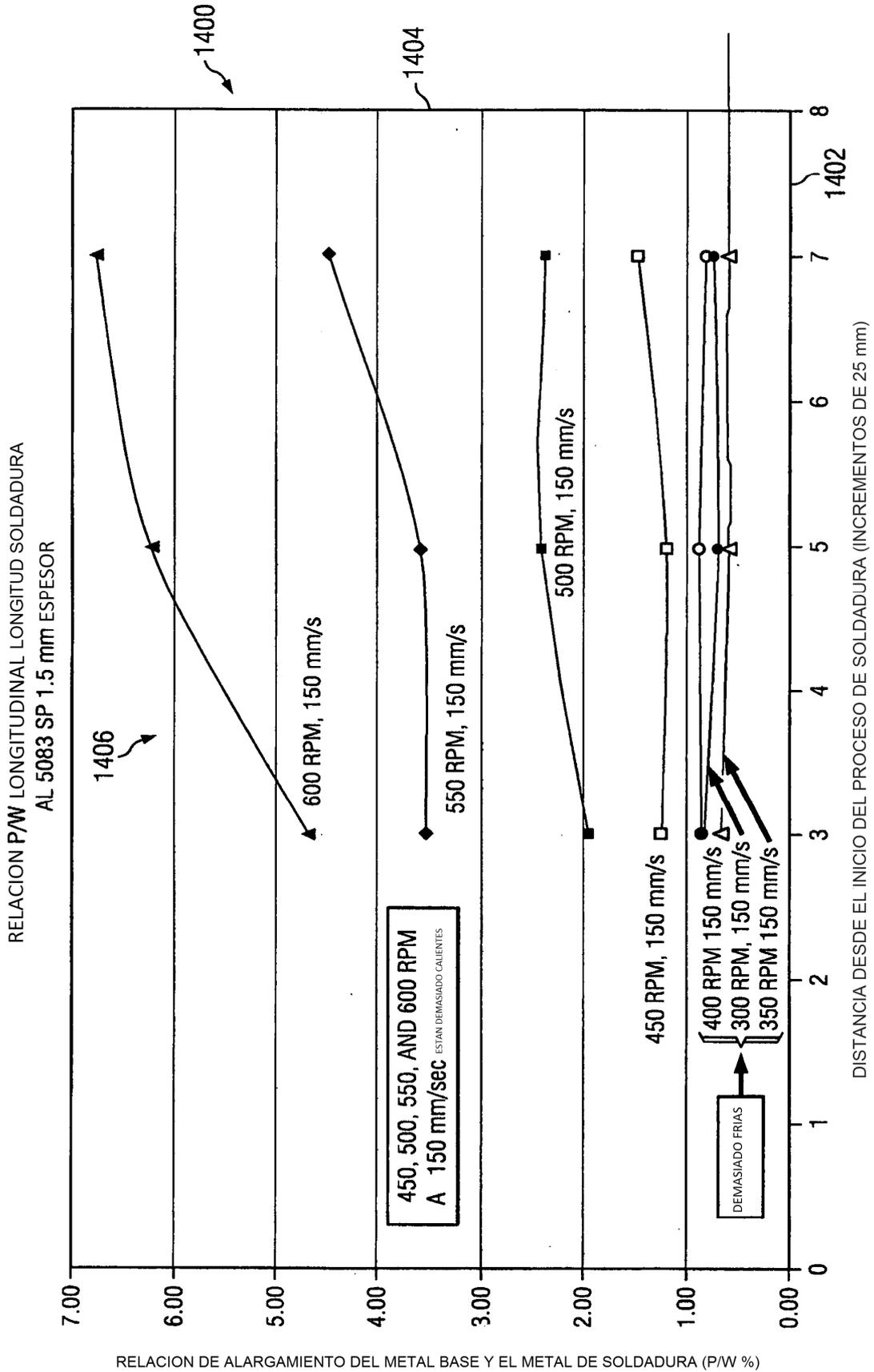
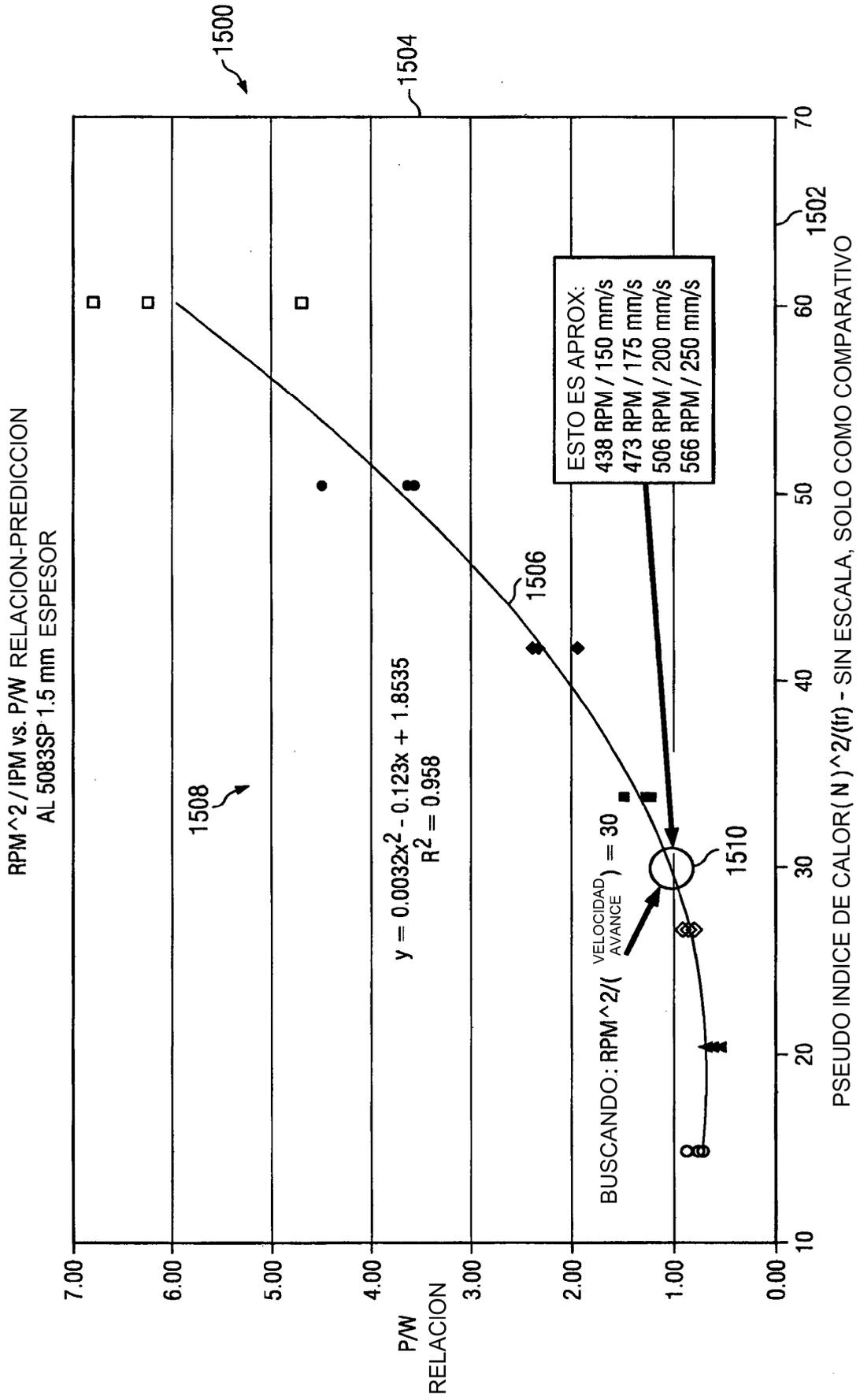


FIG. 14



**FIG. 15**

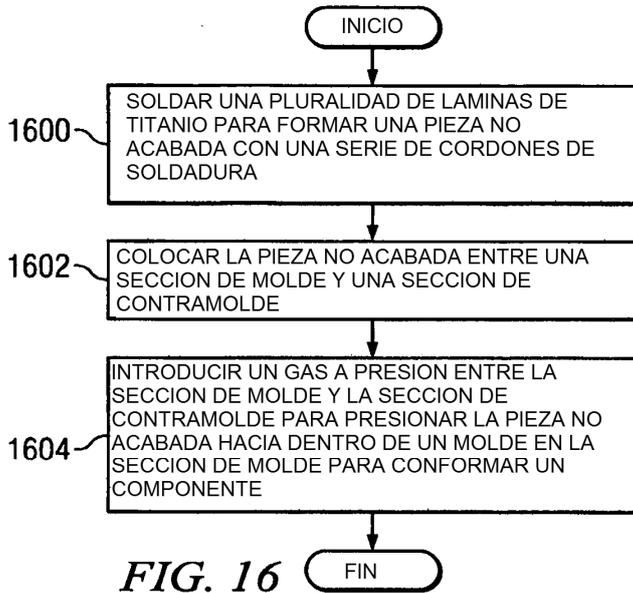


FIG. 16

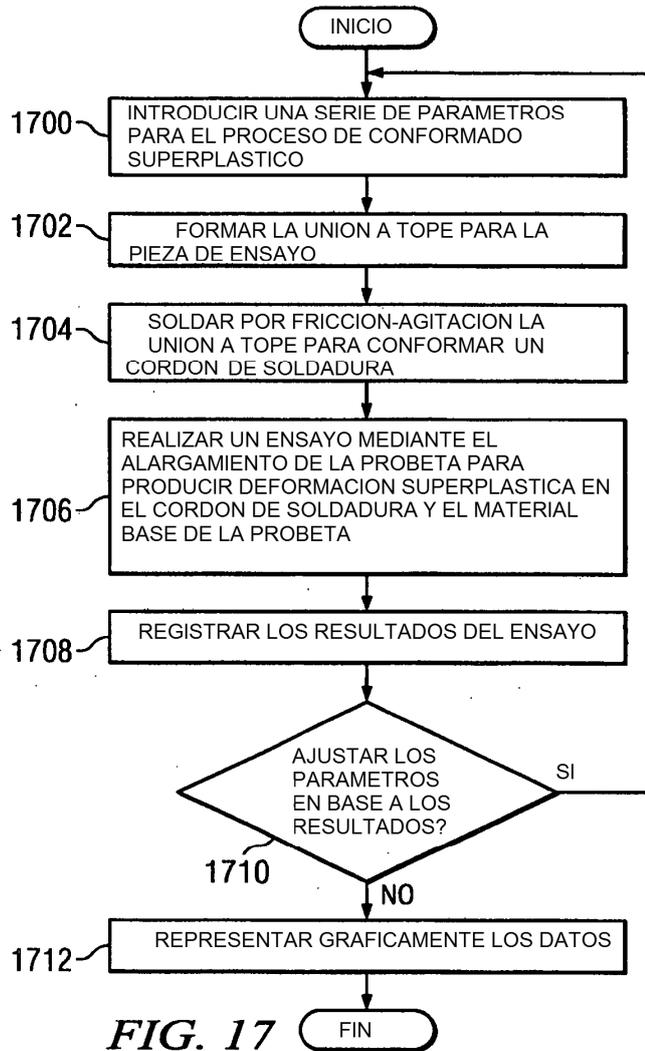


FIG. 17

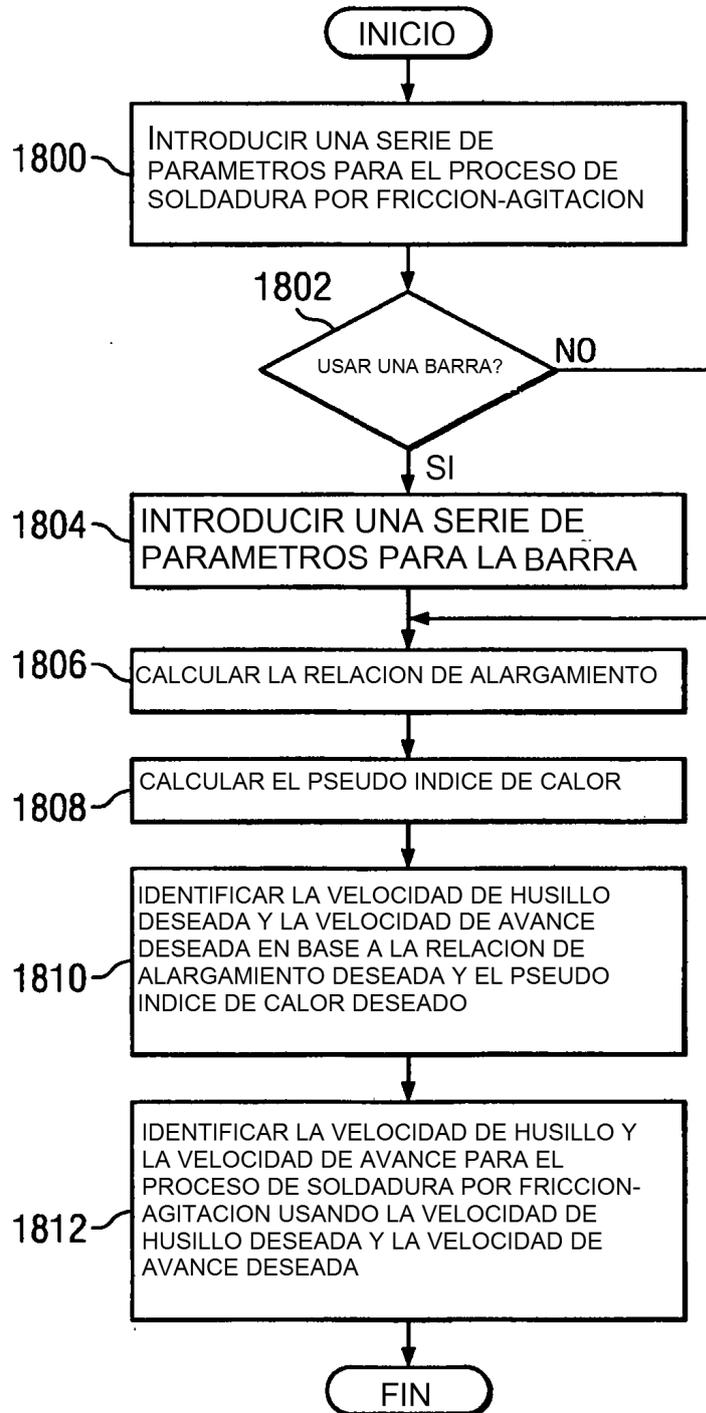


FIG. 18

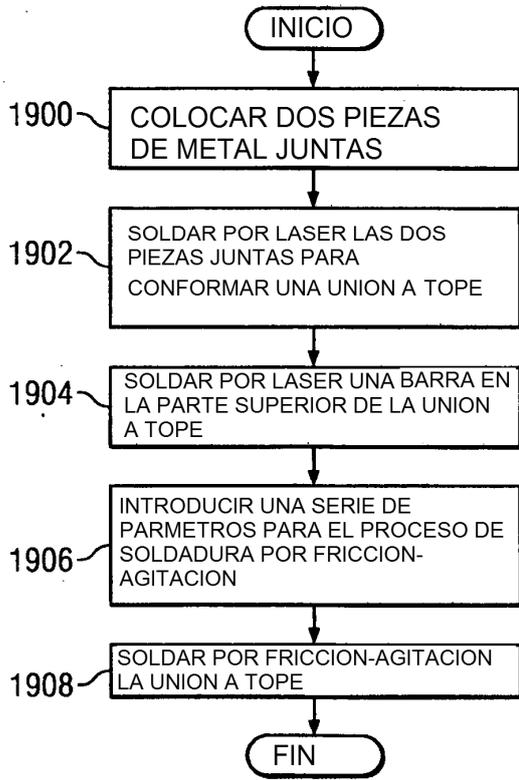


FIG. 19

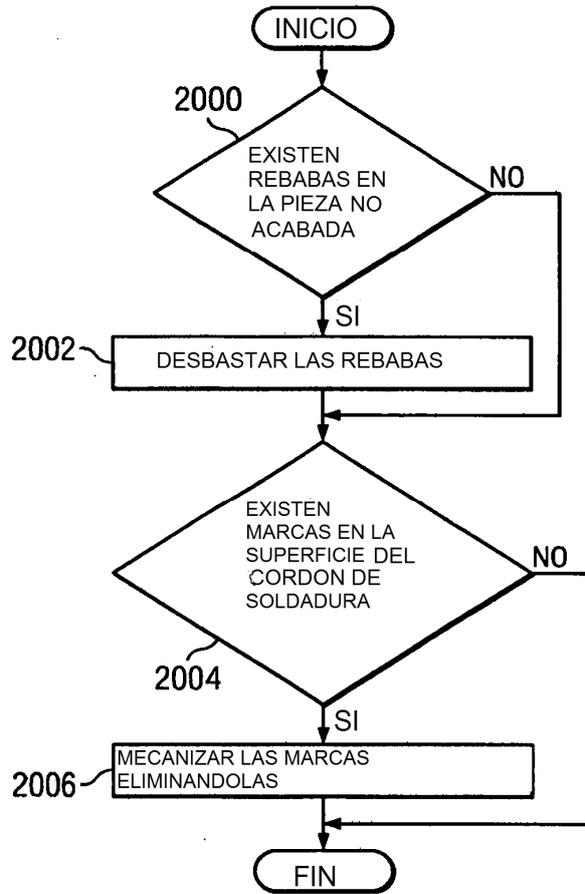


FIG. 20

2100

PROPIEDADES PROMEDIO	LIMITE ELASTICO	ESFUERZO LIMITE DE ROTURA	% ALARGAMIENTO
SOLDADURA AS (AW)	1.59	-0.35	-56.54
AW Y ALIVIO DE TENSION	5.02	1.34	-55.26
UNIV. CAROLINA DEL SUR	5.78	3.09	-44.43
INST. SOLDADURA EDISON	-0.40	-3.39	-73.10
TI GRANO FINO	7.12	2.77	-44.86
TI GRANO NORMAL	0.76	-1.02	-63.26

*FIG. 21*

2200

CONDICION NUMERO	PROCESOS UTILIZADOS	ESPEJOR INICIAL (mm)	LONGITUDINAL OR TRANSVERSAL FSW
1	METAL BASE NO FSW	2.5	NO FSW SOLDADO
2	AS FSW	2.5	TRANSVERSAL
3	AS FSW Y ALIVIO DE TENSION	2.5	TRANSVERSAL
4	FSW, ALIVIO DE TENSION Y MECANIZADO	3	TRANSVERSAL
5	FSW, ALIVIO DE TENSION Y LPB	2.5	TRANSVERSAL
6	FSW, ALIVIO DE TENSION, MECANIZADO Y LPB	2.5	TRANSVERSAL
7	FSW, ALIVIO DE TENSION	2.5	LONGITUDINAL

*FIG. 22*

2300  
↘

ID MUESTRA	TENSION OBJETIVO (ksi)	TENSION OBJETIVO (MPa)	CICLOS HASTA FRACTURA	ROTURA	FRACTURA: LADO DE AVANCE O LADO RETROCESO?	PROCESO UTILIZADO
BJ-T-1	116	800	20168	NO	N/A	PM
BJ-T-2	95	655	73762	NO	N/A	PM
BJ-T-3	90	621	70717	SI	N/A	PM
BJ-T-4	90	621	94974	SI	N/A	PM
BJ-T-5	90	621	351633	SI	N/A	PM
BJ-T-6	90	621	167941	NO	N/A	PM
BJ-T-7	90	621	141177	SI	N/A	PM
BJ-T-8	90	621	1100000	NO	N/A	PM
BJ-T-9	92	634	684794	SI	N/A	PM
BJ-T-10	93	641	155643	SI	N/A	PM
BJ-T-11	94	648	109897	SI	N/A	PM
BJ-T-12	91	627	1033522	SI	N/A	PM
BJ-T-13	93	641	99635	NO	N/A	PM
BJ-T-14	92	634	1004392	NO	N/A	PM
BJ-T-15	110	758	16725	SI	N/A	PM
BJ-T-16	105	724	61639	SI	N/A	PM
BJ-T-17	100	690	57809	SI	N/A	PM
BJ-T-18	95	655	56262	SI	N/A	PM
BJ-L-1	95	655	84463	NO	N/A	PM
BJ-L-2	85	586	119419	NO	N/A	PM
WJ-T-1	90	621	55812	SI	HAZ	TW, SR
WJ-T-2	90	621	24750	SI	HAZ	TW, SR
D1	60	414	68378	SI	Ret-HAZ	TW, SR
D11	40	276	137990	SI	WELD	LW, SR
D12	30	207	308996	SI	WELD	LW, SR
D13	35	241	643145	SI	Ret-HAZ	TW, SR

FIG. 23

2400



ID MUESTRA	TENSION OBJETIVO (ksi)	TENSION OBJETIVO (MPa)	CICLOS HASTA FRACTURA	ROTURA	FRACTUR A: LADO DE AVANCE O LADO DE RETROCESO?	PROCESO UTILIZADO
D14	45	310	192482	SI	Ret-HAZ	TW, SR
D15	95	655	9802	SI	Ret-HAZ	TW, SR
D16	75	517	28921	SI	WELD	TW, SR
D17	31	214	1385053	NO		TW, SR
D18	40	276	1205385	NO		LW, SR
D19	95	655	108059	SI		LW, SR, M
D21	90	621	79105	SI	BASE	TW, SR, M
D22	100	690	100807	SI	HAZ	TW, SR, M
D23	85	586	174685	SI	BASE	TW, SR, M
D24	75	517	163625	SI	HAZ	TW, SR, M
D25	70	483	1047424	NO	N/A	TW, SR, M
D26	72	496	254238	SI	HAZ	TW, SR, M
D27	115	793	11599	SI	Adv-HAZ	TW
D28	95	655	21145	SI	Adv-HAZ	TW
D29	90	621	19844	SI	Ret-HAZ	TW
D30	90	621	19662	SI	Adv-HAZ	TW
D31	70	483	37349	SI	Ret-HAZ	TW
D32	85	586	20593	SI	Adv-HAZ	TW
D33	75	517	41033	SI	Adv-HAZ	TW
D34	65	448	35708	SI	Ret-HAZ	TW
D35	55	379	61934	SI	Ret-HAZ	TW
D36	45	310	163937	SI	Ret-HAZ	TW
D37	35	241	466701	SI	Ret-HAZ	TW

FIG. 24

2500



ID MUESTRA	TENSION OBJETIVO (ksi)	TENSION OBJETIVO (MPa)	CICLOS HASTA FRACTURA	ROTURA	FRACTURA: LADO DE AVANCE O LADO RETROCESO?	PROCESO UTILIZADO
D38	30	207	1003523	NO		TW
D39	32	221	613580	SI	Ret-HAZ	TW
D40	31	214	656288	SI	Ret-HAZ	TW
D64	80	552	142279	SI	Ret-HAZ	TW, SR, M
D65	95	655	27070	SI	Ret-HAZ	TW, SR, M
D66	98	636	34222	SI	Ret-HAZ	TW, SR, M
D67	71	490	1203927	NO		TW, SR, M
D68	72	496	1080864	NO		TW, SR, M
D69	74	510	1204715	NO		TW, SR, M
D70	75	517	1005651	NO		TW, SR, M
D74	90	621	89818	SI	WELD	TW, SR, LPB
D75	80	552	223724	SI	BASE	TW, SR, LPB
D76	75	517	376391	SI	WELD	TW, SR, LPB
D77	70	483	684889	SI	GRIP	TW, SR, LPB
D78	75	517	371021	SI	WELD	TW, SR, LPB
D79	78	469	1204425	NO		TW, SR, LPB
D80	79	496	1203123	NO		TW, SR, LPB
D83	95	655	142550	CRACK		TW, SR, M, LPB
D84	85	586	247942	SI	HAZ	TW, SR, M, LPB
D85	90	621	107163	SI	HAZ	TW, SR, M, LPB
D86	82	565	1204330	NO		TW, SR, M, LPB
D87	84	579	425892	SI	BASE	TW, SR, M, LPB

FIG. 25