



(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 283 847**

(51) Int. Cl.:
C22F 1/00 (2006.01)

(12)

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(86) Número de solicitud europea: **03782491 .9**

(86) Fecha de presentación : **04.12.2003**

(87) Número de publicación de la solicitud: **1567685**

(87) Fecha de publicación de la solicitud: **31.08.2005**

(54) Título: **Relajación de esfuerzos en chapas de aluminio gruesas en la dirección de los bordes.**

(30) Prioridad: **06.12.2002 US 431245 P**

(73) Titular/es: **ALCAN RHENALU**
7, place du Chancelier Adenauer
75116 Paris, FR

(45) Fecha de publicación de la mención BOPI:
01.11.2007

(72) Inventor/es: **Catteau, Frédéric y**
Boselli, Julien

(45) Fecha de la publicación del folleto de la patente:
01.11.2007

(74) Agente: **Gallego Jiménez, José Fernando**

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

Relajación de esfuerzos en chapas de aluminio gruesas en la dirección de los bordes.

5 **Ámbito de la invención**

La presente invención se refiere en general a un método de relajación de esfuerzos en chapas gruesas de aleación de aluminio que presentan importantes propiedades mecánicas, lo cual permite una reducción del nivel de esfuerzos residuales a través del espesor de la chapa, lo cual a su vez reduce la distorsión luego del maquinado.

10 **Descripción de la técnica conexas**

Por lo general, las chapas gruesas se someten a tratamiento térmico a fin de lograr propiedades mecánicas superiores. Entre los procesos de la técnica anterior se encuentra un tratamiento de solubilización a alta temperatura, seguido de un paso de enfriamiento, seguido a su vez de un paso de relajación de esfuerzos. Se sabe que el estiramiento por la dirección más larga de una chapa de aluminio sometida a un recocido de solubilización y templada puede disminuir el esfuerzo residual de tal chapa.

El artículo "Numerical calculation of residual-stress relaxation in quenched plates" (Cálculo numérico de la relajación de esfuerzos residuales en chapas templadas) de J.C. Boyer y M. Boivin (Material Science and Technology, octubre de 1985), volumen 1, pág. 786 - 753) incluye cálculos teóricos que sugieren que la compresión en la dirección del espesor de las chapas templadas de aleación AA7075 podría reducir su esfuerzo residual. Esto se confirma en el artículo "A finite element calculation of residual stresses after quenching and compresión stress relieving of high strength aluminum alloys forgings" (Cálculo por elementos finitos de los esfuerzos residuales luego del temple y relajación de esfuerzos por compresión en piezas forjadas de aleación de aluminio de alta resistencia) de P. Jeanmart, B. Dubost, J. Bouvaist y M.P. Charue (publicado en Conference Residual Stresses in Science and technology, volumen 2, pág. 587 - 594 (DGM 1987)), basado en los resultados experimentales obtenidos en cilindros de ensayo de aleación AA7010, y en el artículo "Relief of residual stress in a high-strength aluminum alloy by cold working" (Relajación de esfuerzos residuales en una aleación de aluminio de alta resistencia mediante trabajo en frío) de Y. Altschuler, T. Kaatz y B. Cina (publicado en "Mechanical Relaxation of Residual Stress", ASTM STP 993, L. Mordfin, Ed., American Society for Testing and Materials, Filadelfia, 1988, pág. 19 - 29) basado en mediciones en muestras comprimidas en la dirección del espesor.

Desde mediados de los años 90, las chapas templadas de aleaciones 7xxx que han sido sometidas a relajación de esfuerzos por compresión en la dirección del espesor (seguida de envejecimiento hasta alcanzar el temple T 7452) están siendo utilizadas para la fabricación de ciertos componentes estructurales de aeronaves (ver el artículo "Residual stress in 7050 aluminum alloy restruck forged block" (Esfuerzo residual en un bloque de aleación de aluminio 7050 forjado y nuevamente estampado) de T. Bains, publicado en las Actas de la Conferencia Internacional sobre Procesamiento y Tecnología de Materiales No Ferrosos, del 10 al 12 marzo de 1997, St. Louis, pág. 233 - 236). Este proceso de compresión en la dirección del espesor ha sido minuciosamente investigado, especialmente con relación a los posteriores tratamientos de envejecimiento hasta el temple T7542. En una reciente publicación titulada "On the residual stress control in aluminum alloy 7050" (Acerca del control de esfuerzos residuales en la aleación de aluminio 7050) de K. Escobar, B. González, J. Ortiz, P. Nguyen, D. Bowden, J. Foyos, J. Ogren, E.W. Lee y O.S. Es-Said (Materials Science Forum, Volúmenes 396-402, pág. 1235 - 1240 (2002)) se ha analizado la influencia de la compresión en la respuesta de una chapa de AA7050 al envejecimiento. De conformidad con el cálculo y las pruebas experimentales de N. Yoshihara y Y. Hino ("Removal technique of residual stress in 7075 aluminum alloy" (Técnica de remoción de esfuerzos residuales en la aleación de aluminio 7075), ICRS Residual Stress III, Science and Technology, Vol. 2, pág. 1140 - 1145 (1992)), la compresión (T7353) es más efectiva para relajar esfuerzos residuales en bloques pequeños de aleación 7075 que el denominado proceso de temple severo (designado T7353).

Las Patentes estadounidenses 6 159 315 y 6 406 567 B1 (ambas cedidas a Corus Aluminum Walzprodukte GmbH) revelan métodos de relajación de esfuerzos en chapas de aleación de aluminio sometidas a un recocido de solubilización y templadas, que incluyen una combinación de un estiramiento mecánico en frío para relajación de esfuerzos y una compresión en frío para relajación de esfuerzos, donde el estiramiento en frío se realiza en la dirección del largo y la compresión en frío se realiza en la dirección del espesor.

Objeto de la invención

De conformidad con la presente invención, se proporcionan métodos para la fabricación de chapas de aleación de aluminio con niveles reducidos de esfuerzo residual, que consisten en: la provisión de una chapa de aleación de aluminio sometida a un recocido de solubilización y templada de un espesor de al menos 5 pulgadas, con un borde más largo y opcionalmente un segundo borde más largo, y la relajación de esfuerzos en la chapa mediante la realización de al menos un paso de compresión con un grado de deformación permanente total de 0,5 a 5% a lo largo del borde más largo o del segundo borde más largo. En el método, la dimensión de la chapa en la cual tiene lugar el paso de compresión es a lo largo del borde más largo o del segundo borde más largo de la chapa, que de preferencia es igual o mayor a dos veces el espesor de la chapa e igual o menor a ocho veces el espesor de la chapa.

También de acuerdo con la presente invención, se proporcionan aleaciones y chapas sometidas a un proceso de relajación de esfuerzos, a las que se provee de propiedades de W_{tot} superiores y también de valores reducidos de esfuerzo residual y heterogeneidad.

En la descripción que se presenta a continuación se establecerán otros objetos, características y ventajas adicionales de la invención que, en parte, resultarán obvios a partir de la descripción o podrán aprenderse a partir de la puesta en práctica de la invención. Los objetos, características y ventajas de la invención podrán ser implementados y obtenidos por medio de los instrumentos y la combinación que se indica en particular en las reivindicaciones anexas.

Breve descripción de los dibujos

Los dibujos adjuntos, que se incorporan a la especificación y forman parte de ella, ilustran una realización actualmente preferida de la invención y son de utilidad para explicar los principios de la invención, junto con la descripción general antes brindada y la descripción detallada de la realización preferida que se brinda a continuación.

La figura 1 muestra un esquema de la relajación de esfuerzos por compresión en el plano L-T en la dirección S. Izquierda: Vista en perspectiva. Derecha: corte transversal que muestra las zonas de penetración.

La figura 2 muestra un estado de esfuerzo residual característico (σ_T en MPa) luego de la relajación de esfuerzos por compresión en el plano L-T en la dirección S (el modelo que se muestra es un cuarto de la chapa real, como consecuencia de las simetrías en las direcciones S y T).

La figura 3 muestra los perfiles de esfuerzo previstos a través del espesor en la dirección T y en la mitad del ancho de la chapa, luego de la relajación de esfuerzos por compresión en el plano L-T y en la dirección S.

La figura 4 muestra perfiles de esfuerzo experimentales a través del espesor en la dirección T, determinados luego de la relajación de esfuerzos por compresión en la dirección S, y evaluados mediante el método que se describe en la presente.

La figura 5 muestra cómo se adosan medidores de deformación en cada lado de la barra.

La figura 6 muestra el corte de la barra en dos mitades y la medición de deformación en cada medidor. La figura 7 muestra el maquinado de las dos medias barras una junto a la otra.

La figura 8 muestra un esquema de la relajación de esfuerzos en la dirección de los bordes.

La figura 9 muestra el estado de esfuerzo residual característico (σ_T en MPa) luego de la relajación de esfuerzos por compresión en el plano S-L en la dirección T (el modelo que se muestra es un cuarto de la chapa real, como consecuencia de las simetrías en las direcciones S y T).

La figura 10 muestra los perfiles de esfuerzo previstos a través del espesor en la dirección T y en la mitad del ancho de la chapa, luego de la relajación de esfuerzos por compresión en el plano S-L y en la dirección T.

La figura 11 muestra perfiles de esfuerzo experimentales a través del espesor en la dirección T, determinados luego de la relajación de esfuerzos por compresión en la dirección de los bordes.

La figura 12 muestra el sistema de notación utilizado en toda la presente especificación.

La figura 13 muestra de manera esquemática un procedimiento adecuado para reunir datos sobre la deformación luego del laminado.

Descripción detallada de la invención

1. Introducción y Problema

Es conveniente que las chapas gruesas hechas de aleaciones de aluminio sometidas a tratamiento térmico, especialmente aquellas de las series 2xxx, 6xxx y 7xxx, presenten un nivel de esfuerzo residual lo más bajo posible, si tales chapas van a ser maquinadas. De lo contrario, durante el maquinado se producirá la deformación de la pieza que se trabaja. El estiramiento y la compresión son medios para reducir los esfuerzos residuales en tales chapas.

Desde el punto de vista industrial, la compresión conforme a los procesos de la técnica anterior puede ser realizada en una prensa grande, utilizando un conjunto de matrices que ejercen presión a lo largo de la dimensión menor (es decir, la dirección S), como se muestra en la figura 1. Las limitaciones de energía determinan que la superficie comprimida sea relativamente pequeña con relación a la superficie total de la chapa, requiriendo entonces una gran cantidad de pasos de compresión sucesivos. A fin de asegurar la máxima relajación de esfuerzos, se incluye una superposición entre cada paso de compresión, para garantizar la deformación plástica en toda la chapa/bloque.

ES 2 283 847 T3

Una de las principales desventajas de este tipo de proceso de la técnica anterior es que genera niveles de esfuerzo residual (o interno) no uniformes y generalmente elevados. Las figuras 2 y 3 ilustran un estado de esfuerzo residual “característico” obtenido mediante simulación numérica luego de la compresión del 2,5% en la dirección S en una chapa de 12” x 47” x 118” (1 pulgada = 25,4 mm.) de aleación de aluminio serie 7xxx. Mediante este proceso de la técnica anterior, tanto en las regiones de superposición como en el centro de la chapa se encuentran altos niveles de esfuerzos residuales.

La figura 4 muestra una prueba experimental del estado de esfuerzo residual en una chapa de 16” x 55” x 64” (1 pulgada = 25,4 mm) hecha de aleación de aluminio 7010 que fue sometida a relajación de esfuerzos en la dirección S. Los perfiles de esfuerzo en todo el espesor se obtuvieron utilizando el método para la determinación de esfuerzo residual que se describe más adelante. Los perfiles se tomaron en diversos lugares en el largo de la chapa. Estos perfiles confirman la heterogeneidad del estado de esfuerzo.

Tales esfuerzos residuales pueden generar fisuras que se inician y propagan durante la misma compresión en frío u otro paso de procesamiento posterior, tal como envejecimiento o acabado. Además, estos altos niveles de esfuerzo residual pueden causar niveles elevados de distorsión y posiblemente fisuras cuando se maquina la chapa/bloque.

2. Descripción de métodos para la evaluación de esfuerzos residuales en chapas gruesas

Los esfuerzos residuales en chapas gruesas pueden evaluarse, por ejemplo, utilizando un método que se describe en “Development of New Alloy for Distortion Free Machined Aluminum Aircraft Components” (Desarrollo de Nueva Aleación para Componentes de Aeronaves de Aluminio Maquinados y sin Distorsión), de F. Heymes, B. Commet, B. Dubost, P. Lassince, P. Lequeu, G.M. Raynaud, en la 1ª Conferencia Internacional sobre Procesamiento y Tecnología de Materiales No Ferrosos, del 10 al 12 marzo de 1997, Hotel Adam’s Mark, St. Louis, Missouri, que se incorpora a la presente como referencia.

Este método se aplica mayormente a chapas estiradas, para las cuales puede considerarse razonablemente que el estado de esfuerzo residual es biaxial, con sus dos componentes principales en las direcciones L y T (es decir, sin esfuerzo residual en la dirección S), y de manera tal que el nivel de esfuerzo residual varía sólo en la dirección S. Este método está basado en la evaluación del esfuerzo residual en la dirección L y la dirección T, según se mide en barras rectangulares de espesor completo, que se cortan de la chapa siguiendo esas direcciones. Estas barras se maquinan en la dirección S paso por paso, y en cada paso se mide la deformación y/o flexión, como asimismo el espesor de la barra maquinada. Una manera de más alta preferencia consiste en medir la deformación utilizando un medidor de deformación unido a la superficie opuesta a la superficie maquinada, en la mitad del largo de la barra. Luego podrán calcularse los dos perfiles de esfuerzo residual en las direcciones L y T.

Este método debe modificarse cuando se trabaja con chapas gruesas (es decir, aquellas de un espesor superior a 5 pulgadas, especialmente aquellas de 5-40 pulgadas) que han sido sometidas a relajación de esfuerzos por compresión en frío, porque el nivel de esfuerzo residual de tales chapas por lo general varía periódicamente en la dirección L. De hecho, de acuerdo con la técnica anterior, la dirección de compresión es por lo general perpendicular al plano L-T, de modo que se necesita una serie de pasos de compresión superpuestos para la relajación de esfuerzos en toda la chapa. Esto hace imposible evaluar con el método antes descrito el nivel de esfuerzo en una barra tomada de una chapa tal en la dirección L. No obstante, sí es posible evaluar el nivel de esfuerzo en una barra de muestra tomada en la dirección T, a condición que el ancho de la barra de muestra sea lo suficientemente pequeño como para permitir la relajación de esfuerzos en las direcciones L y S.

Por consiguiente, el nivel de esfuerzo residual en la chapa forjada puede evaluarse midiendo el nivel de esfuerzo en una barra de espesor completo cortadas en la dirección T de la chapa. La barra tomada en la dirección T se corta tan delgada como sea posible, pero suficientemente grande como para no dificultar el maquinado, es decir de 0,5 a 2,5 pulgadas, de mayor preferencia de 0,9 a 1,5 pulgadas. Un buen término medio es utilizar una barra de aproximadamente 1,2” de ancho. La barra debería ser también de un largo suficiente para evitar todo efecto de borde sobre las mediciones. De mayor preferencia, el largo no debería ser inferior a tres veces el espesor de la chapa.

En el caso de chapas/bloques cuyo espesor es superior a 12”, las variaciones de deformación que resultan del maquinado de las barras de espesor completo pueden ser tan pequeñas que no son registradas por los medidores de deformación. Para resolver este problema, se ideó un método por el cual la barra de espesor completo inicial se corta en dos mitades antes del maquinado. Esto facilita también la manipulación de la barra y reduce el tiempo de maquinado. De acuerdo con un método útil de la presente invención, se colocan dos medidores de deformación unidireccionales con compensación de la dilatación térmica en la mitad del largo de la barra, en caras opuestas de la barra (ver figura 5). Los medidores, una vez acoplados a la superficie siguiendo las instrucciones del proveedor de los medidores, se cubren con un barniz aislante. Luego, el valor de lectura en cada medidor se fija en 0.

Luego se corta la barra en dos mitades, y se calcula la deformación de relajación promedio ε_m promediando las deformaciones medidas en los dos medidores. Luego se maquinan progresivamente las dos medias barras una junto a la otra (ver figuras 6 y 7).

Las mediciones se realizan luego de cada pasada de maquinado, lo cual representa una ventaja. A fin de obtener una cantidad suficiente de puntos como base para el cálculo de esfuerzos, la cantidad de pasadas puede fijarse en

ES 2 283 847 T3

cualquier nivel que se desee, por ejemplo entre 10 y 40, y por lo general entre 18 y 25. A fin de asegurar una buena calidad del maquinado, la profundidad de la pasada de laminado es de preferencia mayor o igual a 0,04", y puede llegar hasta 0,8", lo cual constituye una ventaja.

- 5 Luego de cada pasada de maquinado, cada media barra se desprende de la prensa y se deja transcurrir un tiempo de estabilización antes de realizar la medición de la deformación, de modo tal de permitir una distribución homogénea de la temperatura en la barra luego del maquinado.

10 En cada paso i, se mide el espesor h(i) de cada media barra y la deformación $\varepsilon(i)$ en cada media barra, según indican los medidores después del laminado. La figura 13 muestra de manera esquemática un procedimiento adecuado para reunir estos datos.

Estos datos permiten calcular el perfil de esfuerzos residuales en la barra en forma de $\sigma_{1/2barra}(i)_T$, que corresponde al esfuerzo promedio en la capa retirada durante el paso i, como lo indican las siguientes fórmulas:

15 Para $i=1$ a $N-1$

$$20 \quad \sigma_{1/2barra}(i)_T = -E \frac{(\varepsilon(i+1) - \varepsilon(i))h(i+1)^2}{[h(i) - h(i+1)][3h(i) - h(i+1)]} - S(i)_T$$

con:

$$25 \quad S(i)_T = E \sum_{k=1}^{i-1} (\varepsilon(k+1) - \varepsilon(k)) \left[1 - \frac{3h(k)(h(i) + h(i+1))}{(3h(k) - h(k+1))h(k+1)} \right]$$

30 donde E es el módulo de Young de la chapa metálica.

El esfuerzo residual en la barra completa puede derivarse fácilmente de la tensión residual en cada media barra, utilizando la fórmula siguiente:

$$35 \quad \sigma_{barraT}(i) = \sigma_{1/2barra}(i)_T - \sigma_{f1}(i)$$

40 donde $\sigma_{f1}(i)$ es el esfuerzo de flexión en cada media barra, resultante del equilibrio mecánico.

$\sigma_{f1}(i)$ puede obtenerse, utilizando los principios clásicos de cálculo de vigas, con la hipótesis que la suma de los esfuerzos residuales en todo el espesor en cada media barra es igual a cero antes de cortar. Luego resulta sencillo obtener la siguiente fórmula:

$$45 \quad \sigma_{f1}(i) = E\varepsilon_m [1 - 4(h(i)/h)]$$

50 Por último, puede calcularse la energía elástica almacenada en la barra a partir de los valores de esfuerzo residual, utilizando las siguientes fórmulas:

$$55 \quad W_{barraT}(KJ/m^3) = \frac{500}{Eh} \sum_{i=1}^{N-1} \sigma_{barraT}^2(i)$$

La energía elástica promedio almacenada total W_{tot} , expresada en términos de kJ/m^3 , se define de la manera siguiente:

$$60 \quad W_{tot} = \frac{1}{2} \times \iiint_V \left(\sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \sigma_{ij} \varepsilon_{ij} \right) dV$$

65 donde σ_{ij} es el tensor de esfuerzos, y ε_{ij} el tensor de deformación.

3. Descripción detallada de realizaciones de la invención

Se propone un nuevo método para someter chapas y/o bloques a la relajación de esfuerzos por compresión, que asegure una reducción drástica de los niveles de esfuerzo residual. Los términos “chapa” y “bloque” se utilizan aquí de manera indistinta a fin de referirse a productos que pueden ser tratados por compresión, de conformidad con los métodos de la presente invención. El presente método incluye, entre otras cosas, la compresión de una chapa o bloque de aleación de aluminio, de preferencia con una deformación permanente de 0,5 a 5% en la dirección L o T, o sea prensando a lo largo del borde más largo o del segundo borde más largo de la chapa o bloque, como se muestra en la figura 8. Este método, aquí denominado relajación de esfuerzos en la dirección de los bordes, puede aplicarse a chapas o bloques cuyo espesor es de 5” a 40”, y cuya longitud en la dirección de compresión (carga) es de preferencia igual o mayor a dos veces el espesor de la chapa o bloque y como máximo ocho veces ese espesor. Al reducir de manera significativa el área superficial de la chapa/bloque a ser comprimido, en comparación con la relajación de esfuerzos en la dirección S antes descripta, la cantidad de pasos de compresión y por ende la cantidad de superposiciones se ven ampliamente reducidas (por lo general 2 ó 3 en una prensa de 20.000 toneladas). El rendimiento de la relajación de esfuerzos, medido en términos de la energía elástica almacenada total W_{tot} , es tal que los niveles de W_{tot} después de la compresión son con frecuencia del 50% o menor si se los compara con la relajación de esfuerzos estándar en la dirección transversal corta, utilizando cargas de compresión similares. La compresión se realiza de manera ventajosa a una temperatura inferior a 80°C, y de preferencia inferior a 40°C. En una realización preferida, dicha compresión se realiza en un máximo de tres pasos, con al menos una superposición parcial de las zonas comprimidas.

Las figuras 9 y 10 ilustran un estado de esfuerzo residual “característico” obtenido mediante simulación numérica luego de una compresión en la dirección de los bordes del 2,5% en una chapa de 12” x 47” x 118” hecha de aleación de aluminio serie 7xxx. En comparación con las figuras 5 y 6, puede verse que tanto la heterogeneidad como el nivel promedio del estado de esfuerzo residual se ven drásticamente reducidos.

Puede realizarse otra comparación de niveles de esfuerzo residual en términos del total de energía elástica almacenada promedio (W_{tot}) pronosticada mediante simulación numérica, expresada en términos de kJ/m^3 . Para la misma chapa de 12” de espesor hecha de aleación de aluminio serie 7xxx bajo idéntico grado de compresión del 2,5%, la compresión en la dirección S produjo una W_{tot} de 65 kJ/m^3 , mientras que la compresión en la dirección de los bordes generó una W_{tot} de 14 kJ/m^3 . Los niveles promedio de esfuerzos residuales se vieron por consiguiente reducidos a la cuarta parte.

La figura 11 muestra pruebas de tipo experimental del estado de esfuerzo residual en un bloque de 16” x 45” x 46” hecho de aleación de aluminio 7010 que ha sido sometido a relajación de esfuerzos mediante un método de acuerdo con la presente invención, de manera tal que la dirección de compresión era paralela a la mayor dimensión del bloque. Los perfiles de esfuerzo residual en todo el espesor se vieron reducidos de manera significativa y exhibieron una tendencia a depender en menor medida de la ubicación, en comparación con aquellos observados en bloques sometidos a relajación de esfuerzos mediante un método estándar (ver figura 7) utilizando al menos cuatro pasos de compresión parcialmente superpuestos. También puede efectuarse otra comparación en términos de energía elástica almacenada W_{BarraT} en la dirección que ha sido caracterizada (esto representa sólo una fracción de la energía elástica total pero es un indicador de utilidad a los efectos de la comparación). Los valores de W_{BarraT} obtenidos para los dos perfiles de esfuerzo experimentales que se muestran en la figura 7 fueron 3,5 y 0,37 kJ/m^3 dentro y fuera de la región de superposición, respectivamente.

En comparación, los valores de W_{BarraT} experimentales obtenidos en el mismo bloque sometido a relajación de esfuerzos en un paso de compresión a lo largo de la mayor dimensión del bloque en dos barras de prueba diferentes fueron 0,06 y 0,14 kJ/m^3 respectivamente (ver los perfiles que se muestran en la figura 11). Este resultado confirma la drástica reducción de los niveles de esfuerzos residuales obtenidos por un método de acuerdo con la presente invención.

Un producto preferido de acuerdo con la presente invención es una chapa forjada de aleación de aluminio con un espesor de entre 5 y 40 pulgadas, donde la citada chapa ha sido sometida a un recocido de solubilización, temple y relajación de esfuerzos por compresión con un total de 0,5% a 5% de deformación permanente y una energía elástica almacenada W_{BarraT} en la dirección T inferior a 0,5 kJ/m^3 , y de preferencia menor de 0,3 kJ/m^3 .

Los productos de acuerdo con la presente invención pueden utilizarse para la fabricación de moldes de inyección, tales como moldes para plásticos y caucho, para la fabricación de moldes de soplado y moldes para rotomoldeo, para la fabricación de piezas de trabajo mecánicas maquinadas, como asimismo para elementos estructurales de aeronaves, tales como largueros.

La presente invención resulta particularmente ventajosa para chapas gruesas con una longitud L y un ancho W tal que $L \times W > 1 \text{ m}^2$, o incluso $> 2 \text{ m}^2$. En una realización preferida, dicha chapa gruesa tiene un espesor inferior a 40 pulgadas, y de preferencia comprendida entre 10 y 30 pulgadas. El método de acuerdo con la invención se aplica de manera ventajosa a chapas hechas de una aleación de las series 2xxx, 6xxx o 7xxx. Estas chapas, antes del recocido de solubilización y temple podrían haber sido elaboradas mediante un proceso que incluye laminado y/o forjado.

ES 2 283 847 T3

Otras ventajas, características y modificaciones serán fácilmente observadas por los expertos en la técnica. Por consiguiente, la invención en sus aspectos más generales no está limitada a los detalles específicos y dispositivos representativos que se muestran y describen en la presente.

- 5 Tal como se emplea aquí y en las reivindicaciones siguientes, los artículos tales como “el/la” y “un/una” pueden indicar singular o plural.

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

1. Método para la fabricación de una chapa de aleación de aluminio con un nivel reducido de esfuerzo residual,
5 **caracterizado** por comprender:
 - a) la provisión de una chapa de aleación de aluminio sometida a un recocido de solubilización y templada, con un borde más largo y opcionalmente un segundo borde más largo, y un espesor de al menos 127 mm (5 pulgadas).
 - 10 b) la relajación de esfuerzos en dicha chapa mediante la compresión de la chapa con un grado de deformación permanente total de 0,5 a 5% a lo largo de su borde más largo o de su segundo borde más largo,
donde el borde de la chapa que es comprimida es igual o mayor a dos veces el espesor de esta chapa e igual o menor a ocho veces el espesor de tal chapa.
- 15 2. Método según la reivindicación 1, **caracterizado** porque dicha chapa está hecha de una aleación de las series 2xxx, 6xxx ó 7xxx.
- 20 3. Método según las reivindicaciones 1 o 2, **caracterizado** porque dicha chapa tiene un espesor inferior a 1016 mm (40 pulgadas).
4. Método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado** porque dicha chapa tiene un espesor de entre 254 y 762 mm (10 y 30 pulgadas).
- 25 5. Método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado** porque dicha chapa ha sido elaborada mediante un proceso que incluye laminado y/o forjado, antes del recocido de solubilización y del temple.
6. Método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado** porque dicha compresión se realiza en hasta tres pasos con al menos una superposición parcial de las zonas comprimidas.
- 30 7. Método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado** porque dicha compresión se realiza a una temperatura inferior a 80°C.
8. Método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, **caracterizado** porque dicha compresión se realiza a una temperatura inferior a 40°C.
- 35 9. Producto que consiste en una chapa forjada de aleación de aluminio, con un espesor de entre 127 y 1016 mm (5 y 40 pulgadas), **caracterizado** porque dicha chapa ha sido sometida a un recocido de solubilización, temple y relajación de esfuerzos por compresión con un grado de deformación permanente total de 0,5% a 5%, y una energía elástica almacenada W_{BarraT} en la dirección T inferior a 0,5 kJ/m³.
- 40 10. Producto forjado de aleación de aluminio según la reivindicación 9, **caracterizado** porque dicho producto tiene un largo L y un ancho W tal que $L \times W > 1 \text{ m}^2$.
- 45 11. Producto forjado de aleación de aluminio según las reivindicaciones 9 o 10, **caracterizado** porque dicho producto tiene un largo L y un ancho W tal que $L \times W > 2 \text{ m}^2$.
12. Chapa forjada de aleación de aluminio según cualquiera de las reivindicaciones 9 a 11, **caracterizada** porque la W_{BarraT} es inferior a 0,3 kJ/m³.
- 50 13. Método para someter una chapa de aleación de aluminio a la relajación de esfuerzos, que comprende la compresión de dicha chapa en una dirección predeterminada, **caracterizado** porque el rendimiento de dicha relajación de esfuerzos en términos de energía almacenada total W_{tot} es del 50% o menor luego de la citada compresión, en comparación con la relajación de esfuerzos estándar en la dirección transversal corta.
- 55 14. Uso de una chapa forjada de aleación de aluminio según cualquiera de las reivindicaciones 9 a 12 para la fabricación de piezas de trabajo maquinadas.
15. Uso de una chapa forjada de aleación de aluminio según cualquiera de las reivindicaciones 9 a 12 para la fabricación de moldes de inyección.
- 60 16. Uso de una chapa forjada de aleación de aluminio según cualquiera de las reivindicaciones 9 a 12 para la fabricación de elementos estructurales para aeronaves.
17. Uso de una chapa forjada de aleación de aluminio según cualquiera de las reivindicaciones 9 a 12 para la fabricación de largueros para aeronaves.
- 65

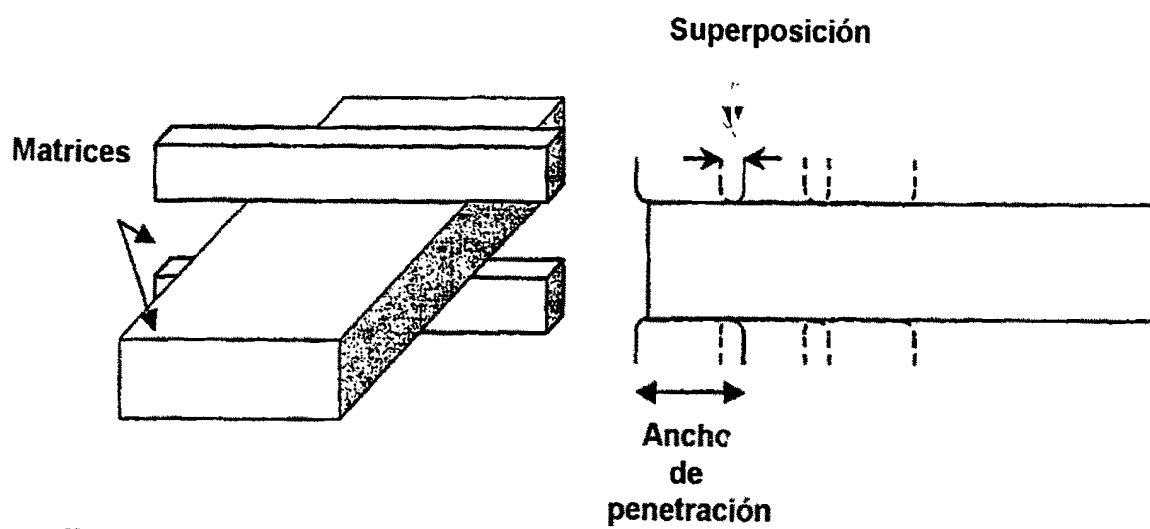


Figura 1

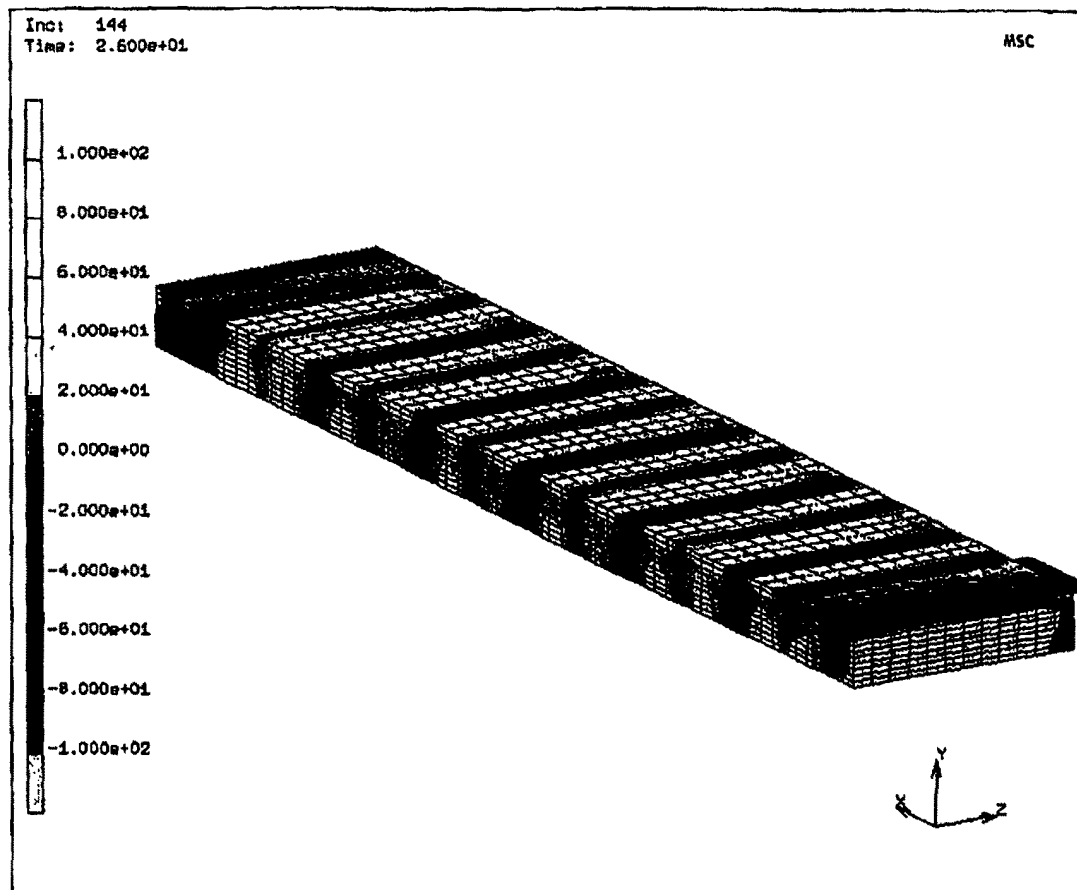


Figura 2

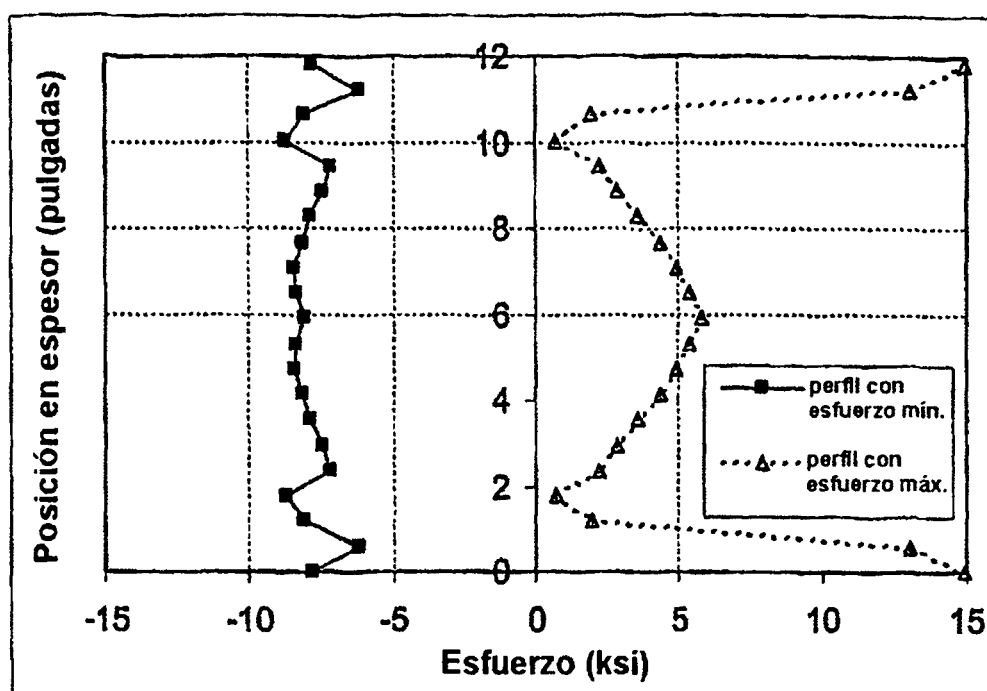


Figura 3

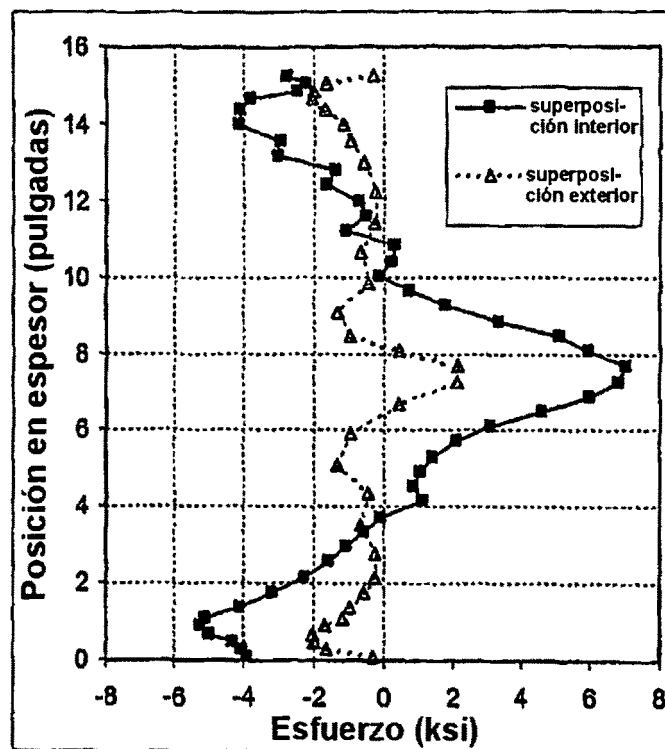


Figura 4

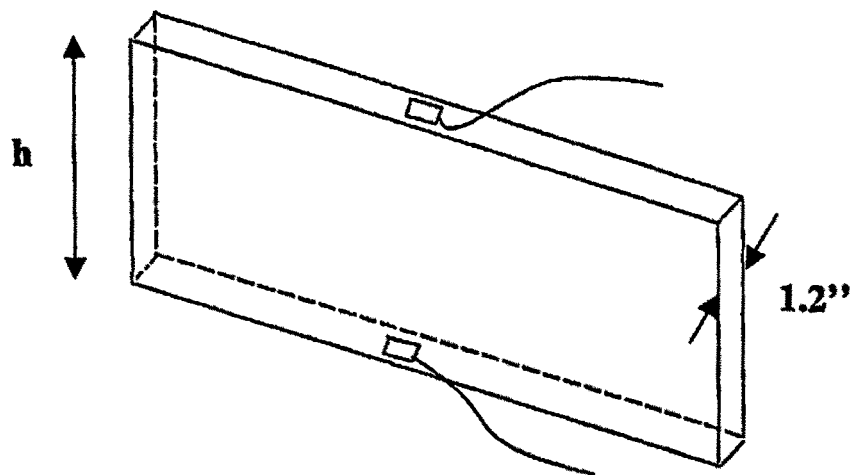


Figura 5

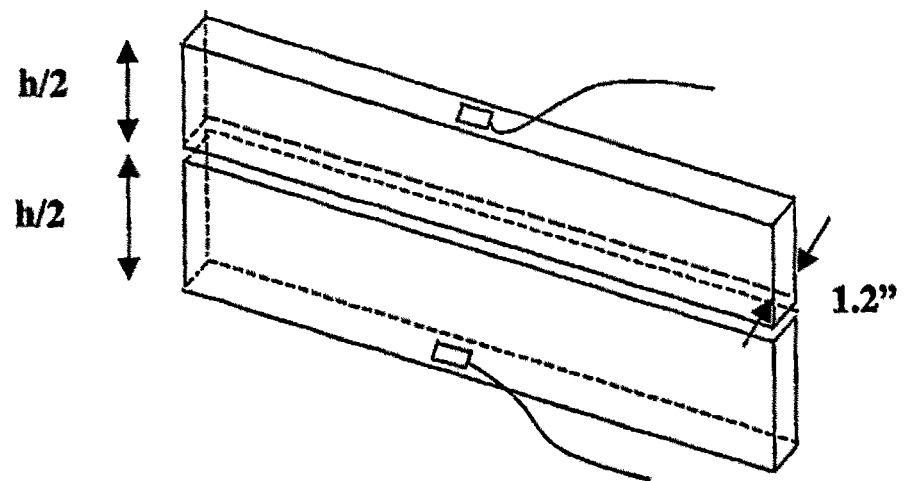


Figura 6

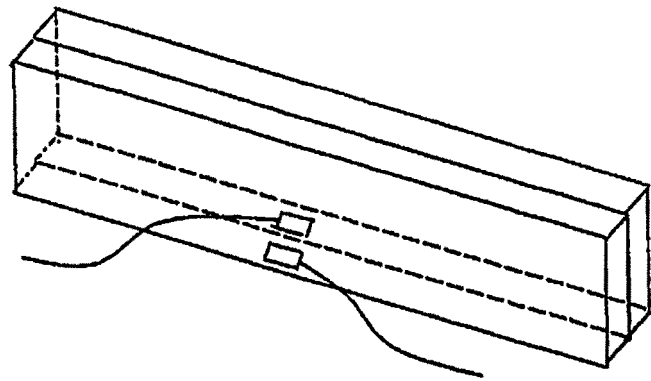


Figura 7

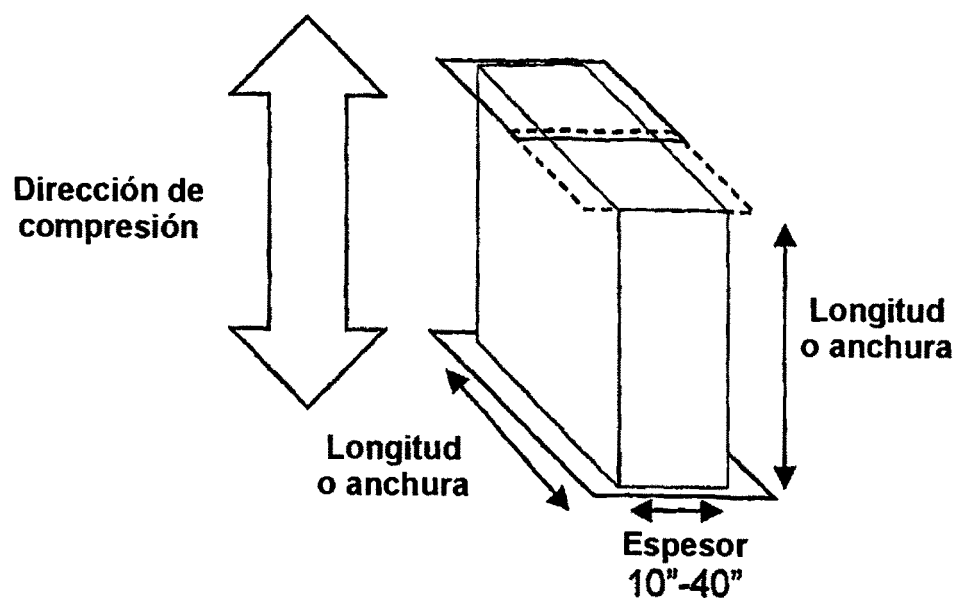


Figura 8

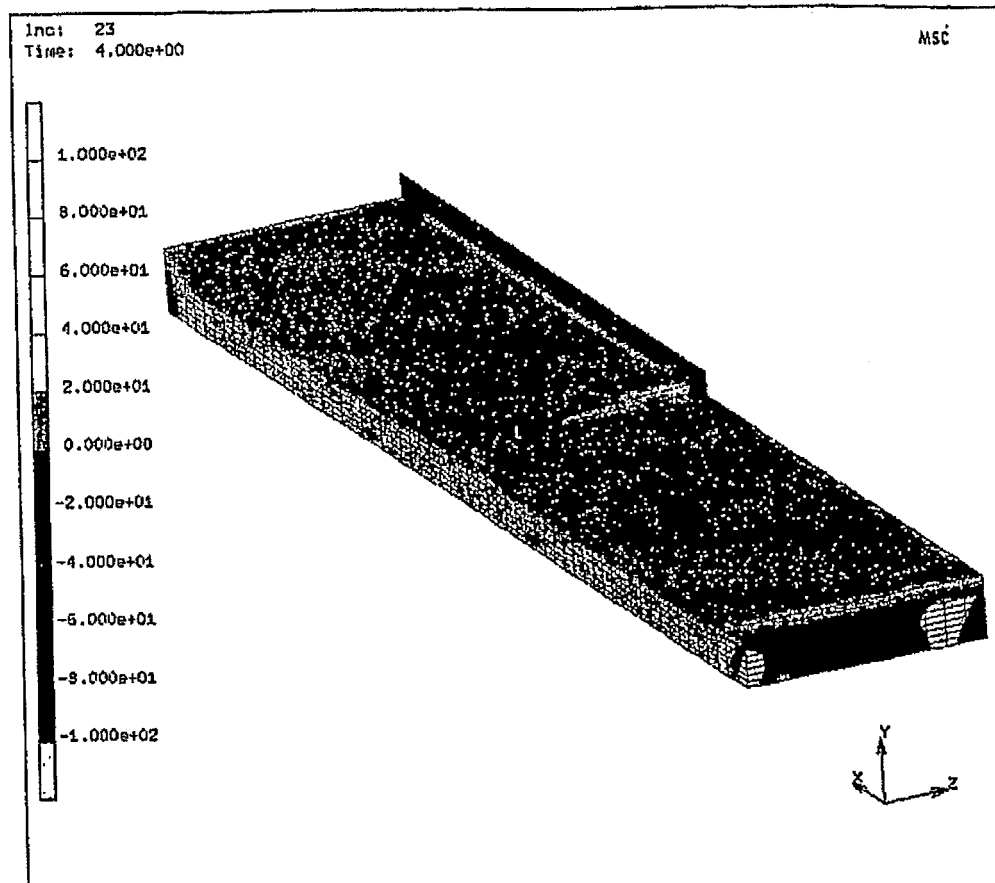


Figura 9

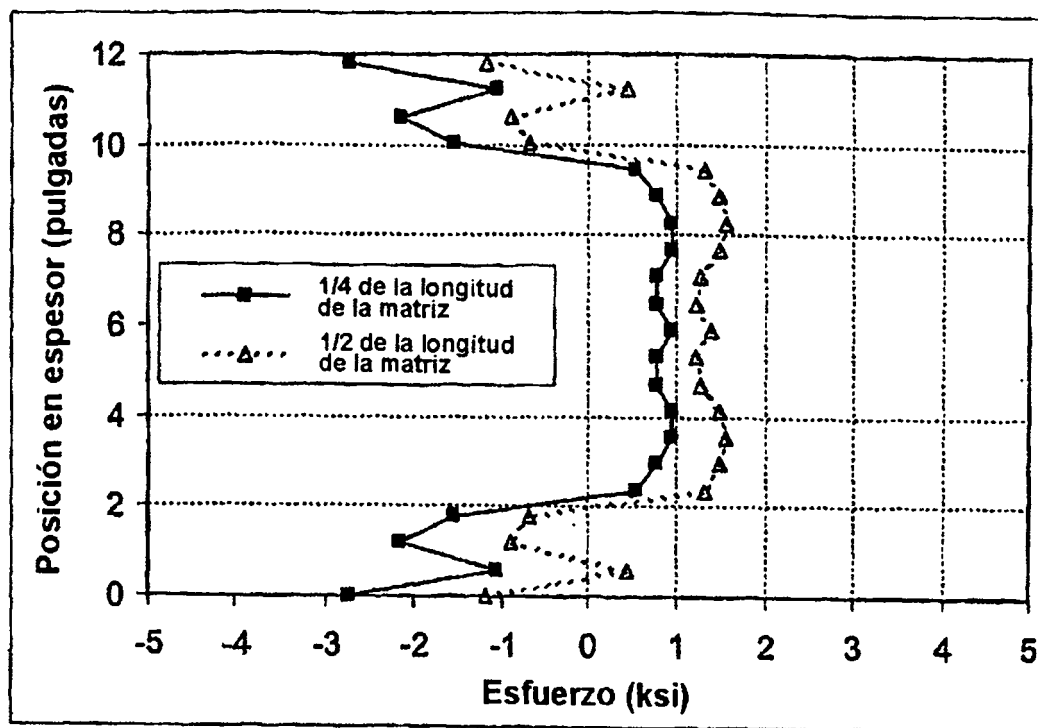


Figura 10

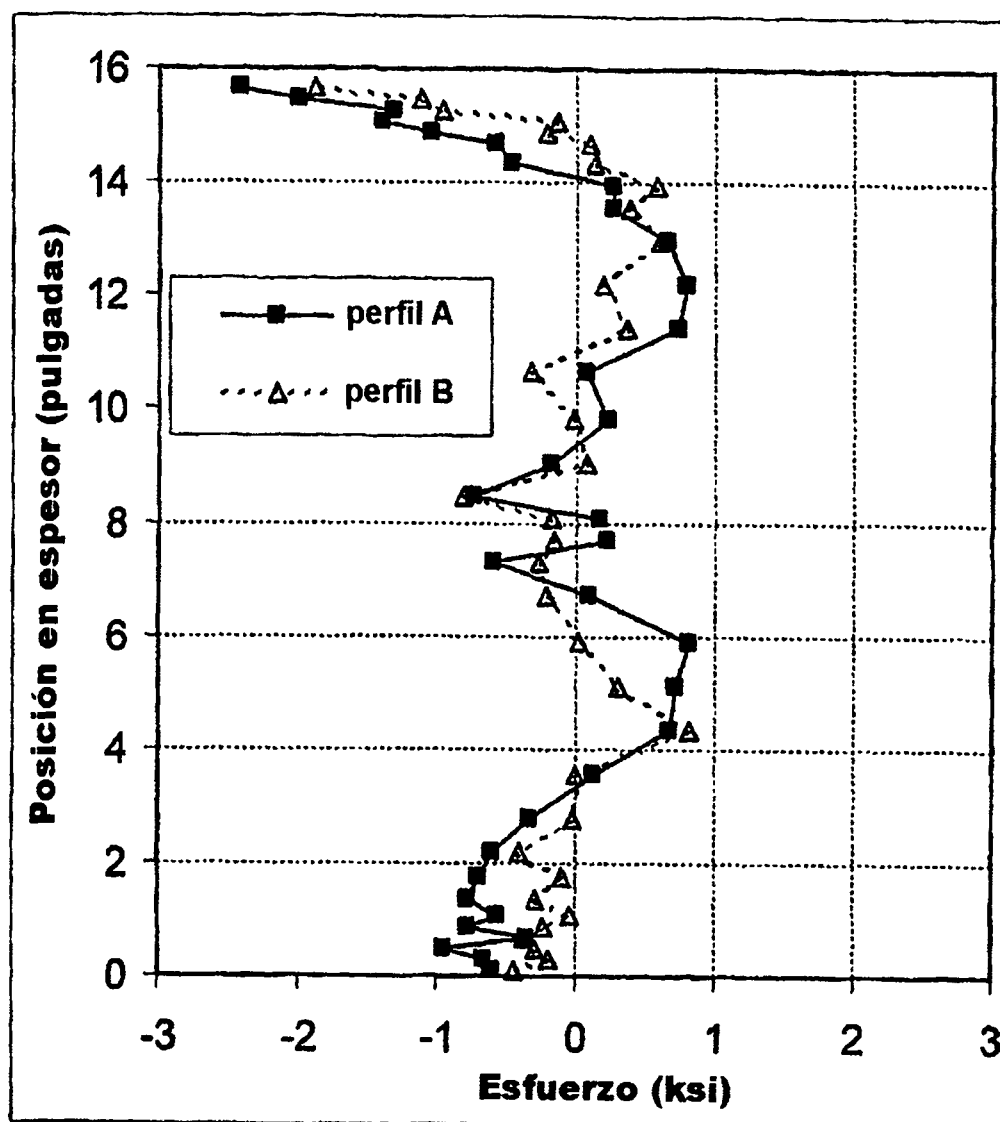


Figura 11

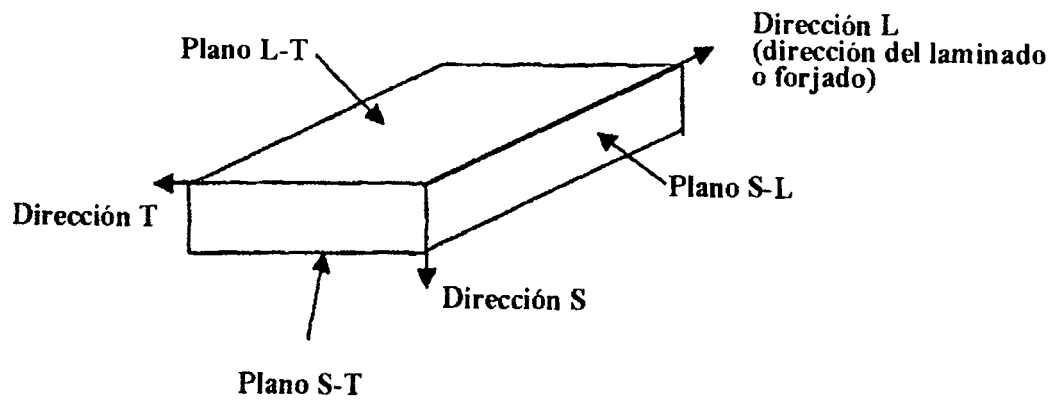
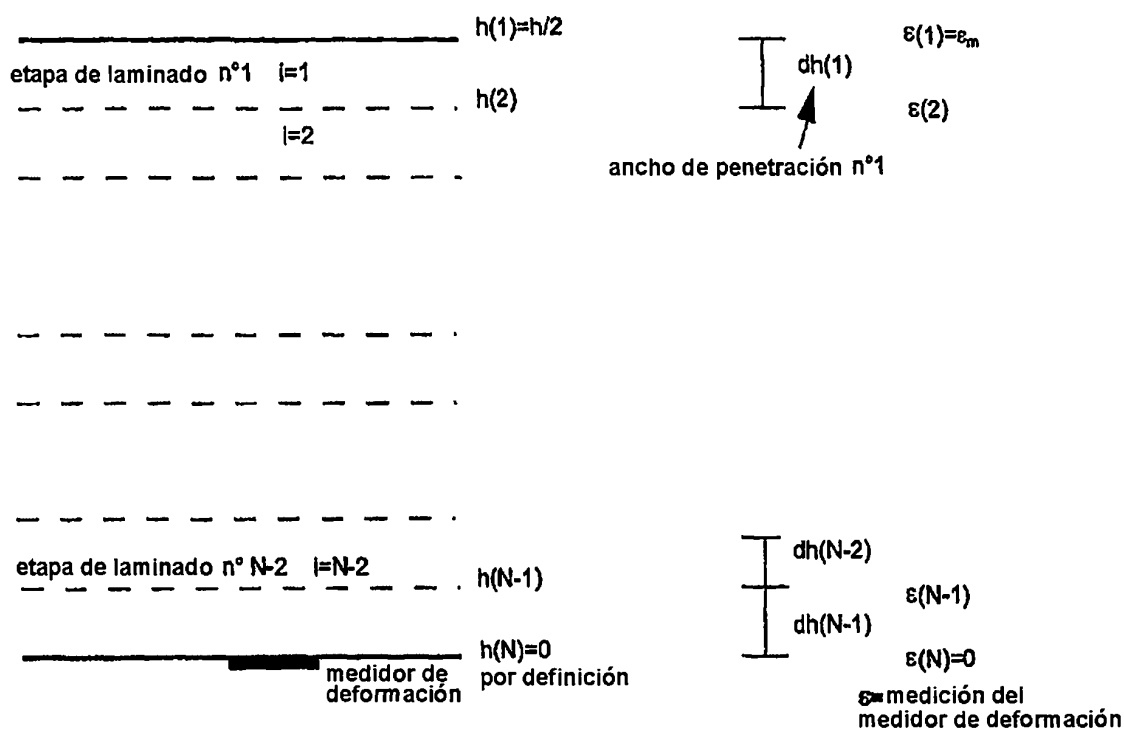


Figura 12



Número de etapas de laminado = $N - 2$ (de $i=1$ a $N-2$)
 Número de mediciones del espesor = $N - 1$ (de $i=1$ a $N-1$)
 Número de mediciones del medidor de deformación = $N - 2$ (de $i=2$ a $N-1$)
 Número calculado de esfuerzo residual = $N - 1$ (de $i=1$ a $N-1$)
 = n° de etapas + esfuerzo en espesor restante
 calculado por medio del equilibrio de esfuerzos

Figura 13