



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



⑪ Número de publicación: **2 224 787**

⑫ Número de solicitud: 200201163

⑮ Int. Cl.7: **B21C 23/00**

⑫

SOLICITUD DE PATENTE

A1

⑫ Fecha de presentación: **13.05.2002**

⑬ Fecha de publicación de la solicitud: **01.03.2005**

⑬ Fecha de publicación del folleto de la solicitud:
01.03.2005

⑰ Solicitante/s: **Universidad Pública de Navarra
Campus de Arrosadia, OTRI - Edificio El Sario
31006 Pamplona, Navarra, ES
Centro de Estudio e Investigaciones Técnicas de
Guipúzcoa**

⑰ Inventor/es: **Luis Pérez, Carmelo Javier;
González Crespo, Pedro Antonio;
Gil Sevillano, Javier;
Alkorta Barragán, Jon y**

⑰ Agente: **No consta**

⑳ Título: **Procesado continuo de materiales metálicos mediante deformación plástica en canal poliangular.**

㉑ Resumen:

Procesado continuo de materiales metálicos mediante deformación plástica en canal poliangular.

Procesado continuo de materiales metálicos mediante deformación plástica en canal poliangular que comprende la compresión del material, por ejemplo mediante rodillos laminadores a la entrada de la matriz que conforma el canal poliangular, junto con un sistema de tracción a la salida de dicha matriz. Ambos esfuerzos se combinan en el arrastre en continuo del material, manteniendo constante la sección del material de partida. El canal poliangular por el que se obliga a pasar al material produce un efecto de tensión cortante que afina notablemente el tamaño de grano del material, y mejora sustancialmente las propiedades mecánicas del mismo sin alterar sus dimensiones.

ES 2 224 787 A1

DESCRIPCIÓN

Procesado continuo de materiales metálicos mediante deformación plástica en canal poliangular.

Sector de la técnica al que se refiere la invención

La invención se refiere al sector metalmecánico, específicamente al área de procesamiento de materiales metálicos para mejorar sus propiedades mecánicas, por ejemplo la resistencia a la tensión, dureza, tenacidad y límite de fatiga entre otras. En la presente invención el procesamiento se realiza en continuo, y comprende un proceso de deformación plástica en canal poliangular.

Estado de la técnica anterior

El tamaño de grano de los metales tiene una gran influencia en las propiedades mecánicas de los mismos, por lo que su afinamiento proporciona importantes beneficios tecnológicos. A bajas temperaturas, un tamaño de grano fino aumenta la resistencia, la dureza, la tenacidad y el límite de fatiga del material. A temperaturas altas, las aleaciones de grano ultrafino pueden ser superplásticas, con capacidad para experimentar grandes deformaciones.

Actualmente, existe un gran número de procesos de fabricación que permiten la obtención de materiales metálicos con grano submicrométrico, incluyendo la solidificación rápida, la pulvimetalurgia y los métodos de condensación de vapor (P. Sanders, G. Fougere, L. Thompson, J. Eastman y J. Weertman, *Nanostructured Materials*, 8, n° 3, 1997, 243-252; C. Koch, Y. Cho, *Nanostructured Materials*, 1, 1992, 207-212). Estos métodos, que se aplican a menudo a aleaciones de composición poco frecuente, van encaminados a la producción de cantidades muy pequeñas de material, y mantienen una cierta porosidad residual en los materiales después de su obtención. Estos procesos de alta deformación plástica producen materiales de grano ultrafino por recristalización continua.

Otro ejemplo son los procesos de fabricación convencionales como la laminación, forja y trefilado, entre otros. Sin embargo, una o más dimensiones de la pieza se reducen como consecuencia del proceso, por lo que existe un límite a las deformaciones que se pueden alcanzar. En estos procesos, es posible obtener deformaciones reales mayores que 4 ($\epsilon > 4$) para materiales en forma de filamentos o películas, que tienen una utilidad limitada.

En los últimos años se han desarrollado algunas técnicas nuevas para alcanzar muy altas deformaciones ($\epsilon > 10$) con cambios mínimos en las dimensiones de las piezas. Este mantenimiento de las dimensiones de las piezas hace que no haya un límite definido a la deformación que se puede alcanzar, siempre y cuando el material tenga suficiente ductilidad.

Las técnicas que se han desarrollado actualmente pueden englobarse en: deformación por torsión a alta presión, y extrusión en canal angular constante (ECAE). En la primera, un disco delgado es deformado en torsión mediante la fricción proporcionada por una gran presión hidrostática (del orden de 5 GPa), obteniéndose a temperatura ambiente deformaciones de aproximadamente 7 o superiores ($\epsilon > 7$) y tamaños de grano de 0,2 μm . Esta técnica no puede ser fácilmente escalable y por tanto su principal aplicación está en las investigaciones de laboratorio a pequeña escala (I. Saunders, J. Nutting, *Metal Science*, 18, 1984).

El segundo proceso, conocido como "Equal Chan-

nel Angular Extrusion" (ECAE), se desarrolló en 1971, en la antigua Unión Soviética, por Segal y sus colaboradores (V. Segal, *Mat. Sci. Eng.*, 1995, 157-164; V. Segal, V. Reznikov, A. Drobyshevskiy, V. Kopylov, *Russian Metally*, 1, 1981, 99-105). Esta técnica permite obtener grandes deformaciones en los metales, habiéndose aplicado a muchos tipos de aleaciones: de cobre, de níquel, y a aleaciones de aluminio (Y. Wu, I. Baker, *Scripta Materialia*, 37, n° 4, 1997, 437-442; P. Prangnell, C. Harris, S. Roberts, *Scripta Materialia*, 37, n° 7, 1997, 983-989), entre otras, posibilitando la obtención de tamaño de grano submicrométrico. Además, la sección transversal del material no se modifica, al contrario que en otros métodos de deformación. Sin embargo, presenta los inconvenientes de que el tamaño de los materiales de partida es reducido, de que no puede utilizarse en continuo, y de que precisa sucesivos pases por el canal angular para lograr resultados satisfactorios, dado que el canal utilizado sólo puede comprender un ángulo.

Una de las razones fundamentales para estas limitaciones se encuentra en el pandeo que experimenta el punzón empleado para empujar la probeta, lo que provoca que dicho punzón, y en consecuencia la probeta, no puedan exceder de determinado tamaño, a partir del cual la amplitud del pandeo imposibilita el funcionamiento del dispositivo. Otra limitación debida al uso de un punzón o émbolo para empujar la probeta de material es la imposibilidad de procesar un material en continuo por una secuencia de ángulos, ya que un mismo punzón o émbolo no puede hacer que la probeta complete el recorrido por un canal poliangular.

Mediante la técnica ECAE la probeta de material es forzada a pasar por una matriz que contiene dos canales de igual sección (circular, cuadrada o poligonal) que se intersecan formando un ángulo generalmente de 90°. Al llegar el punzón a dicho ángulo, la probeta ya está completamente situada en el segmento posterior al codo, de donde se extrae. El material es así deformado mediante un mecanismo de tensión cortante pura, al atravesar el canal angular. Una vez que la probeta ha sido procesada, se vuelve a introducir por la entrada del canal y se repite el proceso de deformación. Es posible emplear diferentes rutas en el proceso de deformación aplicado: por ejemplo, ruta A, en la que la orientación de la probeta permanece invariable en las sucesivas pasadas; ruta B, en la que la probeta se rota 90° en los sucesivos pases; y ruta C, en la que la probeta se rota 180°. Las características microestructurales resultantes varían en función de la ruta de proceso. El proceso se repite un número N de veces, dependiendo del tipo de material y de las deformaciones que se quieran obtener.

El proceso ECAE está influenciado por diversos factores como la velocidad de extrusión, generalmente entre 10⁻² y 10 mm/s, y las condiciones de rozamiento. Asimismo, la temperatura de extrusión afecta a las características de las aleaciones procesadas. Existe una buena correlación entre los resultados de la simulación por elementos finitos y los resultados experimentales al aplicar la técnica ECAE (Y. Garcés, C. J. Luis, C. Berlanga, P. González, aceptado en *International Conference in Advances in Materials and Processing Technologies*, AMPT'01, Madrid, 2001).

En definitiva, si bien el proceso ECAE presenta interés debido a que posibilita el impartir muy altas deformaciones, su aplicación industrial se ve limitada

tanto por el tamaño reducido de las probetas, a causa del pandeo del punzón que comprime la probeta, como por la productividad del mismo ya que es un proceso discreto en el que es necesario extraer la probeta y volver a introducirla al proceso por el canal de entrada, y por la imposibilidad de procesar el material por un canal poliangular.

Otro proceso conocido, aunque estudiado en mucha menor medida, es el denominado trefilado de materiales en canal angular o ECAD ("Equal Channel Angular Drawing") (C. J. Luis, P. González, Y. Garcés, C. Berlanga, J. Pérez, aceptado en International Conference in Advances in Materials and Processing Technologies, AMPT'01, Madrid, 2001). En este proceso, el material es estirado obligándole a atravesar una matriz con un canal angular constante. Así, este proceso posibilita un procesado en continuo de los materiales, por lo que presenta un mayor interés industrial. Sin embargo, no proporciona grandes deformaciones, las cuales son muy inferiores a las producidas por el proceso ECAE, predominando el efecto de estirado sobre el de cortante. Igualmente, la sección transversal sufre un adelgazamiento durante el procesado. Esto es puesto de manifiesto tanto por resultados experimentales como por simulación por elementos finitos. Ambos motivos, es decir, menores deformaciones y disminución de la sección transversal, pueden haber ocasionado un menor estudio del proceso en relación al ECAE, siendo escasas las referencias al respecto (U. Chakkingal, A.B. Suriadi and P.F. Thomson Scripta Materialia, 39 n° 6, 1998; U. Chakkingal, A.B. Suriadi and P.F. Thomson Mater Sci. Eng., A266, 1999). Además, la estructura resultante en los materiales procesados por ECAD no es homogénea en cuanto al tamaño de grano producido.

Se han desarrollado algunas patentes relativas al proceso ECAE (M. Jarret, W. Dixon, May 1994, US Patent n° 5309748; V. Segal, R. Goforth, K. Hartwing, Mar 1995, US Patent n° 5400633; V. Segal, L. Segal, Feb 1997, US Patent n° 5600989; V. Segal, May 1996, US Patent n° 5513512; L. Semiatin, D. Delo, May 1999, US Patent n° 5904062), pero no se ha encontrado ninguna relativa al proceso ECAD.

Explicación de la invención

La presente invención permite obtener grandes deformaciones en el material, con la consiguiente disminución del tamaño de grano y una sustancial mejora de las propiedades mecánicas de los metales, sin modificar la sección transversal del material y permitiendo su realización en continuo. Comprende un proceso de deformación en canal poliangular realizable en continuo, sin limitación de tamaño del material de partida, y que no modifica la sección transversal del material procesado, aplicable a secciones muy diversas (cuadrada, rectangular, circular, poligonal), resultando materiales tanto enrollables como no enrollables.

La invención comprende, por una parte, un sistema que genera una fuerza de compresión sobre el material metálico continuo, a la entrada de una matriz en canal angular o poliangular, que lo empuja a través de ella, y que incluye un conjunto de rodillos de laminación. Al mismo tiempo, y simultáneamente al proceso de laminación que genera la fuerza de compresión, la invención comprende un proceso de tracción que desarrolla una fuerza que tira del material a la salida de la matriz, ajustándose de manera que la velocidad de entrada del material en la matriz coincide generalmente

con la de salida de ésta. La matriz por la que el material es obligado a pasar contiene un canal angular que incluye uno o varios ángulos de cualquier valor eficaz para producir un efecto de tensión cortante al material metálico. Uno de los valores preferidos para alguno de los ángulos de dicho canal es 90°, pero el proceso es igualmente eficaz empleando canales angulares con ángulos de otros valores.

El proceso objeto de la presente invención es aplicable a materiales de partida con secciones muy diversas, por ejemplo preformas con sección cuadrada o rectangular, preformas con sección circular u ovalada, o preformas con sección poligonal. Tales materiales pueden presentar conformaciones de dimensiones predominantemente longitudinales, de diversas posibles secciones, como por ejemplo barras o alambres, enrollables o no; o conformaciones predominantemente bidimensionales, como chapas o láminas, sean bobinables o no.

Posteriormente, el material procesado se somete a un tratamiento térmico que produce un afinamiento y homogeneización del tamaño de grano, con la consiguiente mejora en las propiedades mecánicas del material.

Descripción de los dibujos

Para una mejor comprensión de la descripción, se acompañan unos dibujos en los que se representa, por una parte, el esquema del sistema de procesado objeto de la invención, y, por otra parte, un caso práctico de realización del procesado continuo en canal poliangular.

La figura 1 es una representación del esquema del proceso, en el que F_2 es la fuerza ejercida por el accionamiento a la salida de la matriz, con canal de doble ángulo. Asimismo, se muestra que la fuerza de compresión a la entrada (F_1) se genera a partir de los rodillos de laminación. En el caso de la figura se muestran dos pares de rodillos.

En la figura 2 se muestra la estructura del material, empleando simulación por elementos finitos. Como puede observarse, tras el segundo ángulo aparece una zona central en la que las deformaciones son homogéneas, alcanzando un valor máximo en dicha zona. Por lo tanto, se obtendrá un material con sección transversal constante y con grandes deformaciones acumuladas, en el que los tratamientos térmicos posteriores conducirán a un afinamiento del tamaño de grano y a una mejora sustancial de las propiedades mecánicas del material.

La figura 3 muestra la evolución de las deformaciones en el material al atravesar los ángulos de la matriz. Dichas deformaciones se han obtenido para un punto situado en el centro del material. Puede observarse que al atravesar cada ángulo las deformaciones aumentan, y alcanzan un valor máximo tras el segundo ángulo.

Modo de realización de la invención

Ejemplo 1

Procesado de material lineal

Se parte de alambro laminado en caliente, con enfriamiento controlado, con diámetro de 18 mm. Dicho material se procesa mediante el empleo de dos pares de rodillos perfiladores, de 150 mm de diámetro y 300 mm de longitud y con una potencia de 10 kW, obligándole a atravesar una matriz en canal angular, con sección circular, situada a la salida de dichos rodillos. La velocidad de proceso es de 50 mm/s, a la salida del segundo laminador. Simultáneamente, a

la salida de la matriz, se ejerce una fuerza de tracción mediante un único motor monobloque que, al girar, permite el enrollado del alambre en un tambor de arrastre, consistente en un cilindro de 300 mm de diámetro al cual se acopla el par motor, ejerciendo sobre el material, una fuerza de aproximadamente 10 kN, enrollando el alambre según va siendo procesado, el cual sale de la matriz con una velocidad de aproximadamente 50 mm/s. Se ajustan los parámetros de proceso de manera que no se produzca adelgazamiento significativo en el material y no varíe su sección transversal. Para ello, se regulará la velocidad de giro del motor de manera que la velocidad de salida del segundo par de rodillos sea igual a la velocidad de salida de la matriz en canal angular. De esta manera se combinan los dos efectos. Es decir, por una parte se tiene el efecto de empuje, a la entrada de la matriz, como consecuencia del proceso de laminación, y a la salida se tiene un efecto de estirado, como consecuencia del proceso de tracción. Al mismo tiempo, es posible obligar al alambre a atravesar una hilera de diámetro ligeramente inferior al inicial, de manera que se produzca un calibrado sobre el mismo.

Ejemplo 2

Procesado de material laminado de sección cuadrada

Se parte de un producto laminado en colada continua con sección cuadrada de 100x100 mm. Dicho material se lamina mediante el empleo de un par de rodillos perfiladores, de 1000 mm de diámetro y 1500 mm de longitud que no modifiquen significativamente la forma de su sección inicial, obligándole a atravesar una matriz en canal angular con sección cuadrada. La velocidad de proceso es de 10 mm/s y la potencia de los rodillos laminadores de 20 kW/rodillo. Simultáneamente, a la salida de la matriz en canal angular, se ejerce una fuerza de tracción sobre el material de 400 kN, mediante un sistema de fijación mecánica que es movido por un sistema de arrastre lineal, empleando, para ello, una cadena y un banco de estirado. Se ajustará la velocidad de desplazamiento lineal, a la salida de la matriz, de forma que la velocidad de salida de la matriz sea igual a la de entrada a dicha matriz (10 mm/s). De esta manera se combinan los dos efectos: el de empuje a la entrada de la matriz, y el de estirado a la salida de la misma.

Ejemplo 3

Procesado de fleje laminado en caliente

Se parte de flejes laminados en caliente, para el

conformado directo o laminación en frío con anchos de 300 mm y 2.0 mm de espesor. Dicho material se lamina mediante el empleo de dos pares de rodillos laminadores, de 500 mm de diámetro y 1000 mm de longitud obligándole a atravesar una matriz en canal angular con sección rectangular, situada a la salida de dichos rodillos. La velocidad de proceso es de 200 mm/s y la potencia de 4 kW/cilindro. Simultáneamente, a la salida de la matriz en canal angular, se ejercerá una fuerza de tracción sobre el material de 20 kN mediante un sistema de fijación mecánica que es movido por un sistema de arrastre giratorio, empleando, para ello, rodillo de 400 mm de diámetro al que se acopla un motor. Se ajustará la velocidad de desplazamiento lineal, a la salida de la matriz, de forma que la velocidad de salida de la matriz sea igual a la de entrada a dicha matriz (200 mm/s). De esta manera se combinan los dos efectos: el de empuje a la entrada de la matriz, y el de estirado a la salida de la misma, de acuerdo con la invención.

Ejemplo 4

Procesado de lámina de acero

Se parte de lámina de acero al carbono enrollada en frío, para troquelado profundo de 500 mm de ancho y 2 mm de espesor, destinada a la fabricación de piezas en las que se aplica el troquelado o conformado severo, como por ejemplo en piezas automotrices. Dicho material se lamina mediante el empleo de un par de rodillos laminadores de 400 mm de diámetro y 1000 mm de longitud, con potencia de 8kW/rodillo, obligándole a atravesar una matriz en canal angular con sección rectangular, situada a la salida de dichos rodillos, siendo la velocidad de salida de los rodillos de 150 mm/s. Simultáneamente, a la salida de la matriz en canal angular, se ejercerá una fuerza de tracción sobre el material de 20 kN, mediante un sistema de fijación mecánica que es movido por un sistema de arrastre giratorio, empleando, para ello, rodillo de 450 mm de diámetro al que se acopla un motor. Se ajustará la velocidad de desplazamiento lineal, a la salida de la matriz, de forma que la velocidad de salida de la matriz sea igual a la de entrada a dicha matriz (150 mm/s). De esta manera se combinan los dos efectos: el de empuje a la entrada de la matriz, y el de estirado a la salida de la misma, aplicando así la invención descrita en la presente memoria.

REIVINDICACIONES

1. Procesado continuo de materiales metálicos mediante deformación plástica en canal poliangular **caracterizado** porque comprende un sistema de compresión de dicho material capaz de obligarlo a pasar en continuo por una matriz que configura un canal poliangular, junto con un sistema de tracción del material continuo a la salida del canal poliangular, de tal forma que ambos esfuerzos se combinan simultáneamente en el arrastre en continuo del material, resultando que la sección del material procesado es sustancialmente igual que la del material de partida.

2. Procesado continuo de materiales metálicos mediante deformación plástica en canal poliangular según reivindicación anterior, **caracterizado** porque el sistema de compresión del material es un par o un conjunto de pares de rodillos laminadores.

3. Procesado continuo de materiales metálicos mediante deformación plástica en canal poliangular según reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque la matriz por la que se procesa el material contiene un canal de sección constante que comprende uno o varios ángulos de cualquier valor eficaz para producir un efecto de tensión cortante al material metálico.

4. Procesado continuo de materiales metálicos mediante deformación plástica en canal poliangular según reivindicación 3, **caracterizado** porque preferiblemente uno o más de los ángulos comprendidos en el canal es de 90°.

5. Procesado continuo de materiales metálicos mediante deformación plástica en canal poliangular según cualquiera de las reivindicaciones anteriores,

caracterizado porque el sistema de tracción del material continuo a la salida del canal poliangular comprende un sistema de enrollado o bobinado del material procesado.

6. Procesado continuo de materiales metálicos mediante deformación plástica en canal poliangular según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado** porque el sistema de tracción del material continuo a la salida del canal poliangular comprende un banco de estirado del material.

7. Procesado continuo de materiales metálicos mediante deformación plástica en canal poliangular según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque procesa un material predominantemente longitudinal de sección transversal circular, ovalada, cuadrada, rectangular, poligonal o de otra forma geométrica.

8. Procesado continuo de materiales metálicos mediante deformación plástica en canal poliangular según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque procesa un material predominantemente bidimensional o plano.

9. Procesado continuo de materiales metálicos mediante deformación plástica en canal poliangular según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por comprender un posterior tratamiento térmico que mejora el afinamiento de grano y la homogeneización del material metálico procesado.

10. Procesado continuo de materiales metálicos mediante deformación plástica en canal poliangular según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque se realiza a temperatura controlada.

Figura 1: Representación esquemática del proceso.

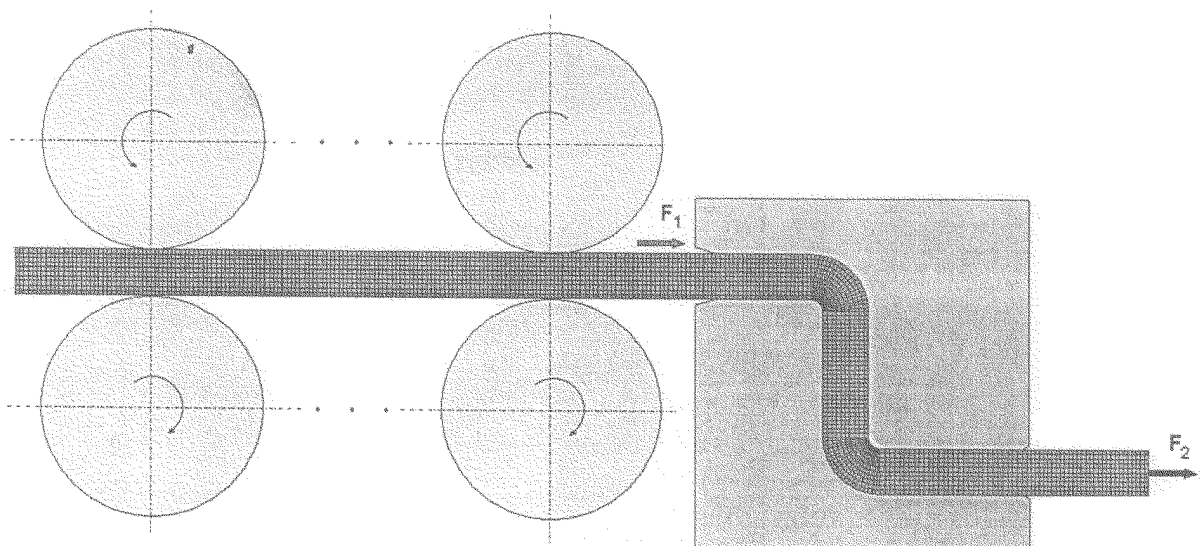


Figura 2: simulación por elementos finitos de la estructura del material procesado.

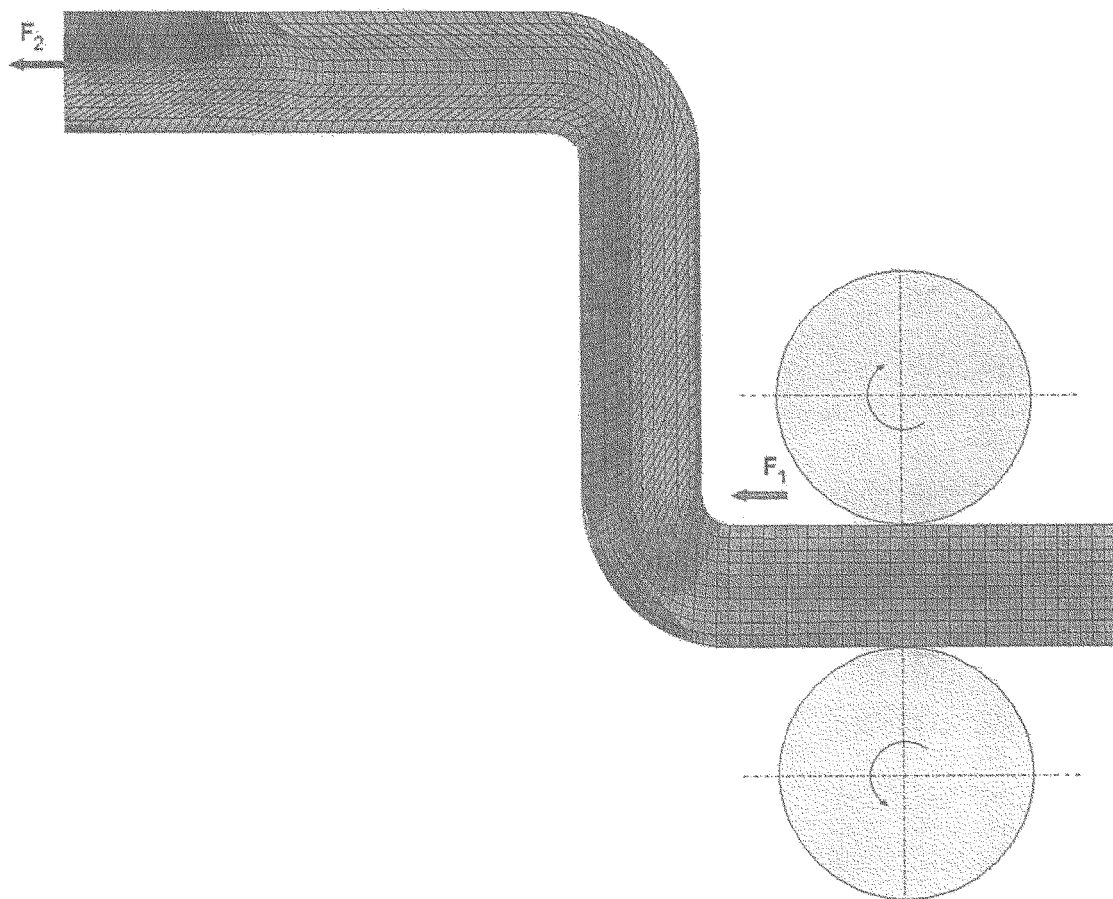
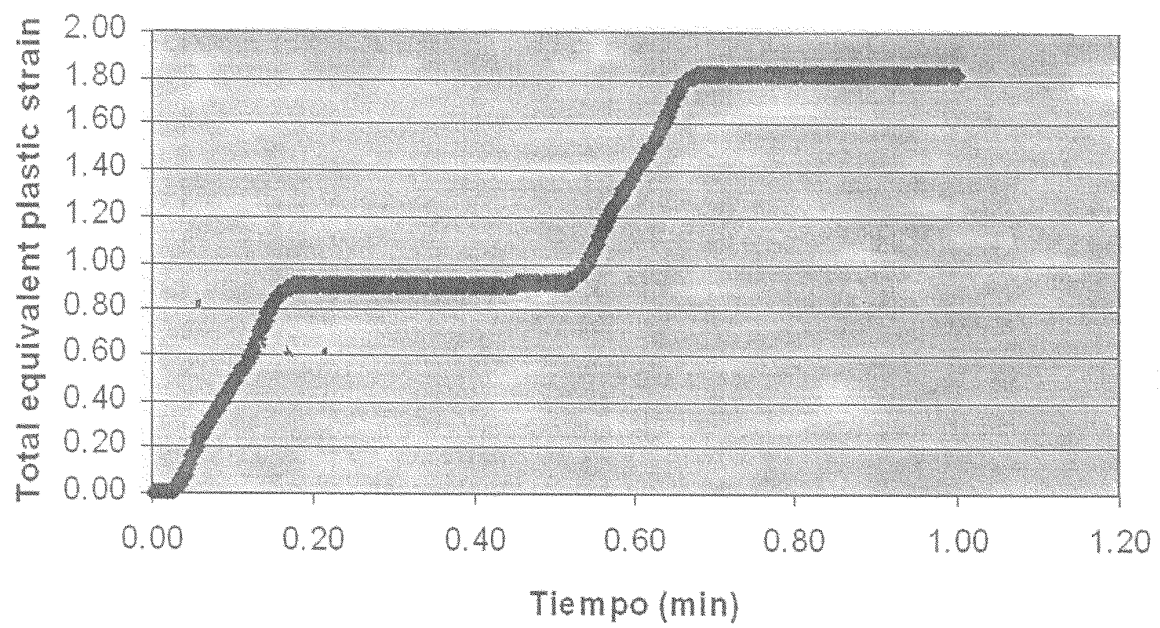


Figura 3: Evolución de las deformaciones en el material al atravesar los dos ángulos de una matriz.





OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

⑪ ES 2 224 787

⑫ Nº de solicitud: 200201163

⑬ Fecha de presentación de la solicitud: 13.05.2002

⑭ Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑮ Int. Cl.7: B21C 23/00

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
E	US 6571593 B1 (CHUNG et al.) 03.06.2003, columna 1, línea 60 - columna 2, línea 17; columna 3, líneas 34-50; columna 5, líneas 13-23; figuras.	1-4,7
A	US 6370930 B1 (LEE et al.) 16.04.2002, columna 5, líneas 41-55; columna 6, línea 63 - columna 7, línea 12; figuras.	1,5,10
A	US 5809393 A (DUNLOP et al.) 15.09.1998, columna 7, líneas 17-64; columna 8, líneas 16-24; figuras.	1-4,8-10

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

☒ para todas las reivindicaciones

☐ para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe

04.02.2005

Examinador

M. Bescós Corral

Página

1/1