

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 545 742**

51 Int. Cl.:

F16B 1/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.11.2010 E 10779164 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.06.2015 EP 2510245**

54 Título: **Elemento de fijación autoexpandible**

30 Prioridad:

07.12.2009 US 632604

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

15.09.2015

73 Titular/es:

**THE BOEING COMPANY (100.0%)
100 North Riverside Plaza
Chicago, IL 60606-2016, US**

72 Inventor/es:

**KIRKWOOD, BRAD L;
FIRTH, LEE C;
WIDDLE, RICHARD D y
CROW, WESLEY B**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 545 742 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

Elemento de fijación autoexpandible

5 **ANTECEDENTES**

La materia descrita en la presente memoria se refiere a elementos de fijación. Más en particular, la descripción se refiere a un elemento de fijación autoexpandible, a un método de utilización de un elemento de fijación autoexpandible y a conjuntos estructurales que comprenden elementos de fijación autoexpandibles.

10 La conformación de estructuras para vehículos tales como aviones, cohetes, vehículos a motor o barcos presenta la necesidad de unir dos o más componentes estructurales. Por ejemplo, el revestimiento del ala de un avión necesita ser unido a un larguero o a una costilla, el revestimiento del fuselaje a un armazón o a un larguero/elemento longitudinal, o un revestimiento a otra sección de revestimiento por medio de una unión de empalme por superposición. Se pueden utilizar diferentes tipos de elementos de fijación para unir tales componentes.

15 Los elementos de fijación a los que se hace referencia como elementos de fijación de Clase I en la industria aeroespacial proporcionan una eficaz transferencia de carga por esfuerzo cortante por medio del contacto del elemento de fijación mecánico con los componentes estructurales que constituyen la unión. Muchas estructuras aeroespaciales utilizan elementos de fijación de Clase I, los cuales tienen diámetros que miden aproximadamente 20 0,00762 cm (0,003") menos que el tamaño del orificio. Un elemento de fijación de Clase I tiene una unión ajustada del elemento de fijación a su orificio, reduce la tensión de contacto de Hertz en el apoyo con la pared lateral del orificio y no crea una situación de ajuste por presión del elemento de fijación con el orificio, facilitando la inserción del elemento de fijación.

25 Los elementos de fijación que no crean una situación de ajuste por presión no rellenan por completo el orificio del elemento de fijación, dando lugar a un orificio sin llenar que tiene una concentración de tensiones en el borde del orificio, lo cual, a su vez, reduce la resistencia a la fatiga de una estructura. La concentración de tensiones en un orificio sin llenar significa que una estructura hecha de una aleación como, por ejemplo, una Ti-6Al-4V, una aleación de titanio común, comenzará a deformarse plásticamente en el borde del orificio a un nivel de tensión de sólo 275,79 30 MPa (40 Ksi), en comparación con el límite elástico normal de esta aleación de 827,37 MPa (120 Ksi), que es la tensión a la que la fluencia o deformación plástica empezaría a ocurrir en una estructura que no tuviera un orificio.

A los elementos de fijación que tienen un vástago que es más grande que el tamaño del orificio o los orificios dentro de los cuales se ajusta el elemento de fijación se les denomina comúnmente como elementos de fijación de ajuste 35 por presión. Los elementos de fijación de ajuste por presión tienen una ventaja sobre las uniones con elemento de fijación de Clase I en el hecho de que no generan ningún elevador de tensión perturbador en los componentes estructurales que están siendo unidos, dando lugar a una resistencia a la fatiga prolongada. Sin embargo, no se utilizan con frecuencia debido a que normalmente se requiere una inserción en frío especializada para ajustar el elemento de fijación en el orificio.

40 La solicitud de patente de Alemania n° 10 2005 053 987 A1 describe un elemento de fijación, que comprende un elemento hecho de una aleación con memoria de forma. Este elemento se puede transformar de un primer estado a un segundo estado por medio de activación térmica. El calentamiento del elemento convierte la martensita en austenita, dando lugar de esta manera a la transformación de estado. La transformación de estado genera una 45 contracción longitudinal y/o una expansión en otras direcciones del elemento. Al enfriar el elemento, la austenita se convierte de nuevo en martensita, devolviendo de esta forma el elemento a su primer estado.

La patente de EE.UU. n° 5.120.175 describe un elemento de fijación, que comprende un vástago alargado fabricado de una aleación con memoria de forma, una cabeza en el extremo superior del vástago y un segmento anular en el 50 extremo inferior del vástago. El segmento anular tiene una forma en sección transversal deformada, adecuada para su inserción dentro de una abertura que se extiende a través de las piezas de trabajo adyacentes. El segmento anular se dilata radialmente desde la forma deformada hasta una forma adecuada cuando se calienta por encima de una temperatura crítica de transformación. Debido a que la forma adecuada es mayor que la abertura de las piezas de trabajo, el elemento de fijación queda asegurado en su posición con respecto a las piezas de trabajo.

55 Por tanto, se pueden generar uniones más robustas y más ligeras, con mayores resistencias a la fatiga por medio de cualquier elemento de fijación que pueda rellenar un orificio de elemento de fijación para así eliminar el efecto de concentración de tensiones en el orificio. Además, el elemento de fijación se debe insertar con facilidad dentro del orificio y debe generar unas tensiones residuales de compresión sobre la superficie del orificio para aumentar la 60 resistencia a la fatiga de la estructura.

COMPENDIO

65 En diferentes aspectos, se proporcionan elementos de fijación autoexpandibles, métodos para la utilización de tales elementos de fijación y estructuras que incorporan tales elementos de fijación. En un aspecto, se proporciona un método para unir una primera estructura a una segunda estructura. En una realización, el método comprende alinear

un primer orificio de la primera estructura con un segundo orificio de la segunda estructura e insertar un elemento de fijación dentro del primer orificio y del segundo orificio. El elemento de fijación comprende una aleación con memoria de forma que fue conformada en un primer momento según una primera forma que tiene un diámetro ligeramente mayor que un diámetro del primer y del segundo orificio de la unión cuando la aleación con memoria de forma se encontraba en su fase de austenita de temperatura más elevada. Este elemento de fijación se conforma a una segunda forma que tiene un diámetro menor que el diámetro del primer y del segundo orificio de la unión cuando la aleación con memoria de forma se encuentra en la fase de martensita de temperatura más baja. El método comprende además insertar el elemento de fijación a una temperatura cuando el elemento de fijación se encuentra en el estado de fase martensítica y, o bien calentar el elemento de fijación, o permitirle que se caliente hasta la temperatura ambiente, en la cual se encuentra por encima de su temperatura de comienzo de la transición a austenita. Durante el calentamiento, el elemento de fijación inicia una expansión libre desde la segunda forma hasta la primera forma y establece contacto físico de presión con la superficie del primer y del segundo orificio. La continuación del calentamiento del elemento de fijación a lo largo del rango de temperaturas que va desde el comienzo de la austenita hasta la finalización de la austenita y más allá, permite que el elemento de fijación inicie en primer lugar la deformación plástica de los componentes estructurales que está uniendo y, finalmente, que se deforme plásticamente él mismo.

En otro aspecto, se proporciona un conjunto estructural. En una realización, el conjunto estructural comprende un primer componente estructural que comprende un primer orificio que tiene un primer diámetro y un segundo componente estructural que comprende un segundo orificio que tiene un segundo diámetro, ambos orificios tienen aproximadamente diámetros iguales. El conjunto estructural comprende además un elemento de fijación dimensionado para acoplarse en el primer orificio y en el segundo orificio. El elemento de fijación comprende una aleación con memoria de forma que fue conformada y tratada térmicamente según una primera forma que tiene un diámetro ligeramente mayor que un diámetro del primer orificio y del segundo orificio, cuando la aleación con memoria de forma se encontraba en una fase austenítica (temperatura elevada). Este elemento de fijación fue reducido posteriormente a una segunda forma que tiene un diámetro menor que el diámetro del primer orificio y del segundo orificio, cuando la aleación con memoria de forma se encontraba en una fase martensítica (temperatura baja). Después de la inserción del elemento de fijación, el elemento de fijación se calienta por encima de una temperatura de comienzo de la transición a austenita, de manera que el elemento de fijación inicia una expansión libre desde la segunda forma hasta la primera forma. Durante la expansión, el elemento de fijación de nitinol establece contacto físico con la superficie del primer orificio y del segundo orificio, y durante el calentamiento adicional, la expansión restringida del elemento de fijación de nitinol hace que la primera estructura y la segunda estructura aproximen los orificios, y que posteriormente el propio elemento de fijación experimente una deformación plástica.

En otro aspecto más, se proporciona un elemento de fijación para fijar una primera estructura que comprende un primer orificio que tiene un primer diámetro a una segunda estructura que comprende un segundo orificio que tiene un segundo diámetro, aproximadamente igual al primer diámetro. En una realización, el elemento de fijación comprende un cuerpo dimensionado para acoplarse en el primer orificio y en el segundo orificio. El cuerpo del elemento de fijación comprende una aleación con memoria de forma que fue conformada según una primera forma que tiene un diámetro ligeramente mayor que un diámetro del primer orificio y del segundo orificio cuando la aleación con memoria de forma se encontraba en una fase de austenita de temperatura elevada, y fue reducida a una segunda forma que tiene un diámetro menor que el diámetro del primer orificio y del segundo orificio cuando la aleación con memoria de forma se encontraba en la fase de martensita de temperatura más baja. Después de la inserción en los dos orificios, el cuerpo del elemento de fijación se calienta por encima de una temperatura de comienzo de la transición a austenita, de manera que el cuerpo inicia una expansión libre desde la segunda forma hasta la primera forma y establece contacto físico con la superficie del primer orificio y del segundo orificio, y durante el calentamiento adicional, la primera estructura y la segunda estructura aproximan los orificios y el propio cuerpo del elemento de fijación experimenta una deformación plástica.

Las características, funciones y ventajas analizadas en la presente memoria se pueden lograr de forma independiente en diferentes realizaciones descritas en la presente memoria, o se pueden combinar en otras realizaciones más, cuyos detalles adicionales se pueden ver haciendo referencia a la siguiente descripción y dibujos.

55 BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La descripción detallada se describe haciendo referencia a las figuras que se acompañan.

La figura 1 es un diagrama de flujo que ilustra las etapas de un método para formar un elemento de fijación, de acuerdo a las realizaciones.

La figura 2 es un diagrama de flujo que ilustra las etapas de un método para unir dos o más estructuras, de acuerdo a las realizaciones.

La figura 3 es un diagrama de fases que ilustra una transformación de la estructura de un elemento de fijación autoexpandible, de acuerdo a las realizaciones.

Las figuras 4A y 4B son representaciones en sección transversal de un conjunto estructural y un elemento de fijación, de acuerdo a las realizaciones.

Las figuras 5A y 5B son representaciones en sección transversal de un conjunto estructural y un elemento de fijación, de acuerdo a las realizaciones.

Las figuras 6A y 6B son representaciones en sección transversal de un conjunto estructural y un elemento de fijación, de acuerdo a las realizaciones.

5 La figura 7 es una representación en sección transversal de un conjunto estructural y un elemento de fijación, de acuerdo a las realizaciones.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

10 En la siguiente descripción, se describen numerosos detalles particulares para proporcionar un conocimiento profundo de diferentes realizaciones. Sin embargo, se comprenderá por los expertos en la técnica que se pueden llevar a cabo diferentes realizaciones sin los detalles particulares. En otros casos, no se han ilustrado o descrito en detalle métodos, procedimientos y componentes bien conocidos con objeto de no privar de claridad a las realizaciones particulares.

15 En la presente memoria se describen realizaciones de un elemento de fijación autoexpandible, métodos para la utilización del mismo y conjuntos estructurales que incorporan elementos de fijación autoexpandibles. En las realizaciones, un elemento de fijación como el que se describe en la presente memoria se puede utilizar para mantener unidas dos o más estructuras y posee la capacidad de expandirse después de la inserción que coloca el elemento de fijación en situación de contacto por presión o en estrecho contacto con las dos estructuras que está uniendo. La expansión del elemento de fijación en los orificios puede endurecer plásticamente la superficie del orificio en la estructura y crear una tensión residual de compresión, que es aproximadamente igual al límite elástico de los materiales de los cuales están formados las estructuras y el elemento de fijación, respectivamente. En funcionamiento, el elemento de fijación se expande para rellenar los orificios de las estructuras y reduce el efecto de concentración de tensiones del orificio. La eliminación de la concentración de tensiones del orificio y la creación de elevadas tensiones residuales de compresión en la interfaz aumenta de forma significativa la resistencia a la fatiga de la estructura. Además, debido a que el elemento de fijación expandible rellena el orificio para mejorar la resistencia a la fatiga de la estructura, no es necesario taladrar orificios de Clase I de elevada tolerancia y muy ajustados para obtener una unión por elemento de fijación de alta calidad.

30 En un aspecto, los elementos de fijación según las realizaciones utilizan el efecto de memoria de forma de ciertas aleaciones metálicas a las que se hace referencia como aleaciones con memoria de forma. En términos generales, las aleaciones con memoria de forma existen en una de las dos estructuras cristalinas, a las que se hace referencia comúnmente como martensita, la fase de baja temperatura, y austenita, la fase de temperatura más alta. A una aleación con memoria de forma se le puede dar forma mientras se encuentra en su fase austenítica a alta temperatura. Cuando se deforma un dispositivo de aleación con memoria de forma mientras éste se encuentra en su fase martensítica a baja temperatura, el dispositivo conservará la forma deformada hasta que se le caliente de nuevo hasta la fase austenítica, después de lo cual recupera su forma original, esto es lo que se conoce como el efecto de memoria de forma.

40 En algunas realizaciones, se puede fabricar un elemento de fijación a partir de una aleación de aleaciones de metal con efecto de memoria de forma, tales como aleaciones basadas en Beta Cu – 40% Zn para estructuras de metal de menor resistencia (es decir, de límite elástico por debajo de 482,63 MPa (70 Ksi)) o a partir de aleaciones de NiTi (conocidas comúnmente como Nitinol) para aleaciones de metal con límites elásticos que oscilan entre 689,48 MPa y 1378,95 MPa (entre 100 Ksi y 200 Ksi). Para cada diseño de unión se puede elegir la aleación y la microestructura específica.

Haciendo referencia ahora a las figuras 1 – 3, en algunas realizaciones el elemento de fijación se puede fabricar calentando en primer lugar la aleación en una herramienta de restricción, de manera que la aleación esté por encima de la temperatura de transición a austenita (etapa 110). Esto se lleva a cabo normalmente mediante el recocido del dispositivo a unas temperaturas entre 500 y 700 °C, por debajo de la transformación orden – desorden en el nitinol. Un experto en la técnica reconocerá que la temperatura de transición austenítica variará en función de la aleación utilizada para fabricar el elemento de fijación, por ejemplo, las aleaciones de nitinol que son ricas en níquel o que tienen cobalto o hierro sustituido por níquel en la química de la aleación tendrán unas temperaturas de transición austenítica por debajo de la temperatura ambiente.

55 Haciendo referencia a la figura 1, en la etapa 115 el elemento de fijación se conforma según una primera forma cuando la aleación se encuentra en su estado austenítico. La forma particular del elemento de fijación no es crítica. A continuación se proporcionan diferentes realizaciones de formas de elementos de fijación, haciendo referencia a las figuras 4 – 6. El “reloj de arena” no cilíndrico ilustrado en las figuras 6A – 6B tiene la capacidad de expandirse por completo dentro de componentes estructurales que se estén uniendo en la proximidad de sus superficies. Esta forma tiene la capacidad de aplicar una fuerza de cierre en la unión y es capaz de oponerse a su extracción de la estructura y es capaz de funcionar como un elemento de fijación sin cabeza, haciendo de él el remache de “cabeza a ras” ideal para utilizar el concepto de elemento de fijación de nitinol expandible.

En la etapa 120 el elemento de fijación se enfría por debajo de su temperatura de transición a martensita. En algunas realizaciones, esto se puede llevar a cabo mediante el enfriamiento del elemento de fijación de una forma lenta y bajo control para dar lugar a grandes tamaños diferentes de martensita a lo largo del cuerpo del elemento de fijación. Enfríar el elemento de fijación de una forma lenta y bajo control regula el límite elástico del elemento de fijación de memoria martensítica, de manera que se deformará después de que se deformen en primer lugar los componentes estructurales que él está uniendo durante el calentamiento que ocurre después de la inserción del elemento de fijación. Esto hace posible que el elemento de fijación se expanda, deforme los orificios y se deforme a sí mismo, de manera que el elemento de fijación de nitinol no se separará de la unión por presión si la estructura se enfría a continuación por debajo de la temperatura de comienzo martensítico del elemento de fijación de aleación con memoria martensítica. Los elementos de fijación de aleación con memoria martensítica que tienen un límite de alargamiento plástico mayor que la resistencia a la rotura de uno o ambos de los componentes estructurales que se están uniendo se pueden utilizar todavía si la temperatura de comienzo de la transformación martensítica del material elegido para el elemento de fijación es menor que la menor temperatura posible de utilización de la estructura. Esto se debe a que el elemento de fijación no se deformará después de la inserción y el calentamiento, "bloqueándolo" dentro de la estructura. En otras realizaciones, el elemento de fijación se puede enfriar por medio de un enfriamiento brusco o temple del elemento de fijación en un líquido de enfriamiento para enfriar de forma rápida el elemento de fijación y así dar lugar a tamaños pequeños variables en la estructura de grano de martensita para conseguir un elevado límite elástico para la unión de estructuras fabricadas a partir de aleaciones de níquel de elevada resistencia, aceros inoxidable PH (endurecidos por precipitación, PH, precipitation hardening, por sus siglas en inglés) endurecidos por envejecimiento o aleaciones de titanio beta o aceros para herramientas templados y revenidos con límites elásticos de más de 1.034,21 MPa (150 Ksi).

Después de que el elemento de fijación se ha enfriado hasta la fase martensita, por debajo de la temperatura de finalización de la transformación martensítica, el elemento de fijación se puede deformar (etapa 125) para reducir su diámetro. En algunas realizaciones, el elemento de fijación se puede estampar para reducir su diámetro en una cantidad que varía desde el dos por ciento (2%) hasta el diez por ciento (10%) en el nitinol. Después de que el elemento de fijación ha sido estampado, el elemento de fijación se puede mantener a temperaturas por debajo de la temperatura de comienzo de la transformación austenítica hasta que el elemento de fijación se inserte dentro del orificio durante el montaje. La temperatura de comienzo de la transformación austenítica de algunas aleaciones con memoria de forma está por encima de las temperaturas ambientales en una cantidad que varía aproximadamente desde 90 grados Celsius hasta 100 grados Celsius. Por tanto, el elemento de fijación se puede empaquetar, enviar y desplazar de cualquier otra forma en su fase martensítica.

La figura 2 es un diagrama de flujo que ilustra las etapas de un método para la unión de dos o más estructuras, según las realizaciones. Las etapas de la figura 2 se explicarán haciendo referencia a un solo orificio. Un experto en la técnica admitirá que la mayor parte de las etapas de unión utilizan múltiples elementos de unión en múltiples orificios cuando se unen dos o más componentes estructurales. Por tanto, en la práctica, ciertas etapas de la figura 2 se repetirán en múltiples orificios. Haciendo referencia ahora a la figura 2, en la etapa 210 los orificios de las estructuras que han de ser unidos se alinean a lo largo de un eje común. En la etapa 215, el elemento de fijación se inserta dentro de los orificios de dos componentes estructurales.

En la etapa 220, el elemento de fijación se calienta a lo largo de una fase de expansión libre en la cual no hay ningún contacto físico entre el elemento de fijación y las superficies interiores de los orificios dentro de los cuales se coloca el elemento de fijación. En algunas realizaciones, el calentamiento puede tener lugar por medio de la inserción de una aleación con memoria martensítica de transformación subambiental a una temperatura subambiental y permitiéndole que se caliente de forma natural por medio del contacto con los componentes estructurales, o por medio de la inserción de una aleación con memoria martensítica con una transformación por encima de las temperaturas ambiente y utilizando un calentamiento eléctrico resistivo para calentar el elemento de fijación a lo largo de su rango de temperaturas de transformación. Haciendo referencia a la figura 3, esta etapa se ilustra por la flecha 310 en el diagrama. Durante esta fase de la etapa de calentamiento, el elemento de fijación cruza la temperatura de comienzo de la transición a austenita (As), haciendo que el elemento de fijación comience a transformarse en austenita y a expandirse a su forma inicial más grande. A medida que el elemento de fijación experimenta la expansión libre, todavía no ha hecho contacto con la superficie del orificio y la tensión de compresión sobre el elemento de fijación permanece en cero.

En la etapa 225, el elemento de fijación continúa siendo calentado a lo largo de la transformación austenítica y el crecimiento del elemento de fijación ha dado lugar a un contacto entre el elemento de fijación y las superficies interiores de los orificios dentro de los cuales se coloca el elemento de fijación. Un calentamiento adicional del elemento de fijación en esta disposición de expansión restringida no hará que éste se expanda más, pero en lugar de ello aumentará la tensión de compresión entre el elemento de fijación y la superficie del orificio. Haciendo referencia a la figura 3, el momento del inicio de la expansión restringida se ilustra por la flecha 312 en el diagrama de los orificios.

En la etapa 230, el elemento de fijación se calienta suficientemente para estar por encima del límite elástico de los componentes estructurales, para así inducir una deformación plástica en la superficie del orificio de las estructuras

que están siendo unidas. Haciendo referencia a la figura 3, este evento se ilustra por la flecha 314 en el diagrama. Este límite elástico se indica en el diagrama por medio de la línea 316. A medida que el elemento de fijación intenta continuar expandiéndose, el material alrededor del orificio de las estructuras que están siendo unidas experimenta una deformación plástica adicional, aumentando la resistencia del material por trabajo en frío.

En la etapa 235, el elemento de fijación se calienta para inducir una deformación plástica en el elemento de fijación. Haciendo referencia a la figura 3, este evento se ilustra por la flecha 318 en el diagrama. Este evento comienza cuando la tensión de compresión entre el elemento de fijación y el orificio alcanza el límite elástico del material de memoria martensítica a partir del cual se fabrica el elemento de fijación. Este límite elástico se indica en el diagrama por medio de la línea 318. A medida que el elemento de fijación intenta continuar expandiéndose, el elemento de fijación y la estructura experimentan una deformación plástica adicional, aumentando la resistencia de ambos componentes en la interfaz de su contacto.

Por tanto, las etapas de la figura 2 ilustran el calentamiento de una memoria de forma a través de cuatro fases distintas: una fase de expansión libre, una fase de expansión restringida, una fase en la cual se induce una deformación plástica en la interfaz de los materiales estructurales que están siendo unidos y una fase en la cual se induce una deformación plástica en el elemento de fijación. La deformación plástica de la estructura de martensita sin transformar de la aleación con memoria martensítica del elemento de fijación impide toda transformación adicional del elemento de fijación martensítico a austenita, bloqueando de forma eficaz al elemento de fijación en el orificio. La deformación plástica del elemento de fijación evita que la naturaleza reversible de la transformación termoelástica de la aleación con memoria martensítica tenga lugar. En otras palabras, la deformación plástica del elemento de fijación bloquea de forma eficaz al elemento de fijación en su estado actual, de manera que el elemento de fijación no se contraerá y desprenderá del orificio si es enfriado posteriormente hasta una temperatura por debajo de la temperatura de comienzo de la transformación martensítica. El “bloqueo” por deformación plástica hace posible que se utilicen aleaciones de memoria martensítica cuyas temperaturas de transformación tienen el valor de la temperatura ambiente o valores por encima de ella. Al deformar el vástago en el orificio, el límite elástico del elemento de fijación se incrementa además hasta un nivel que es igual al del material estructural que está uniendo. Esta deformación aumenta la resistencia a la cizalladura del elemento de fijación, de manera que éste puede transmitir más carga de esfuerzo cortante entre las estructuras en el apilado de las uniones.

En la práctica, la composición de las aleaciones de las cuales se componen el elemento de fijación y las estructuras se puede seleccionar de tal manera que el límite elástico de las estructuras sea ligeramente inferior al límite elástico del elemento de fijación, como se ilustra en la figura 3. En una realización, el elemento de fijación se elabora a partir de una aleación de Nitinol en la cual la estructura martensítica comienza a deformarse plásticamente a un nivel de tensión que es del 5% al 10% (~ 34,47 a 68,98 MPa (~ 5 a 10 Ksi)) superior al límite elástico del material estructural que está uniendo, de manera que se deformará plásticamente después de endurecer el orificio.

Además, la cantidad de expansión y la cantidad de deformación que ocurre dentro de la estructura está determinada por la cantidad de estampado en frío hecho sobre el elemento de fijación. Una deformación mayor durante la operación de estampado da lugar a una zona de deformación plástica más grande y a más deformación alrededor del orificio. En la práctica, el límite superior de tal deformación es aproximadamente del 8% al 10% en el nitinol, menos en las aleaciones de latón beta.

La deformación plástica de la estructura martensítica sin transformar del vástago de aleación con memoria martensítica o de Nitinol impedirá toda transformación adicional en el elemento de fijación, anillo o remache martensítico y “bloqueará” al elemento de fijación dentro del orificio. Al deformar el vástago en el orificio, el límite elástico del elemento de fijación se incrementa hasta un nivel que es igual al del material estructural que está uniendo. Esta deformación aumenta la resistencia a la cizalladura del elemento de fijación, de manera que éste puede transmitir más carga de esfuerzo cortante entre las láminas en el apilado de las uniones.

Como se ha descrito anteriormente, la forma particular del elemento de fijación no es crítica, aunque algunas formas, tal como la de “reloj de arena”, proporcionan beneficios adicionales como se indicó anteriormente. Las figuras 4A - 4B, 5A - 5B y 6A - 6B son vistas en sección transversal de un conjunto estructural y elementos de fijación, según las realizaciones. Haciendo referencia en primer lugar a la figura 4A, en una realización se puede utilizar un elemento de fijación 420 para fijar una primera estructura 410 a una segunda estructura 415. La figura 4A representa al elemento de fijación 420 en su estado martensítico, en el que el elemento de fijación es más pequeño que el orificio del hueco de las estructuras 410, 415. El elemento de fijación 420 comprende una cabeza 422 y un vástago 424. Una vez que el elemento de fijación está colocado en el orificio, el elemento de fijación se puede calentar, como se ha descrito anteriormente haciendo referencia a la figura 2. Como consecuencia, el elemento de fijación se expande y se bloquea dentro del orificio, tal y como se ilustra en la figura 4B.

Haciendo referencia ahora a la figura 5A, en una realización se puede utilizar un elemento de fijación 520 para fijar una primera estructura 510 a una segunda estructura 515. La figura 5A representa al elemento de fijación 520 en su estado martensítico, en el que el elemento de fijación es más pequeño que el orificio del hueco de las estructuras 510, 515. El elemento de fijación comprende un cuerpo con forma de reloj de arena y un primer anillo de bloqueo

522 y un segundo anillo de bloqueo 524. Nuevamente, una vez que el elemento de fijación 520 está colocado en el orificio, el elemento de fijación 520 se puede calentar, como se ha descrito anteriormente haciendo referencia a la figura 2. Como consecuencia, el elemento de fijación se expande y se bloquea dentro del orificio, tal y como se ilustra en la figura 5B. Una ventaja asociada a la utilización de los anillos de bloqueo 522, 524 es que se pueden emplear dos aleaciones de memoria martensítica diferentes con temperaturas de transformación diferentes y/o límites de alargamiento plástico o cantidades de deformación diferentes para una unión apilada estructural de dos materiales, de manera que cada anillo está optimizado para cada material de la unión. Por ejemplo, el anillo de bloqueo de un elemento de fijación que une una estructura compuesta de grafito polimérico con una estructura de titanio tendría menos expansión en la transformación que el anillo de bloqueo utilizado en el lado de titanio de la unión para únicamente "rellenar" el orificio y así eliminar la concentración de tensiones originadas junto al orificio, pero no para deformar el compuesto polimérico (como el anillo de bloqueo del titanio) porque ello daría lugar a la aparición de grietas.

Las figuras 6A y 6B son vistas en sección transversal de un conjunto estructural y un elemento de fijación, según las realizaciones. Haciendo referencia en primer lugar a la figura 6A, en una realización se puede utilizar un elemento de fijación 620 para fijar una primera estructura 610 a una segunda estructura 615. La figura 6A representa al elemento de fijación 620 en su estado martensítico, en el que el elemento de fijación es más pequeño que el orificio de las estructuras 610, 615. El elemento de fijación 620 comprende una cabeza 622 y un vástago 624. Una vez que el elemento de fijación 620 está colocado en el orificio, el elemento de fijación se puede calentar, como se ha descrito anteriormente haciendo referencia a la figura 2. Como consecuencia, el elemento de fijación 620 se expande y se bloquea dentro del orificio, tal y como se ilustra en la figura 6B.

El mecanismo particular por medio del cual el elemento o los elementos de fijación se calientan no es crítico. En algunas realizaciones, el elemento o los elementos de fijación se pueden colocar en sus respectivos orificios y se puede calentar toda la estructura. En otras realizaciones, el elemento o los elementos de fijación se pueden calentar por medio de la aplicación de una fuente externa de calor al elemento o elementos de fijación. En otras realizaciones, puede ser beneficioso elegir una aleación con memoria martensítica para el elemento de fijación cuyas temperaturas de transformación sean subambientales, de manera que no se necesite ningún calentamiento del elemento de fijación para hacer que se transforme, el flujo natural de calor que fluye desde la estructura a temperatura ambiente hasta el elemento de fijación frío llevará a cabo esa tarea. Haciendo referencia ahora a la figura 7, en otras realizaciones, el elemento o los elementos de fijación 720 pueden comprender un orificio taladrado por dentro del vástago 724 del elemento o elementos de fijación para la recepción de un elemento de calentamiento 726. El elemento de calentamiento 726 se puede realizar como un elemento de calentamiento por resistencia eléctrica o similar. Cuando se activa el elemento de calentamiento 726, se calienta el elemento de fijación 720, lo cual da lugar a que el elemento de fijación 720 se expanda como se ha descrito anteriormente, uniéndose de esta manera la primera estructura 710 con la segunda estructura 715.

La referencia en la memoria a "una realización" o "algunas realizaciones" quiere decir que una característica, estructura, o elemento particular descrito en conjunción con la realización se incluye en al menos una realización. Las apariciones de la expresión "en una realización" en diferentes lugares de esta memoria pueden referirse todas a la misma realización o no.

A pesar de que las realizaciones se han descrito en un lenguaje específico de las características técnicas y/o etapas metodológicas, se debe entender que la materia que se reivindica no se puede limitar a las características o etapas particulares descritas. En su lugar, las características y etapas particulares están descritas como formas a modo de ejemplo de implementar la materia que se reivindica.

REIVINDICACIONES

1. Un método para unir una primera estructura (410; 510; 610; 710) a una segunda estructura (415; 615; 715), que comprende:

5
 10
 15
 20

alinear un primer orificio de la primera estructura (410; 510; 610; 710) con un segundo orificio de la segunda estructura (415; 615; 715);
 insertar un elemento de fijación (420; 520; 620; 720) dentro del primer orificio y del segundo orificio, en el que el elemento de fijación (420; 520; 620; 720) comprende una aleación con memoria de forma que fue conformada según una primera forma que tiene un diámetro ligeramente mayor que un diámetro del primer orificio y del segundo orificio cuando la aleación con memoria de forma se encontraba en un estado austenítico, y fue reducida a una segunda forma que tiene un diámetro menor que el diámetro del primer orificio y del segundo orificio cuando la aleación con memoria de forma se encontraba en un estado martensítico;
 calentar el elemento de fijación (420; 520; 620; 720) por encima de una temperatura de comienzo de la transición a austenita, de manera que el elemento de fijación (420; 520; 620; 720) inicia una expansión libre desde la segunda forma hasta la primera forma y establece contacto físico con la superficie del primer orificio y del segundo orificio;
 continuar calentando el elemento de fijación (420; 520; 620; 720), de manera que la primera estructura (410; 510; 610; 710) y la segunda estructura (415; 615; 715) aproximan los orificios y el elemento de fijación experimenta una deformación plástica.

25

2. El método de la reivindicación 1, en el que el elemento de fijación (420; 520; 620; 720) se estampa en frío para reducir el diámetro del elemento de fijación (420; 520; 620; 720) en una cantidad que varía entre el dos por ciento (2%) y el diez por ciento (10%) en el nitinol.

30

3. El método de la reivindicación 1 ó 2, en el que el elemento de fijación (420; 520; 620; 720) se fabrica a partir de una aleación con memoria de forma que tiene una temperatura de finalización de la transformación austenítica que está aproximadamente de 50 grados a 70 grados por debajo de la temperatura ambiente.

35

4. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que el elemento de fijación (420; 520; 620; 720) se fabrica a partir de una aleación con memoria de forma que comienza a deformarse plásticamente a un nivel de tensión que es del 5% al 10% superior al límite elástico de la primera estructura (410; 510; 610; 710) y de la segunda estructura (415; 615; 715), de manera que el elemento de fijación se deforma plásticamente después de que la primera estructura (410; 510; 610; 710) y la segunda estructura (415; 615; 715) se deformen plásticamente.

40

5. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que:

el elemento de fijación (420; 520; 620; 720) comprende un orificio para la recepción de un elemento de calentamiento (726); y
 el calentamiento del elemento de fijación (420; 520; 620; 720) comprende la inserción de un elemento de calentamiento (726) dentro del orificio.

45

6. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que el elemento de fijación (420; 520; 620; 720) es monolítico y comprende una cabeza (422; 622) y un vástago (424; 624; 724).

50

7. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que el elemento de fijación (420; 520; 620; 720) comprende un cuerpo, preferiblemente con forma de reloj de arena, y anillos opuestos adaptados para acoplarse en los extremos opuestos del elemento de fijación.

55

60

65

8. Un conjunto estructural, que comprende:

una primera estructura (410; 510; 610; 710) que comprende un primer orificio que tiene un primer diámetro;
 una segunda estructura (415; 615; 715) que comprende un segundo orificio que tiene un segundo diámetro, aproximadamente igual al primer diámetro;
 un elemento de fijación (420; 520; 620; 720) dimensionado para acoplarse en el primer orificio y en el segundo orificio, en el que el elemento de fijación (420; 520; 620; 720) comprende una aleación con memoria de forma que fue conformada según una primera forma que tiene un diámetro ligeramente mayor que un diámetro del primer orificio y del segundo orificio cuando la aleación con memoria de forma se encontraba en un estado austenítico, y fue reducida a una segunda forma que tiene un diámetro menor que el diámetro del primer orificio y del segundo orificio cuando la aleación con memoria de forma se encontraba en un estado martensítico;
 en el que el elemento de fijación (420; 520; 620; 720) se calienta por encima de una temperatura de comienzo de la transición a austenita, de manera que el elemento de fijación (420; 520; 620; 720) inicia una expansión libre desde la segunda forma hasta la primera forma y establece contacto físico con la superficie del primer

orificio y del segundo orificio; y se continúa calentando, de manera que la primera estructura (410; 510; 610; 710) y la segunda estructura (415; 615; 715) aproximan los orificios y el elemento de fijación experimenta una deformación plástica.

5 9. Un elemento de fijación (420; 520; 620; 720) para fijar una primera estructura (410; 510; 610; 710) que comprende un primer orificio a una segunda estructura (415; 615; 715) que comprende un segundo orificio, comprendiendo el elemento de fijación:

10 un cuerpo dimensionado para acoplarse en el primer orificio y en el segundo orificio, en el que el cuerpo comprende una aleación con memoria de forma que fue conformada según una primera forma que tiene un diámetro ligeramente mayor que un diámetro del primer orificio y del segundo orificio cuando la aleación con memoria de forma se encontraba en un estado austenítico, y fue reducida a una segunda forma que tiene un diámetro menor que el diámetro del primer orificio y del segundo orificio cuando la aleación con memoria de forma se encontraba en un estado martensítico;

15 en el que el cuerpo se calienta por encima de una temperatura de comienzo de la transición a austenita, de manera que el cuerpo inicia una expansión libre desde la segunda forma hasta la primera forma y establece contacto físico con la superficie del primer orificio y del segundo orificio; y se continúa calentando, de manera que la primera estructura y la segunda estructura aproximan los orificios y el cuerpo experimenta una deformación plástica.

20

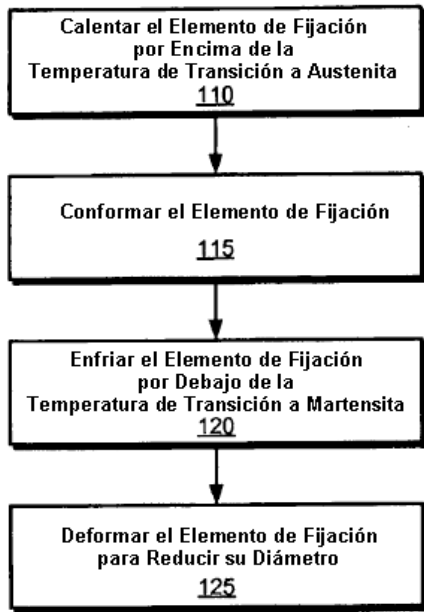


FIG. 1

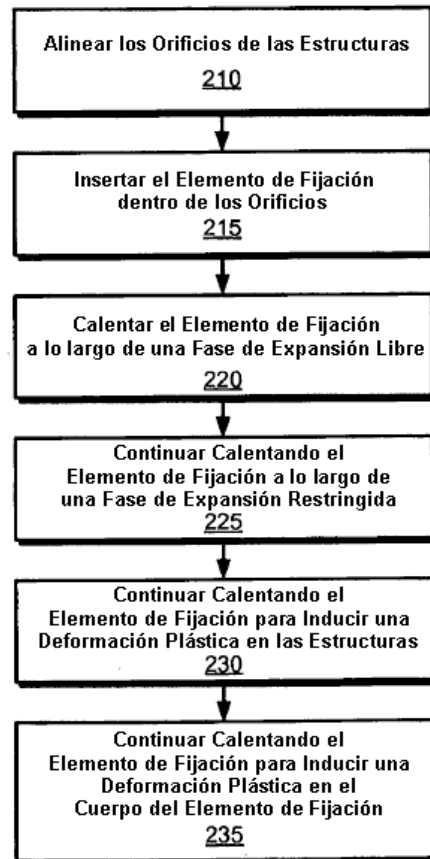


FIG. 2

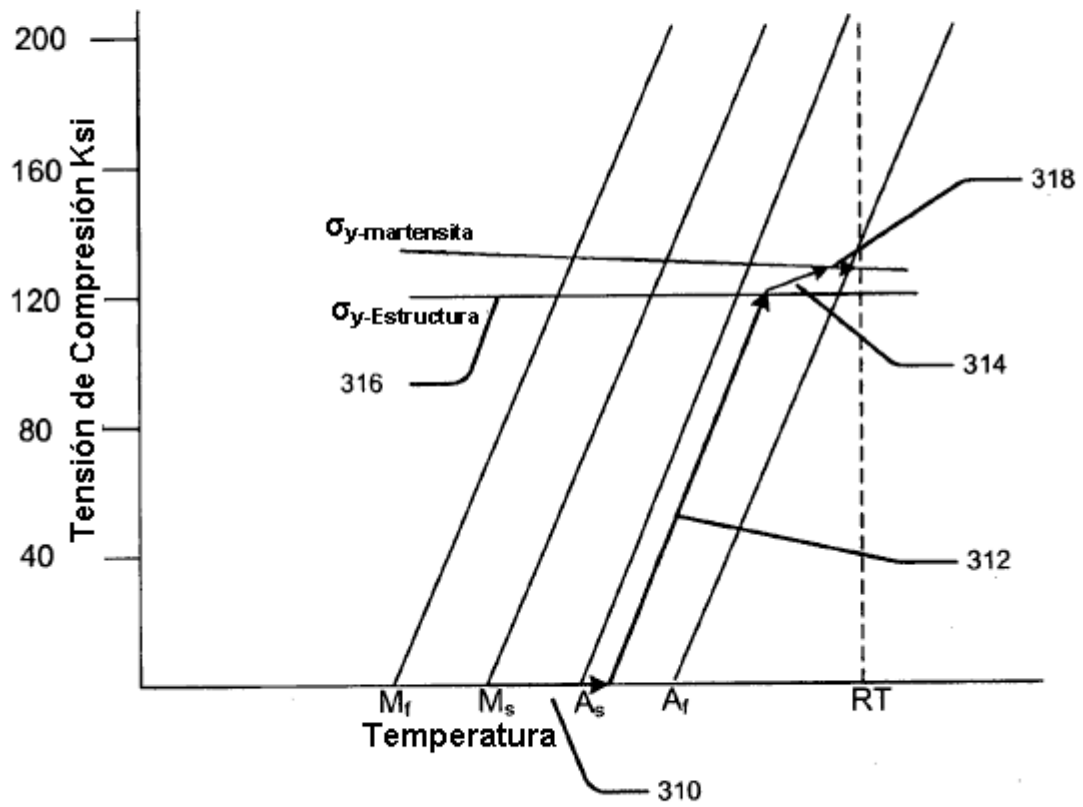


FIG. 3

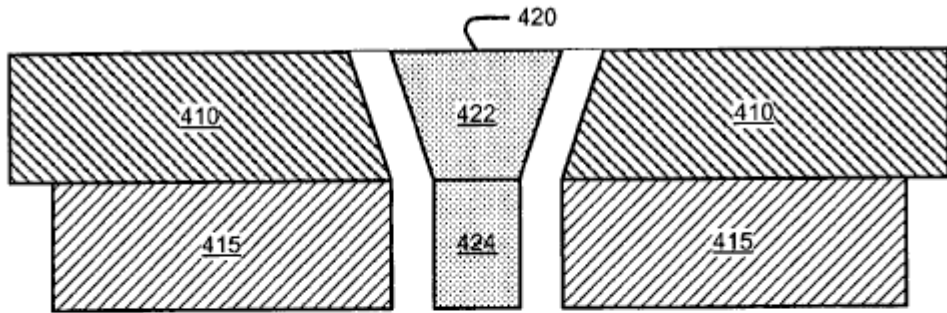


FIG. 4A

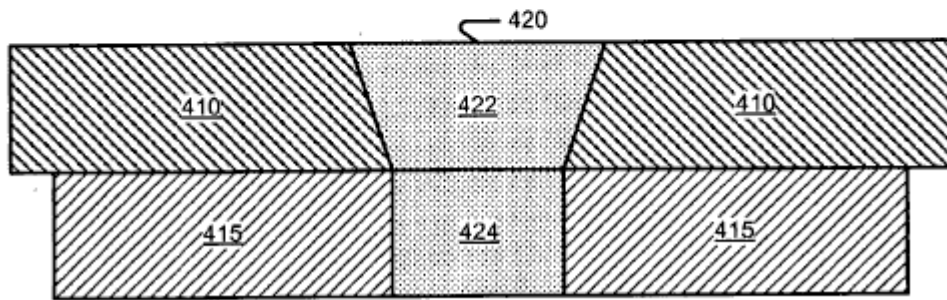


FIG. 4B

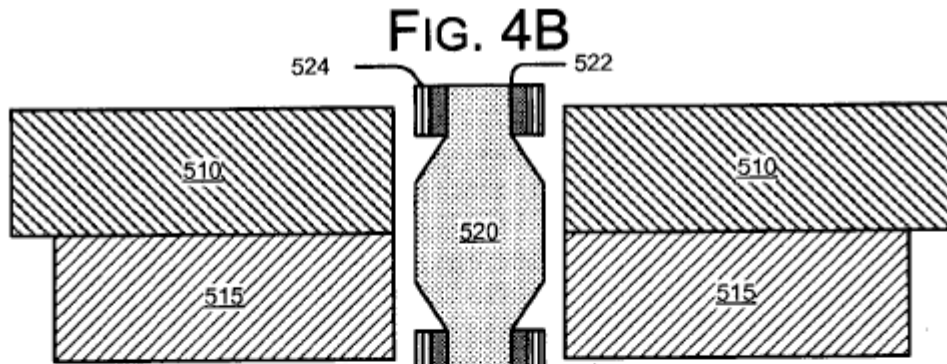


FIG. 5A

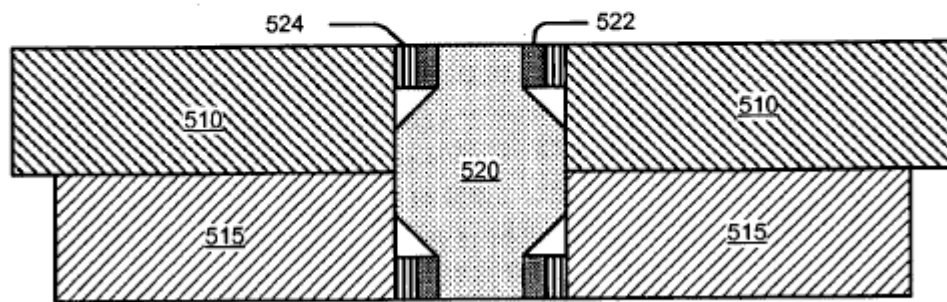


FIG. 5B

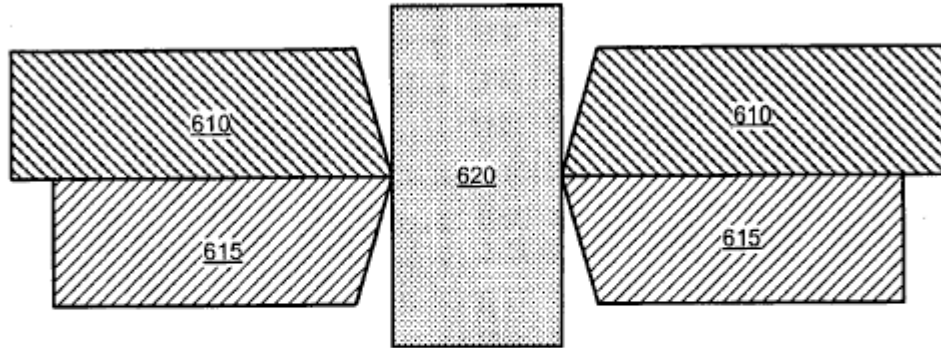


FIG. 6A

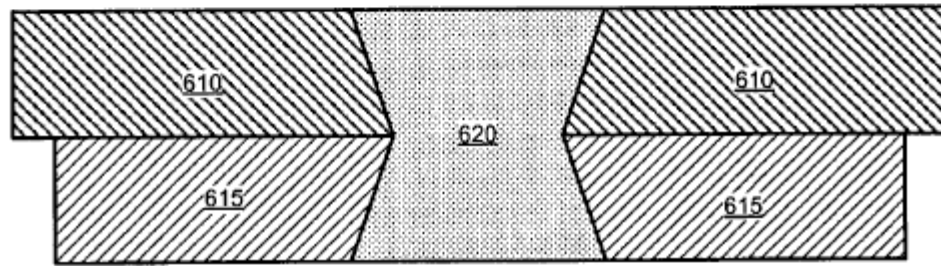


FIG. 6B

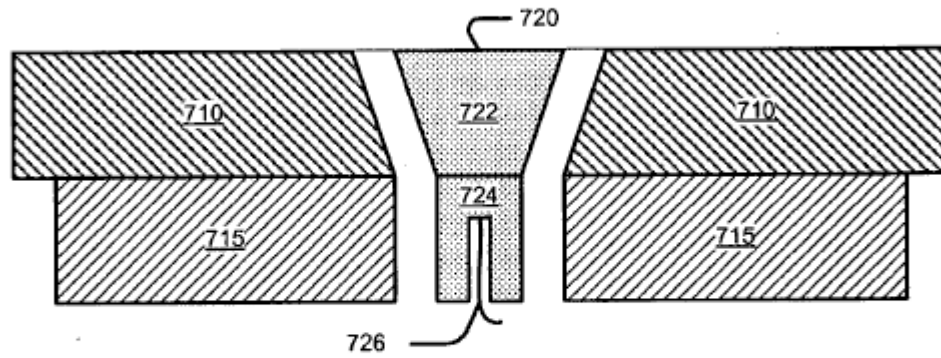


FIG. 7