

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 401 522**

51 Int. Cl.:

B21C 23/01 (2006.01)

B21J 5/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.03.2006 E 06726428 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.11.2012 EP 1861211**

54 Título: **Deformación plástica severa de metales**

30 Prioridad:

24.03.2005 GB 0506091

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

22.04.2013

73 Titular/es:

**UNIVERSITY OF STRATHCLYDE (100.0%)
MCCANCE BUILDING, 16 RICHMOND STREET
GLASGOW, LANARKSHIRE G1 1XG, GB**

72 Inventor/es:

ROSOCHOWSKI, ANDRZEJ

74 Agente/Representante:

BALLESTER CAÑIZARES, Rosalía

ES 2 401 522 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).

DEFORMACIÓN PLÁSTICA SEVERA DE METALES**Descripción**

5 **[0001]** La presente invención hace referencia a un método y un aparato que provoca una severa deformación plástica y continua de metales y, en particular, crea metales nanoestructurados, de acuerdo con los preámbulos de las reivindicaciones 1 y 8, siendo un ejemplo conocido la patente US-5513512.

10 **[0002]** El volumen de los metales nanoestructurados (nanometales) atrae una atención sustancial debido a sus propiedades mecánicas y físicas únicas. Por ejemplo, a temperaturas bajas, un tamaño de grano ultra fino ($<1 \mu\text{m}$) dobla la dureza y resistencia del material y, a temperaturas altas, esto lleva a un comportamiento superplástico a la velocidad de deformación que es de un orden mayor que la de los materiales superplásticos tradicionales. El método preferido para producir volumen de nanometales, que evita los problemas de salud asociados con el nanopolvo, es una
15 severa deformación plástica (SPD). De este modo, una gran deformación plástica (con una deformación real 3-10 dependiendo del material) subdivide la estructura de grano grueso de todos los tipos de metales en una estructura submicrométrica y nanogranular. Los procesos SPD son diferentes a los procesos de formación de metal tradicionales debido a su habilidad para conservar la forma de la pieza a trabajar.

20 **[0003]** Existen dos grupos de procesos SPD: procesos continuos y discontinuos. Los procesos discontinuos se utilizan para pletinas relativamente cortas con una longitud limitada a su relación con el ancho (aproximadamente 6). Normalmente se utilizan en laboratorio con el fin de conseguir muestras para otros tests. El proceso discontinuo más popular es el de presión en canal angular de sección constante (ECAP) también
25 conocido como extrusión en canal angular constante (ECAE). Ejemplos de esto se describen en US 5.400.633, US 5.513.512, US 5.600.989, US 5.850.755, y US 5.904.062. En este proceso, una barra rectangular o cilíndrica se empuja desde una sección de un canal de perfil constante a otra sección orientada con un ángulo de $\geq 90^\circ$ hacia la primera, como se muestra en la figura 1. La deformación plástica del
30 material se consigue con un simple corte en una capa fina en el plano transversal de las secciones de canal. Sin embargo, un problema de esta técnica es que el modo ideal de deformación mostrado en la figura 1 no puede alcanzarse debido a los efectos finales y la distribución no uniforme de tensiones a lo largo del canal. Otro problema es que la longitud del canal frontal limita la longitud de la pletina. No debe ser
35 demasiado largo para evitar una fuerza excesiva provocada por la fricción y los problemas asociados al diseño de la herramienta.

[0004] Habrá casos en los que un proceso continuo esté técnicamente justificado y sea económicamente viable. Sin embargo, para una producción de alto volumen de una variedad de metales nanoestructurados un proceso continuo sería mucho más valioso para la industria. Dicho proceso podría ser un gran avance y permitiría la producción e implementación de metales nanoestructurados a gran escala.

[0005] Varios procesos continuos SPD se han propuesto. Algunos de estos se derivan del proceso denominado Conform. Este lo describen Y. Saito, H. Utsunomiya, H. Suzuki: en M. Geiger (Ed), *Advanced Technology of Plasticity*, Springer, 1999, Vol. III, págs. 2459-2464; J.C. Lee, H.K. Seok, J.H. Han, Y.H. Chung, *Mater. Res. Bull.* 36 (2001), 997-1004 y G.J. Raab, R.Z. Valiev, T.C. Lowe and Y.T. Zhu, *Mater. Sci. Eng. A328* (2004), 30-34. El proceso Conform original no tenía como objetivo la nanoestructuración. Este es un proceso de extrusión lateral continuo con el material dirigido a la cámara de extrusión mediante una rueda estriada y empujada por un estribo, como se muestra en la figura 2. Debido a la intensiva deformación y fricción en el canal frontal, el material alcanza la cámara lo suficientemente caliente como para ser fácilmente extruido. Sin embargo, un problema significativo de los procesos SPD basados en el Conform es que la fuerza requerida para extruir el material es relativamente alta. Como el suministro de la pieza a trabajar se basa en la fricción, esto provoca el calentamiento del material. Pese a que esto se considera una ventaja en el proceso original de Conform, ya que una alta temperatura lleva al crecimiento del grano, sería a su vez un problema potencial en un proceso SPD.

[0006] El estirado en canal angular constante (ECAD) es uno de los procesos continuos SPD propuestos. Este lo describen A.B. Suriadi y P.F. Thomson en *Proc. of Australasia-Pacific Forum on Intelligent Processing & Manufacturing of Materials*, IPMM, 1997, págs. 920-926. De este modo, la pieza a trabajar se estira a través de una matriz, como se muestra en la figura 3. La fuerza de tracción en el ECAD se limita por la fractura de la pieza a tratar estirada. Esto únicamente puede evitarse proporcionando un espacio amplio entre la matriz y pieza a tratar. Un problema relacionado con esto es que se provoca un cambio en el carácter del proceso desde el modo más efectivo de un cortante puro a la inclinación combinada con la tensión.

[0007] Otra técnica propuesta es el laminado acumulativo (ARB). Este lo describen Y. Saito, N. Tsuji, H. Utsunomiya, T. Sakai, R.G. Hong, en *Scripta Mater*, 39 (1998) Núm. 9, 1221-1227. De este modo, se corta una chapa laminada, se limpia, apila y lamina de nuevo en caliente, como se muestra en la figura 4. Esta secuencia se repite varias veces hasta que se consigue la deformación deseada. Debido a que se incluyen muchas operaciones, el ARB no es un proceso real de deformación continua. Está

limitado al tamaño manejable de la lámina. El éxito del proceso depende críticamente en la calidad del pegado, que puede ser difícil de alcanzar. La microestructura de los metales sujetos al ARB no es uniforme (una estructura laminada) y los granos se alargan debido a la laminación.

5 **[0008]** US 6.197.129 B1 describe otra propuesta. A esto se le denomina ondulación y estiramiento repetitivo (RCS). El RCS incluye la flexión de una plancha/barra recta entre rodillos corrugados y después la restauración de la forma recta de la plancha/barra con rodillos lisos, como se muestra en la figura 5. Un problema de este proceso es que no se utiliza un cortante puro, y la flexión lleva a una distribución de
10 tensiones no uniforme a través y a lo largo de la pieza a tratar.

[0009] De acuerdo con un aspecto de la presente invención, se proporciona un método para tratar una pletina metálica para cambiar sus propiedades mecánicas y/o físicas mediante la reducción del tamaño de grano, el método incluyendo forzar la pletina a través de un primer canal y hacia un segundo canal que se encuentra
15 inclinado hacia el primer canal utilizando un mecanismo de carga y deformación de la pletina utilizando una matriz oscilante en la intersección entre el primer y el segundo canal, para procesar la longitud total de la pletina, en la que la matriz oscilante define parte del segundo canal y el primer y el segundo canal empujan la pletina en una dirección perpendicular al flujo plano de la pletina, provocando así una plana de la
20 pletina.

[0010] Al utilizar una matriz oscilante como matriz de trabajo, el material de la pletina está sujeto a una secuencia de carga y descarga. La fase de carga deforma la pletina de forma plástica para cambiar su estructura y propiedades, mientras que la fase de descarga reduce la carga necesaria para mantener la pletina moviéndose desde el
25 primer al segundo canal.

[0011] El método también puede incluir un posicionamiento de la matriz oscilante lejos de la posición de empuje, cargando la pletina hacia una posición extendida que está más allá de la posición de empuje de la matriz y desplazando la matriz oscilante hacia atrás a su posición de empuje y hacia el contacto de deformación con la pletina.
30 Pueden repetirse los pasos de posicionamiento, carga y desplazamiento. Después de cada paso de carga gradual la pletina puede sujetarse en su posición extendida. La pletina puede sujetarse o mantenerse en posición. De manera alternativa, la pletina puede desplazarse continuamente a través del primer canal. La velocidad del movimiento continuo de la pletina debe sincronizarse con la acción oscilante de la
35 matriz de trabajo para provocar la carga/descarga de la pletina.

[0012] De acuerdo con otro aspecto de la presente invención, se proporciona un

aparato para tratar una pletina metálica con tal de cambiar sus propiedades mecánicas y/o físicas reduciendo su tamaño de grano, el aparato incluyendo un medio para definir un primer y un segundo canal, el segundo canal estando inclinado hacia el primer canal y siendo consecutivo a este, un mecanismo de carga para cargar la pletina a través del primer y el segundo canal y una matriz oscilante en una intersección entre el primer y el segundo canal para provocar la deformación plástica de la pletina para procesar la longitud total de la pletina, en el que la matriz oscilante define parte del segundo canal y el primer y el segundo canal empujan la pletina en una dirección perpendicular al flujo plano de la pletina, para provocar así una tensión plana de la pletina. El aparato puede incluir tres o más canales.

[0013] Los medios para definir el primer y el segundo canal pueden ser dos o más matrices. Al menos una de las matrices puede ser operable para sujetar la pletina en su lugar.

[0014] El aparato también puede incluir un medio para posicionar la matriz oscilante lejos de la posición de empuje, y un medio para provocar el desplazamiento de la pletina hacia una posición extendida que está más allá de la posición de limitación de la matriz, en la que los medios para posicionar la matriz son operables para desplazarse hacia atrás a su posición de empuje y hacia el contacto de deformación con la pletina.

[0015] La cara de trabajo de la matriz oscilante puede ser plana o perfilada, por ejemplo, puede incluir una punta para mejorar el flujo de material.

[0016] Varios modos de realización de la invención se describirán ahora únicamente como modo de ejemplo y con referencias a los dibujos adjuntos, en los que:

la figura 6 es la sección transversal de una disposición de matriz;

la figura 7 es una ilustración de una acción de corte que se aplicaría sobre una pletina que se desliza a través de la disposición de matriz de la figura 6;

la figura 8 muestra una simulación del flujo del material experimentada por la pletina en la disposición de matriz de la figura 6 para una matriz de trabajo actuando con un ángulo de 37,5°;

la figura 9 presenta resultados de simulación para una disposición de matriz de dos pletinas y una matriz de trabajo actuando con un ángulo de 0°;

la figura 10 presenta resultados de simulación para una disposición de matriz de dos giros y una matriz de trabajo que actúa con un ángulo de 45°;

la figura 11 es una vista esquemática ilustrando el impacto de un gran golpe;

la figura 12 es una sección transversal a través de una disposición alternativa de la matriz, y

la figura 13 es una sección transversal de otra disposición de matriz oscilante.

[0017] El método con el que la invención se realiza incluye tratar una pletina metálica para cambiar sus propiedades mecánicas y/o físicas reduciendo su tamaño de grano forzando la pletina a través de un primer canal y un segundo canal consecutivo con e
5 inclinado hacia el primer canal utilizando un mecanismo de carga y deformación de la pletina utilizando una matriz oscilante en la intersección entre el primer y el segundo canal, la matriz oscilante siendo operable para cargar y descargar de manera secuencial la pletina.

[0018] El método con el que se realiza la invención puede implementarse en una gran
10 variedad de formas. En un primer ejemplo, se utilizan tres matrices simples, A, B y C, como se muestra en la figura 6. La matriz A es fija, la matriz B se utiliza como un soporte de pletina y la matriz C es una matriz de trabajo, que se desplaza de manera oscilante con un ángulo apropiado en la dirección de carga de la pletina. Las matrices A, B y C juntas definen canales ortogonales que tienen secciones transversales
15 sustancialmente iguales. En uso, la pletina se fuerza a través de los canales definidos por las matrices y la matriz de trabajo C se desplaza contra ella para que la pletina se cargue y descargue de manera secuencial. Esto provoca una severa deformación plástica de la pletina.

[0019] Para reducir el esfuerzo requerido para cargar la pletina a través de las
20 matrices, el movimiento de la matriz de trabajo C se sincroniza con una secuencia de carga gradual de la pletina. La secuencia de las operaciones incluye el desplazamiento de las matrices B y C lejos de la pletina para permitir que la pletina se desplace a una distancia "a" para que sobresalga a la misma distancia más allá de la matriz B. La figura 6 muestra la pletina en esta posición (ver parte marcada I). En estas
25 circunstancias, donde la pletina está esencialmente descargada, la carga de la pletina no requiere ninguna fuerza sustancial. Después, en esta posición la matriz B se desplaza para tensar la pletina contra la matriz A y la matriz de trabajo C se desplaza entonces contra el extremo de la pletina, cargándola así y provocando su deformación plástica en la zona estrecha marcada por las líneas discontinuas. Esto provoca que la
30 pletina asuma la forma marcada II en la figura 6. Toda la secuencia arriba descrita puede repetirse tantas veces como sea necesario para procesar la longitud total de la pletina, cada ciclo de carga/descarga correspondiendo con un único ciclo de carga. Así, el proceso tiene un carácter gradual y continuo. En la práctica, el golpe de trabajo de la matriz oscilante C y la precarga de la pletina se disponen para ser
35 sustancialmente iguales.

[0020] El análisis geométrico del flujo de material en la zona "discontinua" lleva a la

conclusión de que el modo de deformación es el de cortante puro. Con el objetivo de analizar, este proceso se divide en dos pasos. El corte del paralelepípedo PP1 de la figura 7 por el ángulo γ produce un rectángulo, para el que la tensión de corte es τ y la tensión de Von Mises equivalente es $\epsilon = \tau\sqrt{3}^{0,5}$. La continuación de este corte por otro ángulo γ y convierte el rectángulo en un paralelepípedo marcado PP2 y dobla la tensión equivalente a $\epsilon = 2\tau\sqrt{3}^{0,5}$. Para $\gamma = 45^\circ$, la tensión equivalente total es $\epsilon = 1,155$, que es el valor conocido del clásico ECAP con el ángulo de canal a 90° . Así, en términos de tipo y valor de la tensión producida, el proceso propuesto es equivalente al ECAP. El flujo de material debe empujarse en una dirección perpendicular al flujo plano mencionado (tensión plana).

[0021] Es posible llevar a cabo un análisis más detallado del flujo de material utilizando una simulación del método de los elementos finitos (FEM). La figura 8 representa la disposición de matriz ilustrada en las figuras 6 y 7, en las que sólo se utiliza un giro de canal y el ángulo entre los canales es de 90° . Esta simulación se llevó a cabo para encontrar el mejor ángulo para que la matriz de trabajo C consiguiera una distribución de tensiones uniforme en la pletina. Para un canal con un grosor de 10 mm, un radio de 2 mm, y un coeficiente de fricción de Coulomb μ de 0,2, se ha descubierto que el mejor ángulo entre la dirección de carga y la dirección del movimiento oscilante de la matriz de trabajo es aproximadamente de $37,5^\circ$.

[0022] En algunas máquinas, una opción más sencilla sería mantener el ángulo del desplazamiento de la matriz de trabajo igual a 0° , para que la dirección de carga y la dirección del movimiento de la matriz sean la misma. La figura 9 muestra un ejemplo de esto. En este caso, se proporcionan tres matrices, D, E y F. Las matrices D y E pueden ser fijas (como en este análisis) o dispuestas para proporcionar una acción de sujeción como se ha descrito anteriormente. Estas definen un primer canal que tiene una sección transversal que es sustancialmente la misma que aquella de dos pletinas. La matriz F se extiende a través del extremo del primer canal y es capaz de realizar un movimiento de oscilación. Junto con las matrices D y E, la matriz F define un segundo y un tercer canal, cada uno siendo ortogonal respecto al primer canal y cada uno teniendo una sección transversal que es sustancialmente la misma que una de las pletinas. En un ejemplo preferido, el segundo y tercer canal tienen secciones transversales sustancialmente iguales. Como se apreciará, se necesita un mecanismo de carga externo para cargar las pletinas a través de las matrices. Este mecanismo de carga podría ser gradual (como en este análisis) o continuo y típicamente se configura para que la precarga de las pletinas sea sustancialmente la misma que el golpe de trabajo de la matriz de movimiento oscilante F. Las disposiciones de carga son

conocidas en la técnica y por ello no se describirán en detalle.

[0023] Para facilitar el flujo de material, la matriz de trabajo F tiene una punta en una posición que corresponde con la intersección entre las dos matrices, ayudando así a dirigir cada pletina hacia el canal apropiado uno entre el segundo o el tercero. Un pequeño bisel en la parte frontal de ambas pletinas ayuda a iniciar el proceso. Utilizar dos pletinas simultáneamente proporciona un número de ventajas prácticas, incluyendo una mayor productividad, la evasión de la fuerza excéntrica (más importante para el ángulo de canal $> 90^\circ$) y la simplificación de la herramienta.

[0024] En uso, se cargan dos pletinas de lado a lado en el primer canal D, E y se desplazan hacia la matriz F, que se encuentra en su posición abierta de descarga. Esto continúa hasta que las pletinas se encuentran con la cara de trabajo de la matriz F, ver figura 9(a). En esta fase, la posición de las pletinas es fija gracias a una pinza u otro medio de sujeción. A continuación, la matriz F comienza a moverse hacia las pletinas, para que la punta la empuje hacia la intersección entre ellas. Debido a la punta y el movimiento continuado de la matriz F, las pletinas se separan y comienzan a deformarse expandiéndose hacia el segundo y tercer canal respectivamente hasta que la matriz F alcanza su posición cerrada de carga, como se muestra en la figura 9(b). La matriz de trabajo se aleja de su posición cerrada. Una subsecuente liberación y carga de las pletinas en una dirección hacia delante forma un espacio entre el extremo inferior de las áreas deformadas de las pletinas y las matrices adyacentes D y E, ver figura 9(c). Entonces, la matriz F se mueve hacia delante hacia las matrices D y E y hacia atrás hacia su posición de empuje/carga, para que cada pletina se empuje entre las matrices D y F o las matrices E y F, provocando así una severa deformación plástica en estas áreas. La repetición de esta secuencia resulta en la deformación de casi toda la longitud de las pletinas, como se muestra en la figura 9(d).

[0025] La figura 10 muestra otro ejemplo adicional de una disposición para la severa deformación plástica de una pletina. Esta es una disposición de matriz de dos giros con dos matrices fijas G y H y una matriz oscilante I. Una de las dos matrices fijas, la matriz G, define un paso con dos puntos de giro ambos definiendo sustancialmente ángulos de 90° . La matriz oscilante I tiene una superficie de trabajo sustancialmente inclinada hacia la derecha frente a la matriz G. Esta coopera con la matriz fija H para definir un paso de dos giros con la misma forma y tamaño que la matriz fija G. Las matrices G y H definen un primer canal, y las matrices I y G definen un segundo y tercer canal ortogonales. En este ejemplo, la matriz de trabajo I es desplazable en un ángulo de 45° en dirección de la carga. Mientras que las matrices G y H se describen como fijas, en la práctica al menos una de estas puede ser desplazable,

proporcionando así un mecanismo de sujeción, pese a que esto no es esencial. Se proporciona un mecanismo de carga (no mostrado) como en los modos de realización anteriores, para desplazar la pletina a través de la disposición de matriz de la figura 10. Se dispone así para que la precarga de la pletina sea sustancialmente la misma que el golpe de trabajo de la matriz oscilante I.

[0026] Utilizando la disposición de la figura 10, se carga una pletina en el primer canal y se desplaza hacia la matriz I, que se encuentra en su posición abierta. Esta acción de carga continúa hasta que la pletina se encuentra con la cara de trabajo de la matriz I, como se muestra en la figura 10(a). En esta fase, la posición de la pletina es fija gracias a una pinza u otro medio de fijación. Después, la matriz I comienza a desplazarse hacia la pletina y la deforma provocando que se extienda alrededor del primer giro de la matriz G (con un cortante puro) y hacia el segundo canal hasta que la matriz I alcanza su posición cerrada, como se muestra en la figura 10(b). La retirada de la matriz I lejos de su posición cerrada de empuje permite continuar con la carga a una distancia prescrita. La repetición de carga y deformación provocan que el extremo frontal de la pletina se sostenga sobre el segundo giro de la matriz G, lo que a su vez provoca que la pletina se deforme y comience a expandirse alrededor del segundo giro y dentro del tercer canal. En esta fase, la pletina se extiende alrededor de ambos giros en la disposición de matriz y comienza una deformación plástica del tipo de cortante puro en la intersección entre el segundo y el tercer canal, como se muestra en la figura 10(c). La figura 10 (d) muestra una fase más avanzada del proceso donde la matriz I se mueve lejos de su posición de empuje hacia una posición abierta. Debido a la carga continua hacia delante la pletina se desplaza hacia delante con la matriz I hasta la posición extendida. La figura 10(e) ilustra el paso final del proceso con la matriz I moviéndose hacia atrás hasta su posición cerrada de empuje. Como se apreciará, las herramientas de la figura 10 producen dos zonas de corte y por lo tanto dobla la tensión adquirida con un único pase de la pletina ($\epsilon=2.31$).

[0027] En todos los ejemplos anteriores, la amplitud pico a pico de la matriz oscilante no debe ser excesiva comparada con el grosor de la pletina procesada, de ser así provocaría una distribución de tensiones no uniforme, como se muestra en la figura 11. De acuerdo con una simulación FEM un límite seguro está entre un 10% y un 20% del grosor de la pletina.

[0028] Ya que en la mayoría de los modos de realización prácticos, la precarga es igual al golpe de trabajo de la matriz oscilante, lo que limita la velocidad media de carga. Para mejorar la productividad, puede evitarse el uso de pletinas finas, puede considerarse un procesamiento paralelo de las pletinas y también puede aumentarse

la frecuencia del movimiento oscilante. Esta frecuencia puede variar como se desee dependiendo de la aplicación, y podría estar por encima del campo de la frecuencia ultrasónica, es decir por encima de 20kHz.

[0029] En todos los modos de realización descritos con referencia a las figuras de la 6 a la 11, existe una matriz oscilante que provoca la carga/descarga de una pletina, y una matriz de ajuste, que permanece inmóvil, excepto cuando se desplaza a su posición de ajuste. Mientras que en estos modos de realización se describen matrices específicas como fijas u oscilantes, se apreciará que todos los movimientos son relativos y en la mayoría de circunstancias no es importante qué matriz o matrices se mueven y cuales son fijas (si las hay). Por ejemplo en la disposición de matrices ilustrada en la figura 6, las matrices A/B son fijas y la matriz C es oscilante. Sin embargo, la matriz C podría ser fija mientras que las matrices A/B pueden ser capaces de moverse con tal de cargar/descargar la pletina, como se muestra en la figura 12. Por lo tanto, la secuencia de operación podría ser: la matriz A/B libera la pletina I y se aleja de la matriz C a una distancia "a". Debido a que la pletina I está libre, no debería haber fricción entre ésta y la matriz A/B, pese a que la fricción residual puede requerir que la pletina I esté sujeta por otros medios, de lo contrario el movimiento de la matriz A/B puede arrastrar la pletina I lejos de la matriz C. Entonces la matriz A/B deja de alejarse de la matriz C y sujeta la pletina I. La matriz A/B entonces se desplaza hacia atrás hasta la matriz C junto con la pletina I a una distancia "a" para deformarla en la pletina II. En este caso, no existe un movimiento relativo (no hay fricción) entre la matriz A/B y la matriz I.

[0030] La figura 13 muestra otra posibilidad. Aquí, el movimiento de la matriz se divide entre todas las matrices A/B y C. Como ejemplo específico, la matriz A/B puede comprender un componente del movimiento a lo largo del primer canal, proporcionando así la carga y descarga, y la matriz C puede comprender el otro componente a lo largo del segundo canal, para reducir así la fricción en ese canal.

[0031] La presente invención proporciona un método de severa deformación plástica sustancialmente continua que utiliza una carga interrumpida, basada en la sujeción y carga alternativas de la pletina sin deformar el material durante la carga, o sustancialmente una carga continua sin deformar el material al menos en una parte del proceso de carga. Debido a que la fuerza requerida para este tipo de carga es pequeña o sustancialmente cero, esto significa que pueden procesarse pletinas infinitamente largas. Esto proporciona numerosas ventajas, como unas herramientas baratas y la posibilidad de utilizar una prensa estándar con un sistema adicional de carga/sujeción. Además, únicamente se necesitan bajas fuerzas y presiones de

herramienta. Debido a que una de las matrices está diseñada para oscilar, también puede desplazarse fácilmente para proporcionar un buen acceso para aplicar lubricantes. Es más, siempre que se utilice una velocidad de carga adecuada, la distribución de la tensión es altamente uniforme. No se necesita que la parte frontal de la pletina tenga una forma especial (excepto en algunos casos que es biselada) y tampoco existen restricciones en la longitud, el grosor y el ancho de las pletinas. Por otra parte, la invención permite la posibilidad de procesar en paralelo las pletinas largas y las franjas/platos. También puede aplicarse una carga continua, siempre que la velocidad de carga no sea excesiva en comparación con la velocidad de la matriz oscilante, para que pueda realizarse la descarga del material, reduciendo así la fuerza de carga.

[0032] Una persona especialista en la técnica apreciará que las variaciones de las disposiciones publicadas son posibles sin alejarse del ámbito de las reivindicaciones. Por ejemplo, pese a que en los dibujos, el ángulo entre los canales se muestra a 90°, esto no es esencial. Además, el ángulo al que la matriz de trabajo "ataca" el material no necesita ser de 45° - este puede variar para aplicaciones particulares. Además, el número de giros del canal puede ser más de uno y la matriz de trabajo puede ser tanto lisa como perfilada. De manera adicional, pese a que la pletina se describe con una sección transversal rectangular, podría también ser cuadrada o redonda. Además, pese a que en algunos modos de realización los canales se describen como secciones transversales sustancialmente iguales, esto no es esencial. El extremo frontal de la pletina puede ser tanto plano como perfilado (biselado). Es más, puede aplicarse una señal de excitación a la matriz para provocar que vibre, estas vibraciones estando súper impuestas al movimiento macro sinusoidal/oscilante de la matriz. La señal aplicada puede ser una señal ultrasónica. Por consiguiente, la descripción anterior de los modos de realización específicos se realiza únicamente como modo de ejemplo y no con la intención de limitar. Será evidente para alguien especialista en la técnica que pueden llevarse a cabo modificaciones menores sin cambiar significativamente el método y aparato de la invención.

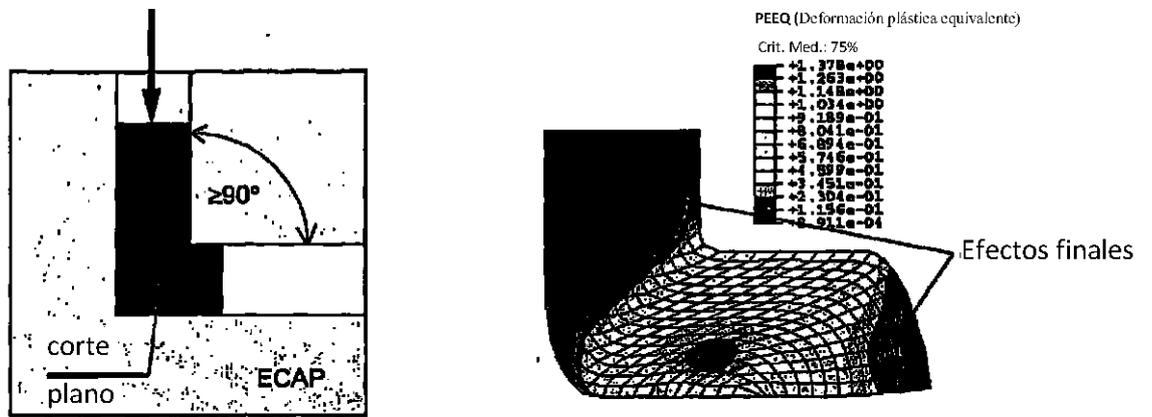
30

Reivindicaciones

1. Un método para tratar una pletina de metal para cambiar sus propiedades mecánicas y/o físicas reduciendo el grano, el método incluyendo la carga de la pletina a través de un primer canal y un segundo canal inclinado hacia el primer canal **caracterizado por** la deformación de la pletina al cargarla y descargarla repetidamente utilizando al menos una matriz oscilante (c) en una intersección entre el primer y el segundo canal con tal de procesar la longitud total de la pletina, en el que la matriz oscilante (c) define parte del segundo canal y el primer y el segundo canal empujan la pletina en una dirección perpendicular a un flujo plano de la pletina, provocando así una tensión plana de la pletina.
2. Un método de acuerdo con la reivindicación 1 comprendiendo la restricción de la pletina durante la fase de carga.
3. Un método de acuerdo con la reivindicación 2 en el que la fase de restricción incluye la sujeción de la pletina.
4. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores en el que la carga de la pletina se realiza en pasos graduales.
5. Un método de acuerdo con la reivindicación 1 en el que la carga de la pletina se lleva a cabo de manera continua.
6. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores en el que matriz oscilante (c) es operable a fin de proporcionar un movimiento oscilante con una frecuencia mayor a las frecuencias ultrasónicas.
7. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores incluyendo la superposición de una señal de frecuencia relativamente alta, por ejemplo una señal ultrasónica, sobre la matriz oscilante.
8. Un aparato para tratar una pletina metálica con tal de cambiar sus propiedades mecánicas y/o físicas reduciendo el tamaño de grano, el aparato incluyendo un primer canal y un segundo canal, el segundo canal estando inclinado hacia el primer canal, un mecanismo de carga para cargar la pletina a través del primer y el segundo canal y **caracterizado por** al menos una matriz oscilante (c) para provocar una deformación plástica de la pletina cargando y descargándola repetidamente en una intersección entre el primer y el segundo canal con tal de procesar la longitud total de la pletina, en el que la matriz oscilante (c) define parte del segundo canal y el primer y el segundo canal empujan la pletina en una dirección perpendicular a un flujo plano de la pletina, provocando así una tensión plana de la pletina.
9. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 8, incluyendo también un medio

para retener la pletina, por ejemplo una pinza de compresión, durante la carga.

10. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 8 o la 9, en el que el mecanismo de carga es operable para cargar de manera gradual la pletina.
11. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 8, en el que el mecanismo de carga
5 es operable para cargar de manera continua la pletina.
12. Un aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones de la 8 a la 11, en el que la cara de trabajo de la matriz oscilante es plana.
13. Un aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones de la 8 a la 11, en el que la cara de trabajo de la matriz oscilante es perfilada.
- 10 14. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 13 en el que el perfil de la cara de trabajo es de punta.
15. Un aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones de la 8 a la 14 incluyendo tres o más canales.
16. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 15, en el que la matriz oscilante (c)
15 es operable para cargar/descargar la pletina en dos o más intersecciones definidas por los tres o más canales.
17. Un aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones hasta la 16 en el que el medio para definir los canales incluye dos o más matrices (A, B, C).
18. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 17, en el que al menos una de las
20 matrices (A, B) es operable para sujetar la pletina en su lugar.
19. Un aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones de la 8 a la 18, en el que el borde frontal de cada pletina está perfilado, por ejemplo biselado.
20. Un aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones de la 8 a la 18, en el que todos los canales tienen una sección transversal que es igual o
25 sustancialmente igual.
21. Un aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones de la 8 a la 18, en el que el primer canal está adaptado para recibir dos o más pletinas.
22. Un aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones de la 8 a la 21,
30 incluyendo un medio para superponer una señal de frecuencia relativamente alta, como una señal ultrasónica, sobre la matriz oscilante (c).



Esquemas de los resultados de distribución de tensión del ECAP y el FEM

Figura 1

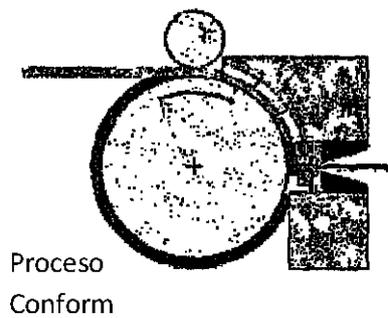


Figura 2

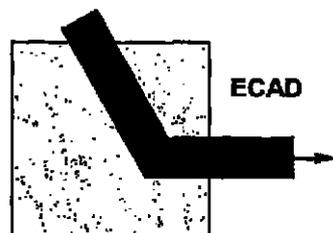


Figura 3

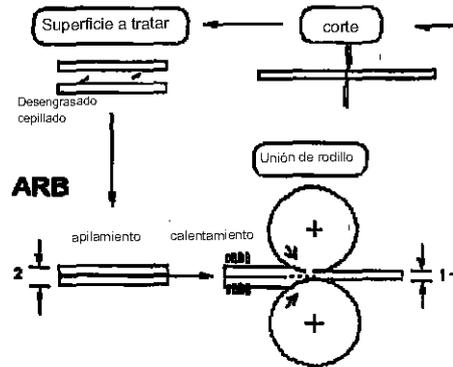


Figura 4

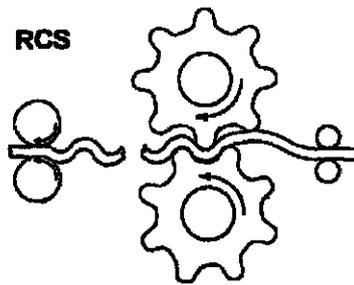


Figura 5

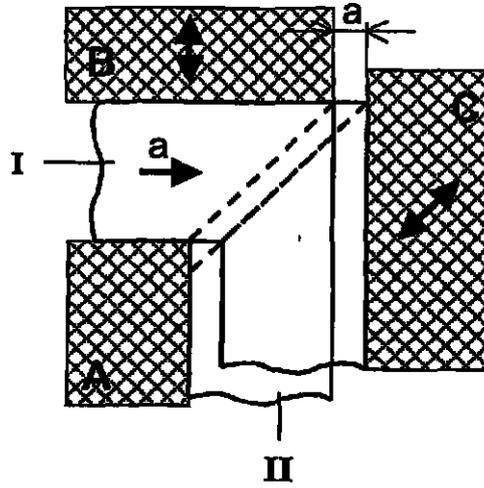


Figura 6

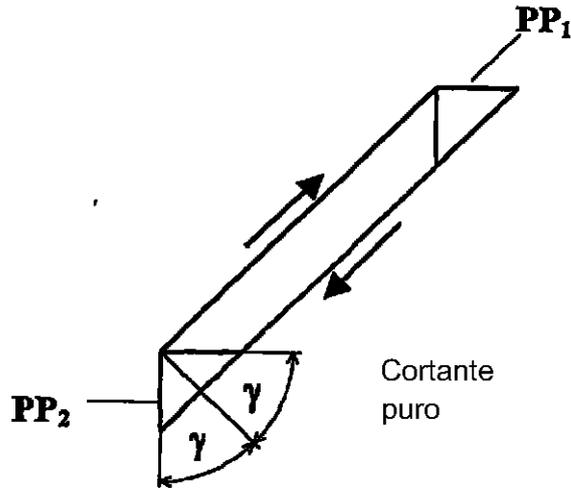


Figura 7

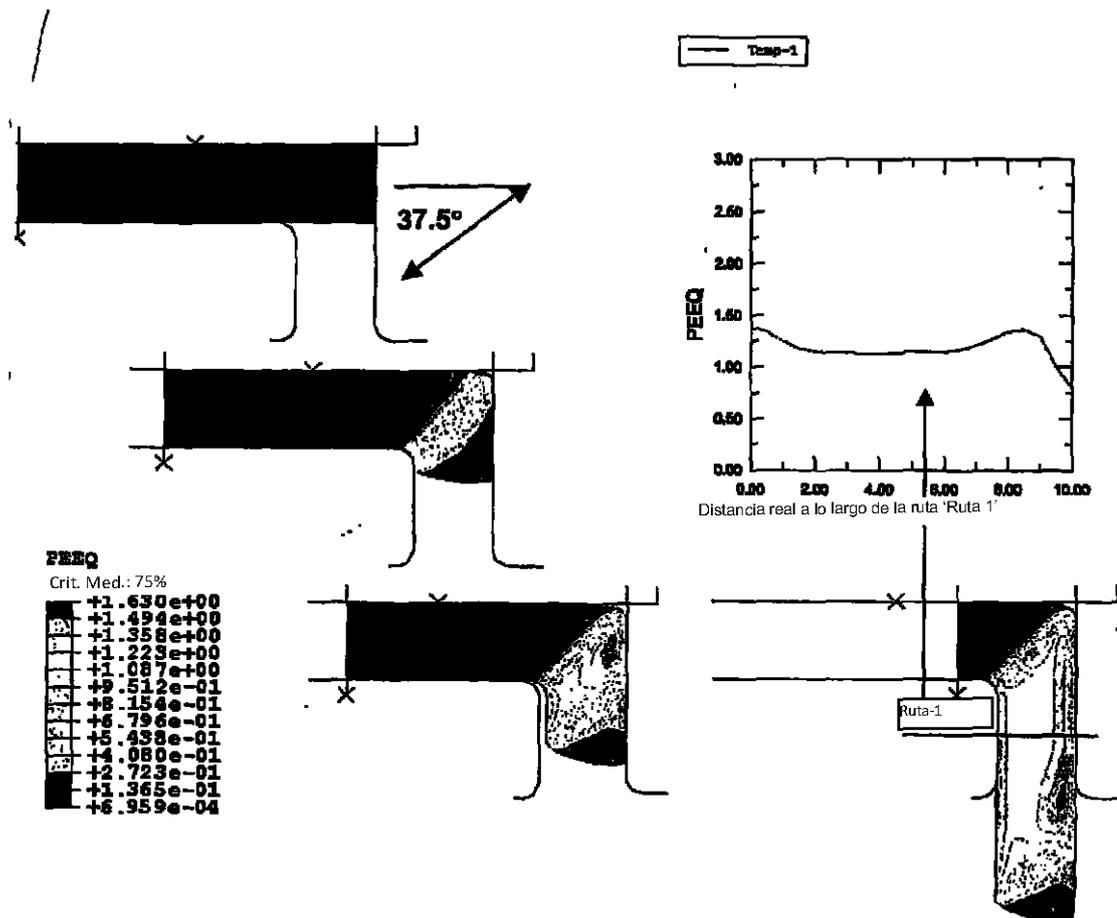
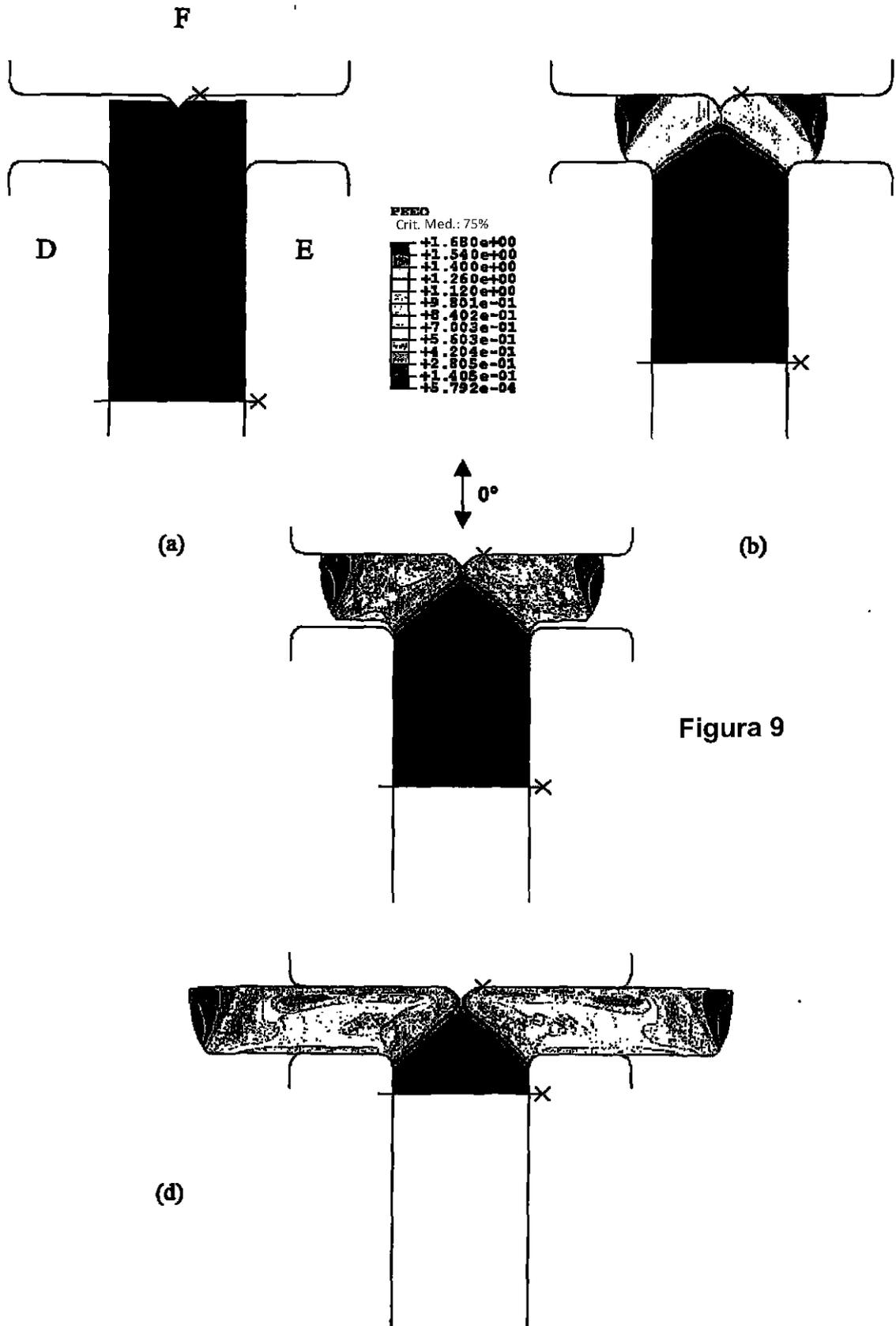


Figura 8



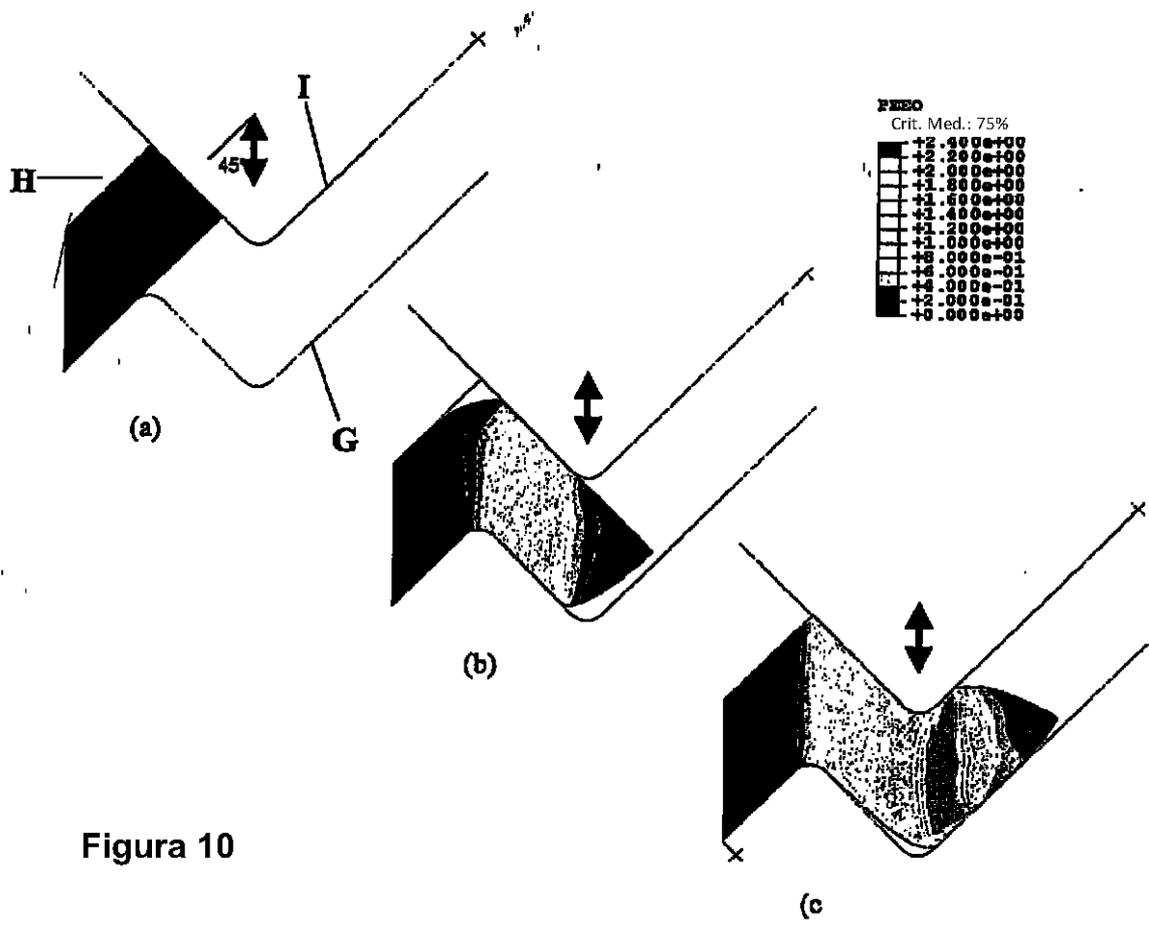


Figura 10

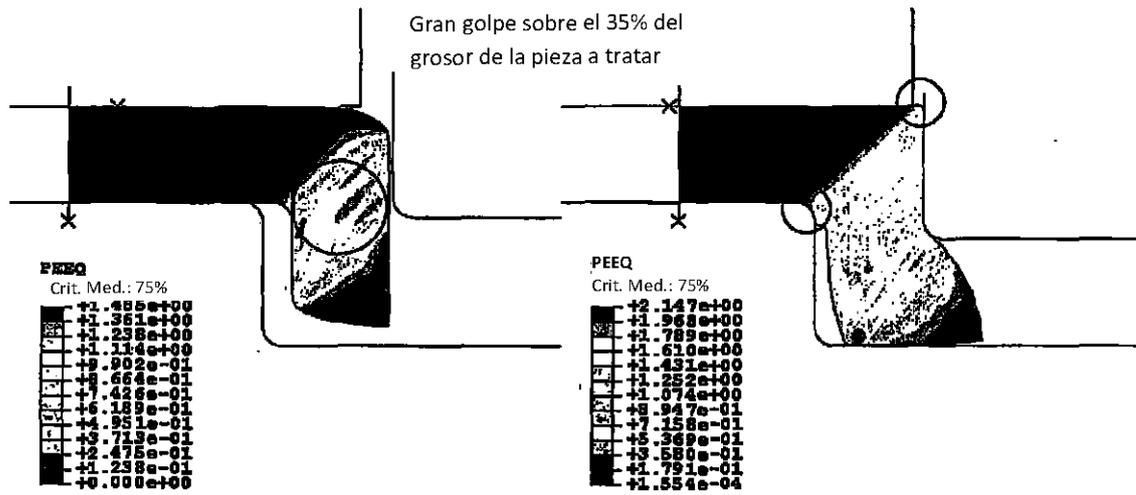


Figura 11

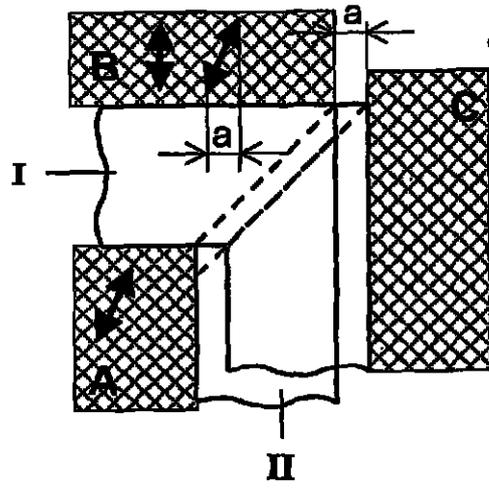


Figura 12

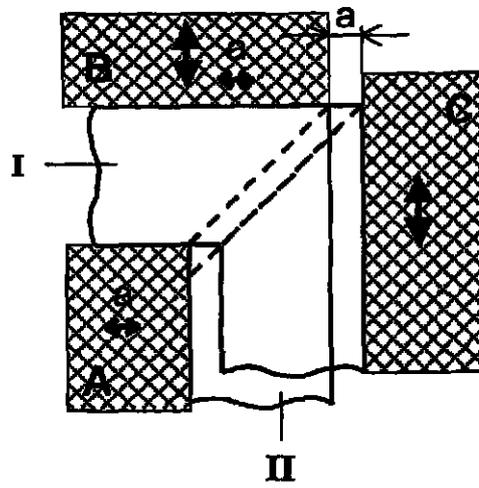


Figura 13