

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 771 482**

51 Int. Cl.:

B21D 5/01 (2006.01)

B21D 51/10 (2006.01)

B21D 5/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **13.12.2011 PCT/JP2011/079273**

87 Fecha y número de publicación internacional: **21.06.2012 WO12081717**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.12.2011 E 11849189 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.01.2020 EP 2638982**

54 Título: **Método de diseño de material para un procedimiento de conformación de cilindro**

30 Prioridad:

14.12.2010 JP 2010277923

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

06.07.2020

73 Titular/es:

**JFE STEEL CORPORATION (100.0%)
2-3, Uchisaiwai-cho 2-chome, Chiyoda-ku
Tokyo, 100-0011, JP**

72 Inventor/es:

**SUTO, MIKITO;
KOJIMA, KATSUMI;
NAKAGAWA, YUSUKE;
TADA, MASAKI y
TOBIYAMA, YOICHI**

74 Agente/Representante:

FÚSTER OLAGUIBEL, Gustavo Nicolás

ES 2 771 482 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

Método de diseño de material para un procedimiento de conformación de cilindro

5 Campo técnico

La presente invención se refiere a un método de conformación de cilindro según el preámbulo según la reivindicación 1. Un método de este tipo se divulga por ejemplo en el documento JP-A-2004261845. Con este método es posible seleccionar un material metálico en el que un ángulo de retorno elástico en la conformación de cilindro puede controlarse para un valor especificado y para obtener un producto conformado realizando una conformación de cilindro.

Antecedentes de la técnica

15 Un producto conformado de manera cilíndrica que se fabrica realizando una conformación de cilindro en la que un material metálico se conforma realizando conformación por flexión (a continuación en el presente documento, denominada conformación de cilindro) se usa para un depósito de alimento, un producto sanitario, un depósito metálico, una parte de un equipo y así sucesivamente. Por ejemplo, en el caso de una lata de tres piezas que consiste en un extremo, un cuerpo y un extremo de base, se usa para el cuerpo un producto de cilindro conformado realizando una conformación de cilindro.

En general, el retorno elástico se produce debido a la recuperación elástica cuando un material metálico (una lámina metálica) se somete a una conformación de cilindro y luego se descarga, lo que da como resultado un cambio en la forma del cilindro. Por tanto, cuando se realiza una conformación de cilindro, es necesario determinar las condiciones bajo las que se realiza la conformación de cilindro considerando con antelación el retorno elástico.

A día de hoy, hay una tendencia de requerir una reducción del grosor (a continuación en el presente documento, también denominada reducción de grosor) de un material metálico con el propósito de reducir el coste de material. Sin embargo, hay un problema en que la reducción de grosor provoca un aumento en un ángulo de retorno elástico, lo que hace imposible lograr una forma especificada de un cilindro, es decir, un ancho de solape especificado. En la presente memoria, se define un ángulo de retorno elástico en función de una cantidad de cambio en un ángulo de flexión desde el estado cargado hasta el estado descargado en conformación por flexión. Además, se define un ancho de solape, como se ilustra en la figura 1, de la siguiente manera en función de una distancia entre un borde y otro de la lámina metálica que se realiza con la forma de un cilindro realizando una conformación de cilindro: un ancho de solape tiene un valor de 0 en el caso en el que ambos bordes hacen tope entre sí, un valor positivo en el caso en el que ambos bordes están separados por un hueco y un valor negativo en el caso en el que ambos bordes se solapan entre sí.

Dado que un cambio en ancho de solape debido a una reducción de grosor dificulta los procedimientos subsiguientes (tal como un procedimiento en el que una lámina metálica se introduce en el cuerpo de una lata de tres piezas soldando los bordes de la lámina metálica), es necesario impedir un cambio en el ancho de solape debido a la reducción de grosor. Por tanto, en el caso en el que se sustituye un material metálico grueso por un material metálico delgado en un procedimiento de conformación de cilindro, es necesario reajustar las condiciones de conformación o remodelar un aparato de conformación, lo que es un obstáculo para la mejora de la productividad y la reducción de coste.

Por tanto, si puede diseñarse un material metálico de modo que puede obtenerse una forma especificada de un cilindro (ancho de solape) incluso si el grosor del material se reduce, no es necesario reajustar las condiciones de conformación o remodelar un aparato de conformación. Es decir, es necesario diseñar un material metálico con el que un ángulo de retorno elástico equivalente a aquel de un material metálico antes de que se cambie el grosor puede obtenerse incluso después de que el grosor se haya cambiado.

Por otro lado, se supone que un material que se usa para la conformación es un sólido elástico-perfectamente plástico que no muestra un comportamiento de endurecimiento mecánico, puede calcularse teóricamente un ángulo de retorno elástico mediante la siguiente ecuación (2) (véase bibliografía no de patentes 1):

$$\Delta\theta/\theta = 3(YP \cdot r) / (E \cdot t) - 4 [(YP \cdot r) / (E \cdot t)]^3 \dots (2),$$

en la que $\Delta\theta$: ángulo de retorno elástico (grados), θ : ángulo de flexión (grados), r: radio de curvatura de flexión (mm), t: grosor (mm), YP: límite elástico (MPa) y E: módulo de Young (MPa).

Por tanto, es apropiado diseñar un material metálico que tiene las propiedades mecánicas requeridas (un módulo de Young y un límite elástico) que se calculan mediante la ecuación (2) según un grosor objetivo y un ángulo de retorno elástico objetivo.

65

Sin embargo, como la bibliografía no de patentes 2 informa, la ecuación teórica (2) no necesariamente replica de manera correcta los descubrimientos experimentales. Además, aunque la bibliografía no de patentes 2 propone una ecuación empírica relativa a una lámina de acero inoxidable, dado que el material metálico objetivo se limita a una lámina de acero inoxidable, no puede decirse que es adecuada para una amplia variedad de materiales metálicos y sigue existiendo un problema desde el punto de vista de la versatilidad.

Lista de referencias

[NPL 1] Baba y Hashida: Tetsu-to-Hagané (The bulletin of The Iron and Steel Institute of Japan), vol. 49(3) (1963), p. 507.

[NPL 2] Sugimoto, Hukui, Mitsui, Watanabe y Nakamura: Tetsu-to-Hagané, vol. 66 (1980), S 976.

Sumario de la invención

Problema técnico

La presente invención se ha completado en vista de la situación descrita anteriormente. Los inventores descubrieron un nuevo método para calcular un ángulo de retorno elástico que se produce cuando materiales metálicos que tienen una amplia variedad de propiedades mecánicas y grosores se conforman realizando conformación de cilindro, y un objetivo de la presente invención es proporcionar un método para diseñar un material metálico que tiene una calidad de material (propiedades mecánicas) con la que un ángulo de retorno elástico especificado puede lograrse usando este método de cálculo y un producto conformado que se fabrica realizando una conformación de cilindro a partir del material metálico que se diseña usando el método de diseño.

Solución al problema

El objetivo anterior se logra mediante un método de conformación de cilindro según las características de la reivindicación 1. Se divulgan aspectos preferidos del método en las reivindicaciones dependientes.

Efectos ventajosos de la invención

Según la presente invención, un material metálico con el que puede controlarse un ángulo de retorno elástico para un valor especificado puede diseñarse fácilmente y hay una gran contribución a la mejora de productividad y la reducción de coste de un procedimiento de conformación de cilindro.

Breve descripción de los dibujos

[Figura 1] La figura 1 es un diagrama esquemático que ilustra un ancho de solape.

[Figura 2] La figura 2 es un diagrama que ilustra la relación entre $\Delta\theta/\theta$ y $(YP \cdot r)/(E \cdot t)$.

Descripción de las realizaciones

En el caso en el que materiales metálicos que tienen las mismas propiedades mecánicas y diferentes grosores se someten a una conformación de cilindro bajo las mismas condiciones, los ángulos de retorno elástico de los materiales varían entre sí dependiendo de los grosores y por tanto es difícil lograr un ancho de solape especificado (la forma de un cilindro). Por tanto, en el caso en el que se realiza una conformación de cilindro en un centro de producción práctico, es necesario remodelar el aparato de conformación cada vez que se cambia un grosor o para cambiar las condiciones de conformación según el grosor, lo que dificulta la productividad. Con el propósito de solucionar este problema, se piensa que es efectivo cambiar el material a uno que tiene diferentes propiedades mecánicas dependiendo del grosor. Es decir, en el caso en el que el grosor se cambia de t_1 a t_2 , puede obtenerse un producto conformado sin cambio en el ancho de solape después de que se ha realizado una conformación de cilindro, si se usa un material metálico que tiene propiedades mecánicas con las que se logra un ángulo de retorno elástico equivalente a aquel de un material metálico que tiene un grosor de t_1 .

Con el propósito de realizar esto, es necesario dilucidar la influencia de diversos factores tales como el grosor y las propiedades mecánicas de un material metálico y las condiciones de conformación en un ángulo de retorno elástico. Por tanto, en primer lugar, los presentes inventores llevaron a cabo investigaciones relativas a qué tipos de factores entre los diversos factores tienen una influencia en el ángulo de retorno elástico, y, como resultado, confirmaron que tales tipos de factores son un ángulo de flexión, un radio de curvatura de flexión, un grosor, un límite elástico y un módulo de Young.

En segundo lugar, se obtuvo una ecuación empírica que representa la relación entre un ángulo de retorno elástico y tales tipos de factores evaluando cuantitativamente la influencia de cada uno de los factores observando los ángulos de retorno elástico cuando se realizó una conformación por flexión bajo las condiciones en las que se variaron cada

uno de los factores. Los detalles se describirán a continuación en el presente documento.

Como se ha descrito anteriormente, habitualmente, cuando se descarga un material metálico después de haberse sometido a una conformación por flexión, la forma del material cambia ligeramente respecto a la forma en el estado cargado debido a la recuperación elástica. Este fenómeno se denomina retorno elástico. Se representa un ángulo de retorno elástico $\Delta\theta$ (grados) mediante la ecuación (3) en el caso en el que un ángulo de flexión θ (grados) cambia a θ' (grados) debido al retorno elástico. Además, en una conformación por flexión, la relación representada mediante la ecuación (4) a continuación se obtiene en el caso en el que un radio de curvatura de un plano en el que no hay ningún cambio en la deformación en la dirección circunferencial cambia de r (mm) a r' (mm).

$$\Delta\theta = \theta - \theta' \dots (3)$$

$$\Delta\theta/\theta = (1/r - 1/r')/(1/r) \dots (4)$$

En el caso en el que está el plano en el que no hay ningún cambio en la deformación en la dirección circunferencial en la posición del centro en la dirección de grosor como se indicó anteriormente, la ecuación (5) a continuación cumple en relación con el cambio en la curvatura debido a la descarga usando la ecuación (4).

$$\Delta\theta/\theta = (M \cdot r)/(E \cdot I) \dots (5),$$

en la que M es un momento de flexión ($\text{MPa} \cdot \text{mm}^3$) e I es un momento de inercia de área (mm^4).

Según la teoría de una viga en flexión simple, dado que un momento de flexión se representa mediante la ecuación (6) a continuación, la ecuación (7) se obtiene sustituyendo la ecuación (6) en la ecuación (5) descrita anteriormente. Por otro lado, en el caso en el que se supone que un material metálico es un sólido elástico-perfectamente plástico que no muestra un comportamiento de endurecimiento mecánico, dado que n (coeficiente de endurecimiento mecánico) = 0, la ecuación (2) descrita anteriormente se obtiene a partir de la ecuación (7). Sin embargo, no es razonable suponer que $n = 0$ en un material metálico real y el valor de n varía dependiendo del tipo de material metálico.

[Ecuación 1]

$$M = \frac{EI}{r} \left\{ \frac{3}{2+n} \left(\frac{2r \cdot YP}{Et} \right)^{1-n} - \frac{1-n}{2+n} \left(\frac{2r \cdot YP}{Et} \right)^3 \right\} \dots (6)$$

[Ecuación 2]

$$\frac{\Delta\theta}{\theta} = \frac{3}{2+n} \left(\frac{2r \cdot YP}{E \cdot t} \right)^{1-n} - \frac{1-n}{2+n} \left(\frac{2r \cdot YP}{E \cdot t} \right)^3 \dots (7)$$

Según la bibliografía no de patentes 2 anterior, se descubrió que hay una correlación entre $\Delta\theta/\theta$ y $(YP \cdot r)/(E \cdot t)$ y se obtiene la ecuación (8). Sin embargo, dado que el material metálico objetivo se limita a una lámina de acero inoxidable, el intervalo de un factor con el que se determina $\Delta\theta/\theta$ es estrecho ($0 < (YP \cdot r)/(E \cdot t) \leq 0,11$), que da como resultado una falta de versatilidad.

$$\Delta\theta/\theta = 1,9 [(YP \cdot r)/(E \cdot t)]^{0,62} \dots (8)$$

Por tanto, los presentes inventores observaron un ángulo de retorno elástico realizando realmente una conformación por flexión con una amplia variedad de materiales metálicos (una lámina de aluminio, una lámina de cobre, una lámina de acero inoxidable y una lámina de acero) y condiciones de grosor, en la que el radio de curvatura de flexión estaba en el intervalo de 5 mm o más, el ángulo de flexión estaba en el intervalo de 90 grados o más y 180 grados o menos y el grosor estaba en el intervalo de 0,1 mm o más y 2,0 mm o menos. Esto es porque estos intervalos pueden satisfacer suficientemente los requisitos para un uso práctico de estos materiales en los campos de un depósito de alimento, un producto sanitario, un depósito de metal, una parte de equipo y así sucesivamente, lo que significa que hay versatilidad.

La figura 2 ilustra los resultados de investigación relativos a la relación entre $\Delta\theta/\theta$ y $(YP \cdot r)/(E \cdot t)$. En la figura, O indica el resultado de esta observación. Se obtuvo una ecuación de regresión que replica correctamente estos resultados de observación y se obtuvo la ecuación (1) descrita anteriormente (véase la línea continua en la figura). Esta

ecuación (1) puede aplicarse al intervalo en el que $(YP \cdot r)/(E \cdot t)$ es 0,33 o menos y que es mucho más amplio que el intervalo de aplicación descrito en la bibliografía no de patentes 2. Es decir, esta ecuación (1) puede aplicarse a una amplia variedad de materiales metálicos y, usando esta ecuación, pueden calcularse propiedades mecánicas (YP y E) con las que puede lograrse un ángulo de retorno elástico especificado según un grosor especificado. Luego, es apropiado que se diseñe un material metálico que tiene las propiedades mecánicas calculadas. Además, puede calcularse un grosor con el que puede lograrse un ángulo de retorno elástico especificado para un material metálico que tiene propiedades mecánicas especificadas. Además, es posible calcular un ángulo de retorno elástico a partir de un grosor especificado y propiedades mecánicas especificadas. Por otro lado, en la figura 2, Δ indica los datos observados en la bibliografía no de patentes 2 y las líneas discontinuas indican la ecuación (8) y la ecuación teórica (2).

En el caso en el que se reduce el grosor de un material metálico que va a someterse a una conformación de cilindro, se describirá a continuación en el presente documento un procedimiento en el que se diseña un material metálico de modo que no se cambia un ángulo de retorno elástico (no se cambia un ancho de solape) incluso si se cambia un grosor.

En primer lugar, se observa un ángulo de retorno elástico $\Delta\theta$ antes de que se cambie un grosor. Una probeta que tiene dimensiones aleatorias se somete a una conformación por flexión bajo las condiciones de, por ejemplo, un radio de curvatura de flexión de 12,7 mm y un ángulo de flexión de 180 grados. Luego, se observa un ángulo de flexión θ' de la probeta en el estado descargado y se calcula un ángulo de retorno elástico $\Delta\theta$ usando la ecuación (3) descrita anteriormente. Este procedimiento puede omitirse en el caso en el que un ángulo de retorno elástico $\Delta\theta$ existe como datos almacenados.

Sustituyendo el ángulo de retorno elástico $\Delta\theta$ y el ángulo de flexión θ ($=180^\circ$), obtenidos como se ha descrito anteriormente, en la ecuación (1), se determina el valor que va a tomar la relación de un límite elástico respecto a un módulo de Young (YP/E), dado que ya se conocen un radio de curvatura de flexión r y un grosor t en la parte derecha de la ecuación. Luego, considerando la especificación de un material metálico que va a someterse a una conformación de cilindro, se determinan un límite elástico YP y un módulo de Young E a partir de la YP/E obtenida como se ha descrito anteriormente, y luego se diseña un material metálico que tiene estas propiedades mecánicas. Por otro lado, en el diseño de un material metálico, puede seleccionarse un material metálico que tiene las propiedades mecánicas descritas anteriormente de una base de datos de un material metálico, o puede diseñarse un nuevo material según el YP y el E como índices en el caso en el que la base de datos no pueda encontrarse.

Como otra realización de la presente invención, el caso en el que se cambian las propiedades mecánicas de un material metálico que va a someterse a una conformación de cilindro se describirá a continuación en el presente documento. En primer lugar, un material metálico se somete a una conformación por flexión y se observa un ángulo de retorno elástico antes de que se cambien las propiedades mecánicas del material metálico. Luego, se calcula un grosor t usando la ecuación (1) que usa el ángulo de retorno elástico descrito anteriormente, un límite elástico YP y un módulo de Young E que se especifican con antelación y las condiciones de conformación por flexión (un radio de curvatura de flexión y un ángulo de flexión). El ancho de solape que es el mismo que el del material metálico antes de que se cambien las propiedades mecánicas del material metálico puede lograrse conformando el material metálico que tiene este grosor y estas propiedades mecánicas realizando una conformación de cilindro.

Según la presente invención, como se ha descrito anteriormente, en el caso en el que se cambien propiedades requeridas (un grosor y propiedades mecánicas) de un material metálico, puede lograrse un ancho de solape especificado después de que se haya realizado una conformación de cilindro, en primer lugar dilucidando el ángulo de retorno elástico del material metálico antes del cambio, y luego, determinando las propiedades del material metálico una después de otra bajo condiciones en las que la ecuación (1) se cumple.

Ejemplos

Bajo condiciones en las que se redujo el grosor de un material metálico que iba a someterse a una conformación de cilindro, se diseñó un material metálico con el que puede obtenerse un ancho de solape equivalente al de un material metálico antes de que se redujera el grosor. En primer lugar, en el caso en el que las especificaciones de una lámina de acero antes de que se redujera el grosor eran $t = 0,153$ mm, $YP = 400$ MPa, $E = 206000$ MPa, $\Delta\theta = 96$ grados, $\theta = 180$ grados, $r = 12,7$ mm y el ancho de solape era -10,5 mm o más y -9,0 mm o menos (valor medio: -9,6 mm) y en el que el grosor se redujo a $t = 0,117$ mm, se describirá un ejemplo en el que se investigó la optimización de un límite elástico YP con el propósito de mantener un ángulo de retorno elástico constante. El resultado con el que el objetivo se cumple es un YP de aproximadamente 310 MPa que se obtuvo sustituyendo $\Delta\theta = 96$ grados, $E = 206000$ MPa y $t = 0,117$ mm en la ecuación (1).

Sobre la base de este resultado, se realizaron dos tipos de láminas de acero que tenían un grosor de 0,117 mm y diferentes límites elásticos YP, luego se recortaron 10 probetas de 165,4 mm x 136,5 mm de cada lámina de acero, y luego se realizó una conformación de cilindro bajo las mismas condiciones que antes de que se redujera el grosor. Los resultados de observación de un ancho de solape después de que se había realizado una conformación de cilindro se muestran en la tabla 1. Se decidieron los criterios para juzgar si el producto era satisfactorio o no, en

relación con si se logró el mismo ancho de solape que antes de que se redujera el grosor, de modo que el caso en el que el ancho de solape observado estaba dentro del intervalo de -10% o más y +10% o menos del ancho de solape medio del material antes de que se redujera el grosor se juzgó satisfactorio considerando la variabilidad de un ancho de solape. El valor medio del ancho de solape después de se había realizado una conformación de cilindro en una lámina de acero (n.º 2) que tiene un YP = 300 MPa era -10,5 mm, lo que significa que se logró un ancho de solape equivalente al del material metálico antes de que se redujera el grosor considerando la variabilidad de ancho de solape. Por otro lado, el valor medio del ancho de solape después de que se había realizado una conformación de cilindro en una lámina de acero (n.º 3) que tiene un YP = 362 MPa era +5,0 mm, lo que significa que no se logró un ancho de solape equivalente al del material metálico antes de que se redujera el grosor.

Tabla 1

| n.º | Grosor (mm) | YP (Mpa) | E (Mpa) | r (mm) | θ (grados) | Δθ (grados) | Anchura de envoltura (mm) | Satisfactorio o no | Nota |
|-----|-------------|----------|---------|--------|------------|-------------|---------------------------|--------------------|-----------------------|
| 1 | 0,153 | 400 | 206000 | 12,7 | 180 | 96,0 | -9,6 | - | Material convencional |
| 2 | 0,117 | 300 | 206000 | 12,7 | 180 | 94,5 | -10,5 | O | Ejemplo |
| 3 | 0,117 | 362 | 206000 | 12,7 | 180 | 105,0 | +5,0 | x | Ejemplo comparativo |

En segundo lugar, en el caso en el que las especificaciones de una lámina de acero antes de que se redujera el grosor eran $t = 0,242$ mm, YP = 310 MPa, E = 206000 MPa, $\Delta\theta = 54,3$ grados, $\theta = 180$ grados, $r = 12,7$ mm y el ancho de solape era -12,0 mm o más y -8,0 mm o menos (valor medio: -10,0 mm) y en el que el grosor se redujo a $t = 0,226$ mm, se describirá un ejemplo en el que la optimización de un módulo de Young se investigó con el propósito de mantener un ángulo de retorno elástico constante. El resultado con el que el objetivo se cumple con un E de aproximadamente 230000 MPa se obtuvo sustituyendo $\Delta\theta = 54,3$ grados, YP = 310 MPa o más y 320 MPa o menos y $t = 0,226$ mm en la ecuación (1).

Sobre la base de este resultado, se realizaron dos tipos de láminas de acero que tenían un grosor de 0,226 mm y diferentes módulos de Young E, luego se recortaron 10 probetas de 165,4 mm x 136,5 mm de cada lámina de acero, y luego se realizó una conformación de cilindro bajo las mismas condiciones que antes de que se redujera el grosor. Los resultados de observación de un ancho de solape después de que se había realizado una conformación de cilindro se muestran en la tabla 2. Se decidieron los criterios para juzgar si el producto era satisfactorio o no, en relación con si se consiguió el mismo ancho de solape que antes de que se redujera el grosor, de modo que el caso en el que el ancho de solape observado estaba dentro del intervalo de -10% o más y +10% o menos del ancho de solape medio del material antes de que se redujera el grosor se juzgó satisfactorio considerando la variabilidad de un ancho de solape. El valor medio del ancho de solape después de que se había realizado una conformación de cilindro en una lámina de acero (n.º 2) que tiene un E = 231000 MPa era -10,5 mm, lo que significa que se logró el ancho de solape equivalente al del material metálico después de que se redujera el grosor considerando la variabilidad de ancho de solape. Por otro lado, el valor medio del ancho de solape después de que se había realizado la conformación de cilindro en una lámina de acero (n.º 3) que tiene un E = 214000 MPa era -2,4 mm, lo que significa que no se logró un ancho de solape equivalente al del material metálico antes de que se redujera el grosor.

Tabla 2

| n.º | Grosor (mm) | YP (Mpa) | E (Mpa) | r (mm) | θ (grados) | Δθ (grados) | Anchura de envoltura (mm) | Satisfactorio o no | Nota |
|-----|-------------|----------|---------|--------|------------|-------------|---------------------------|--------------------|-----------------------|
| 1 | 0,242 | 310 | 206000 | 12,7 | 180 | 54,3 | -10,0 | - | Material convencional |
| 2 | 0,226 | 319 | 231000 | 12,7 | 180 | 53,5 | -10,5 | O | Ejemplo |
| 3 | 0,226 | 319 | 214000 | 12,7 | 180 | 57,9 | -2,4 | x | Ejemplo comparativo |

Aunque en los ejemplos descritos anteriormente se describieron los casos en los que se fijó uno de un límite elástico y un módulo de Young y el otro se optimizó con el propósito de reducir un grosor, ambos pueden cambiarse. Además, aunque en los ejemplos descritos anteriormente se describieron los casos en los que se optimizó un límite elástico o un módulo de Young con el propósito de mantener el ángulo de retorno elástico (ancho de solape) sin cambios antes y después de que se redujera un grosor, el ángulo de retorno elástico puede cambiarse a un determinado valor. Además, puede calcularse un ángulo de retorno elástico en el caso en el que se cambia un grosor mientras se mantienen sin cambios un límite elástico y un módulo de Young. Alternativamente, puede

ES 2 771 482 T3

calcularse un grosor con el que puede lograrse un ángulo de retorno elástico especificado mientras se mantienen sin cambios un límite elástico y un módulo de Young.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Método de conformación de cilindro que se realiza bajo condiciones de un radio de curvatura de flexión r de 5 mm o más y un ángulo de flexión θ de 90 grados o más y 180 grados o menos y un valor especificado del ángulo de retorno elástico $\Delta\theta$, que utiliza un material metálico que tiene un límite elástico, un módulo de Young y un grosor, caracterizándose el método por una etapa de selección del material metálico sobre la base de la ecuación (1) a continuación

10
$$\Delta\theta/\theta = -5,52 [(Y_P \cdot r) / (E \cdot t)]^2 + 4,13 (Y_P \cdot r) / (E \cdot t) \dots (1),$$

en la que $\Delta\theta$: ángulo de retorno elástico (grados), θ : ángulo de flexión (grados), Y_P : límite elástico (MPa), E : módulo de Young (MPa), t : grosor (mm), r : radio de curvatura de flexión (mm).

- 15 2. Método según la reivindicación 1, en el que la etapa de selección del material metálico incluye las etapas de i) cambiar el grosor t del material y ii) determinar una relación del límite elástico Y_P y el módulo de Young E del material metálico sobre la base de la ecuación (1) con el ángulo de retorno elástico $\Delta\theta$ observado antes del cambio de grosor y el grosor t después del cambio.

- 20 3. Método según la reivindicación 1, en el que la etapa de selección del material metálico incluye un cambio de material, y la etapa de determinar el grosor del material cambiado sobre la base de la ecuación (1) con el límite elástico Y_P y el módulo de Young E del material después del cambio y el ángulo de retorno elástico $\Delta\theta$ observado antes del cambio.

FIG. 1

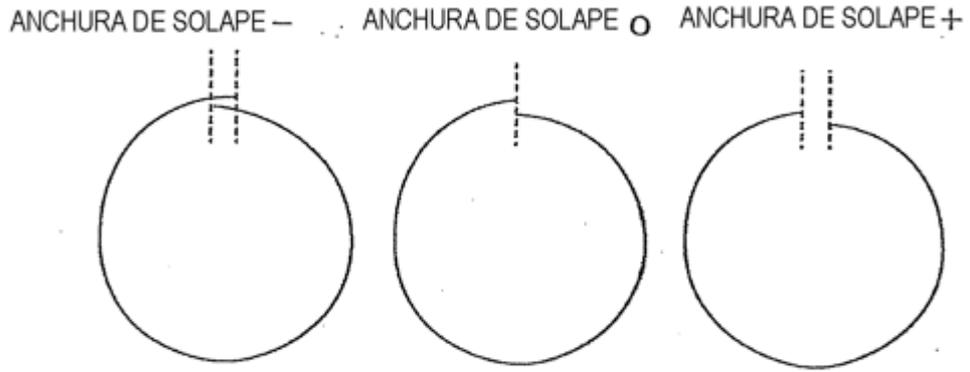


FIG. 2

