

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 709 206**

51 Int. Cl.:

B21D 28/24 (2006.01)
B21D 28/00 (2006.01)
C21D 1/18 (2006.01)
C21D 9/00 (2006.01)
C22C 38/00 (2006.01)
C22C 38/18 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **09.05.2014 PCT/JP2014/062534**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **13.11.2014 WO14181882**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.05.2014 E 14795101 (6)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **31.10.2018 EP 2995395**

54 Título: **Método de cizalladura en caliente con afino de grano en capa superficial y pieza de trabajo obtenida por cizalladura en caliente con afino de grano en capa superficial**

30 Prioridad:

09.05.2013 JP 2013099243

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

15.04.2019

73 Titular/es:

**NIPPON STEEL & SUMITOMO METAL CORPORATION (100.0%)
6-1, Marunouchi 2-chome, Chiyoda-ku
Tokyo 100-8071, JP**

72 Inventor/es:

**MATSUNO, TAKASHI;
SEKITO, YOSHIHITO;
SUZUKI, TAMAKI;
KAWASAKI, KAORU y
SETO, ATSUSHI**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 709 206 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Método de cizalladura en caliente con afino de grano en capa superficial y pieza de trabajo obtenida por cizalladura en caliente con afino de grano en capa superficial

5 Campo técnico
La presente invención está relacionada con un método de cizalladura en caliente con afino de grano en capa superficial de una chapa de acero, que tiene un contenido de carbono del 0,15 % o más en masa y se usa en automóviles, embarcaciones, puentes, equipos de construcción, diversas plantas, o algo semejante, y una pieza de trabajo obtenida por cizalladura en caliente con afino de grano en capa superficial.

10 Antecedentes de la técnica
Desde el pasado, un material metálico (chapa de acero) que se va a usar en automóviles, embarcaciones, puentes, equipos de construcción, diversas plantas, o algo semejante a menudo ha sido sometido a cizalladura por un troquel y una matriz. Recientemente, desde el punto de vista de la seguridad y ligereza de peso, se han fortalecido diversos miembros, y como se describe en "Press Technology", Vol. 46 n.º 7, p. 36-41 (más adelante en esta memoria, se le hace referencia como "Bibliografía no de patente 1"), se realiza prensado con templado en el que se realizan formación en prensa y tratamiento térmico casi simultáneamente para formar un miembro de alta resistencia.

15 Una pieza de trabajo general prensada en frío se somete a cizalladura tal como troquelado y recorte tras ser sometida a formación en prensa. Sin embargo, cuando la pieza de trabajo prensada-templada se somete a cizalladura tras ser sometida a formación, la vida en servicio de una herramienta de cizalladura se vuelve significativamente más corta debido a la alta dureza del miembro. Adicionalmente, existe la preocupación de que ocurre la fractura retardada debido a esfuerzo residual en una parte cizallada. Así, la pieza de trabajo prensada-templada a menudo se somete a corte con láser en lugar de cizalladura.

20 Sin embargo, como el corte con láser requiere costes, por ejemplo, hasta el momento se han propuesto los siguientes métodos: un método para realizar un tratamiento térmico después de cizallar (por ejemplo, véase la solicitud de patente japonesa abierta a la inspección pública (JP-A) n.º 2009-197253 (más adelante en esta memoria, se le hace referencia como "bibliografía de patente 1")); métodos para reducir el esfuerzo residual en una parte cizallada realizando simultáneamente cizalladura y prensado en caliente antes de templar (por ejemplo, véase el documento JP-A n.º 2005-138111 (más adelante en esta memoria, se le hace referencia como "bibliografía de patente 2")), JP-A n.º 2006-104526 (más adelante en esta memoria, se le hace referencia como "bibliografía de patente 3"), y JP-A n.º 2006-83419 (más adelante en esta memoria, se le hace referencia como "bibliografía de patente 4")); un método para reducir la dureza de temple reduciendo gradualmente una tasa de enfriamiento de una parte cizallada (por ejemplo, véase el documento JP-A n.º 2003-328031 (más adelante en esta memoria, se le hace referencia como "bibliografía de patente 5")); un método de trabajo para ablandar únicamente una parte programado para cizalladura a realizar calentamiento eléctrico local (por ejemplo, véase "CIRP Annals-Manufacturing Technology" 57 (2008), p. 321-324 (más adelante en esta memoria, se le hace referencia como "bibliografía no de patente 2")); y una tecnología relacionada con cizalladura para controlar estructuras en una capa superficial de un plano de cizalladura en una chapa de acero de alta resistencia para mejorar la resistencia a fractura retardada (véase el documento JP-A n.º 2012-237041 (más adelante en esta memoria, se le hace referencia como "bibliografía de patente 6")).

45 **COMPENDIO DE LA INVENCION**

Problema técnico
Hay varios problemas en los métodos descritos en las bibliografías de patente 1 a 6 y el método descrito en la bibliografía no de patente 2. Según el método descrito en la bibliografía de patente 1, como el método se puede usar únicamente para un material específico y se usa para realizar cizalladura en un material templado, no se resuelve el problema tal como deterioro de la vida en servicio de la herramienta.

50 Según los métodos descritos en las bibliografías de patente 2 a 4, se puede reducir el esfuerzo residual en la parte cizallada provocado por resistencia a deformación de la chapa de acero, pero no es posible reducir el esfuerzo térmico provocado por agarrotamiento de la herramienta y no uniformidad de un contacto con una matriz durante el temple y reducir el esfuerzo residual provocado por la transformación de la chapa de acero. Por lo tanto, cuando la ductilidad de la parte cizallada en caliente es baja, no se resuelve un problema tal como aparición de la fractura retardada. En las bibliografías de patente 2 a 4 no se describe un método para mejorar la ductilidad de la parte cizallada en caliente.

60 Según el método descrito en la bibliografía de patente 5, se considera que la ductilidad puede ser mejorada porque la parte cizallada de la chapa de acero no se endurece, pero un tiempo de cizalladura se hace más largo y así aumentan los costes ya que la tasa de enfriamiento se vuelve más lenta. Según el método descrito en la bibliografía no de patente 2, se necesita preparar una nueva matriz formada con un aparato de calentamiento eléctrico para cizallar y así aumentan los costes.

65

Según el método descrito en la bibliografía de patente 6, tiene el efecto excelente de mejorar la resistencia a fractura retardada, pero se define una temperatura inicial de cizalladura de 400 ° C a 900 ° C independientemente de un material de un miembro a cizallar o una tasa de enfriamiento. Por esta razón, la cizalladura puede ocurrir en un intervalo de temperaturas (lado de temperatura baja), en el que ocurre la fractura retardada, que depende de los materiales del miembro a cizallar o las condiciones de cizalladura. Por el contrario, cuando la cizalladura se realiza a alta temperatura más de la necesaria de manera que no ocurre la fractura retardada, la cantidad de expansión térmica se vuelve más grande y un cambio dimensional se hace más grande en el momento de volver a una temperatura ambiente. Como resultado, el error dimensional de la pieza de trabajo se vuelve mayor. Por lo tanto, en un caso en el que la temperatura de cizalladura sea controlada con precisión a la temperatura inferior según condiciones de cizalladura reales, todavía existe la posibilidad de suprimir la fractura retardada mientras además se mejora la precisión de cizalladura de la pieza de trabajo.

La bibliografía de patente 6 describe que la fractura retardada no ocurre cuando hay presente ferrita fina en la superficie de una parte de cizalladura. Sin embargo, por ejemplo, en números experimentales 36 a 40 en los que se usa una chapa de acero A8 indicada en la Tabla 5 obtenida por la chapa de acero componente A8 o A9 indicado en la Tabla 1 del Ejemplo, incluso cuando la cizalladura se realiza a la misma temperatura de cizalladura y tasa de enfriamiento bajo las mismas condiciones de calentamiento y condiciones de mantenimiento, las estructuras varían y así la fractura retardada puede ocurrir en algunos casos. Incluso cuando se usa una chapa de acero A9 indicada en la Tabla 5, se obtuvieron los mismos resultados.

A fin de resolver los problemas anteriores, la invención tiene tareas para impedir que ocurra la fractura retardada en una parte cizallada en caliente y para mejorar la precisión de cizalladura de una pieza de trabajo sin aumentar el tiempo de cizalladura y nuevas etapas, y un objeto del mismo es proporcionar un método de cizalladura en caliente con afino de grano en capa superficial y una pieza de trabajo obtenida por cizalladura en caliente con afino de grano en capa superficial, que cumple estos requisitos, con el propósito de lograr estas tareas.

Solución al problema

Los presentes inventores han estudiado intensamente una técnica para resolver los problemas anteriores. Como resultado, los inventores encontraron que en un caso en el que una temperatura para el inicio de cizalladura (temperatura inicial de cizalladura) se establece a un intervalo apropiado sobre la base de la cantidad de deformación plástica equivalente de una capa superficial de una parte cizallada, no ocurre fractura retardada incluso cuando queda alto esfuerzo residual en la parte cizallada.

Esto es, la cantidad de deformación plástica equivalente de la parte cizallada se ve afectada por una temperatura durante la cizalladura y una estructura antes de la cizalladura (ferrita o austenita), pero se cambia una estructura después de la cizalladura de manera diferente dependiendo de la cantidad de deformación plástica equivalente de la parte cizallada y la temperatura de cizalladura. En cuanto a cómo difiere la estructura, composiciones de la chapa de acero, condiciones de pensado e historiales de temperatura asociados con estas condiciones de prensado cuando se realiza prensado antes de la cizalladura contribuyen a lo mismo. Los inventores encontraron condiciones en las que incluso cuando queda alto esfuerzo residual en la parte cizallada, se mejora la precisión dimensional sin aparición de la fractura retardada al optimizar la temperatura de cizalladura en vista de todos estos factores.

En particular, los inventores confirmaron, en un acero al carbono para uso estructural de máquina definido en JIS G 4051 que tiene un contenido de carbono del 0,15 % o más en masa o que tiene preferiblemente un contenido de carbono del 0,48 % o menos en masa en vista de facilidad de trabajo en frío tras enfriamiento de cizalladura, que la invención era aplicable a chapas de acero laminadas en frío S17C, S25C, S35C y S45C definidas en JIS G 4051 cuando un punto Ar3 medido realmente es aproximadamente de 500 ° C o inferior en el momento de enfriamiento a su ritmo.

La invención ha sido realizada sobre la base de los hallazgos anteriores y la esencia de los mismos de la siguiente manera.

Un primer aspecto de la invención es proporcionar un método de cizalladura en caliente con afino de grano en capa superficial que incluye: calentar y mantener una chapa de acero que tiene un contenido de carbono del 0,15 % o más en masa en un intervalo de temperaturas de Ac3 a 1400 ° C para austenizar la chapa de acero; posteriormente cizallar la chapa de acero en un estado en el que la chapa de acero se coloca sobre una matriz; y templar enfriando rápidamente la chapa de acero cizallada, en donde se establece una temperatura inicial de la cizalladura para que sea una temperatura (° C) obtenida al añadir una temperatura de 30 ° C a 140 ° C a una Ar3 medida previamente de la chapa de acero.

Un segundo aspecto de la invención es proporcionar un método de cizalladura en caliente con afino de grano en capa superficial que incluye: calentar y mantener una chapa de acero que tiene un contenido de carbono del 0,15 % o más en masa en un intervalo de temperaturas de Ac3 a 1400 ° C para austenizar la chapa de acero; posteriormente cizallar la chapa de acero en un estado en el que la chapa de acero se coloca sobre una matriz; y

templar enfriando rápidamente la chapa de acero cizallada, en donde se establece una temperatura inicial de la cizalladura para que sea una temperatura (° C) obtenida al añadir un valor, que se calcula multiplicando una cantidad de deformación plástica equivalente de una capa superficial en una parte cizallada por un coeficiente de 40 a 60, a una Ar3 medida previamente de la chapa de acero.

5 Un tercer aspecto de la invención es proporcionar el método de cizalladura en caliente con afino de grano en capa superficial según el segundo aspecto de la invención, en donde la cantidad de deformación plástica equivalente de la capa superficial en la parte cizallada se calcula como valor promedio de una cantidad de deformación plástica equivalente de una región en un intervalo de 5 % a 20 % de un grosor de la chapa de acero desde un plano de cizalladura de la parte cizallada a un interior de la chapa de acero en una dirección normal al plano de cizalladura y en un intervalo del 20 % al 50 % del grosor de la chapa de acero en una dirección de grosor de la chapa de acero desde una parte inferior en un lado de rebaba de la parte cizallada.

15 Un cuarto aspecto de la invención es proporcionar el método de cizalladura en caliente con afino de grano en capa superficial según el segundo o tercer aspecto de la invención, en donde la cantidad de deformación plástica equivalente de la capa superficial en la parte cizallada se calcula mediante una simulación numérica que se realiza sobre la base de un diagrama esfuerzo-deformación a una temperatura de chapa de acero de 500 ° C a 800 ° C.

20 Un quinto aspecto de la invención es proporcionar el método de cizalladura en caliente con afino de grano en capa superficial según uno cualquiera del segundo aspecto al cuarto aspecto de la invención, en donde la cantidad de deformación plástica equivalente de la capa superficial en la parte cizallada se calcula sobre la base de una función de tensión de Mises representada por la siguiente Fórmula (1).

$$\overline{\sigma}_P = \sqrt{\frac{2}{3} (d \epsilon_{xx}^2 + d \epsilon_{yy}^2 + d \epsilon_{zz}^2 + 2d \epsilon_{xy}^2 + 2d \epsilon_{yz}^2 + 2d \epsilon_{zx}^2)} \quad (1)$$

25 Un sexto aspecto de la invención es proporcionar el método de cizalladura en caliente con afino de grano en capa superficial según el primer o segundo aspecto de la invención, en donde la cizalladura de la chapa de acero empieza dentro de tres segundos después de que la chapa de acero entra en contacto con la matriz.

30 Un séptimo aspecto de la invención es proporcionar el método de cizalladura en caliente con afino de grano en capa superficial según el primer o segundo aspecto de la invención, en donde el enfriamiento rápido se realiza cuando la chapa de acero entra en contacto con la matriz.

35 Un octavo aspecto de la invención es proporcionar el método de cizalladura en caliente con afino de grano en capa superficial según el primer o segundo aspecto de la invención, en donde el enfriamiento rápido se realiza cuando un chorro de agua desde una perforación formada en una parte de contacto de la chapa de acero con la matriz atraviesa un surco proporcionado en la parte de contacto de la chapa de acero.

40 Un noveno aspecto de la invención es proporcionar el método de cizalladura en caliente con afino de grano en capa superficial según el primer o segundo aspecto de la invención, en donde entre el calentamiento y la cizalladura de la chapa de acero se realiza formación en prensa que no acompaña fractura de la chapa de acero.

45 Un décimo aspecto de la invención es proporcionar una pieza de trabajo obtenida por cizalladura en caliente con afino de grano en capa superficial, que incluye: una chapa de acero que tiene un contenido de carbono del 0,15 % o más en masa, una capa superficial de una parte cizallada de la chapa de acero que tiene un contenido de carbono del 0,15 % o más en masa que incluye una fase de ferrita y un resto, la capa superficial es definida como amplitud hasta 100 μm dentro de la chapa de acero en una dirección normal a un plano de cizalladura desde un plano de fractura de la parte cizallada; en donde el resto incluye al menos una fase de bainita, una fase de martensita, o una fase de austenita residual que tienen un diámetro de grano de cristal de 3 μm o menos, e incluye cementita e inevitablemente inclusiones generadas; en donde la fase de ferrita tiene un tamaño de grano medio de 50 3 μm o menos; en donde la capa superficial contiene el 5 % o más de granos en número que tiene una relación de aspecto de 3 o más; y en donde una región fuera de la amplitud de 100 μm incluye: martensita e inevitablemente inclusiones generadas; o bainita, martensita, e inevitablemente inclusiones generadas.

55 Un decimoprimer aspecto de la invención es proporcionar la pieza de trabajo obtenida por cizalladura en caliente con afino de grano en capa superficial según el décimo aspecto de la invención, en donde, en la capa superficial, la cementita tiene una densidad de número de 0,8 pedazos/μm³ o menos y la cementita tiene una longitud máxima de 3 μm o menos.

60 Un decimosegundo aspecto de la invención es proporcionar la pieza de trabajo obtenida por cizalladura en caliente con afino de grano en capa superficial según el décimo o decimoprimer aspecto de la invención, en donde una relación de área total de la fase de bainita, la fase de martensita, y la fase de austenita residual, que se miden mediante un método de difracción de haz de electrones por retrodispersión (EBSD), es del 10 % al 50 % en la capa

superficial.

Un decimotercer aspecto de la invención es proporcionar una pieza de trabajo obtenida por cizalladura en caliente con afino de grano en capa superficial, la pieza de trabajo producida al: calentar y mantener una chapa de acero que tiene un contenido de carbono del 0,15 % o más en masa en un intervalo de temperaturas de Ac3 a 1400 ° C para austenizar la chapa de acero; posteriormente cizallar la chapa de acero en un estado en el que la chapa de acero se coloca sobre una matriz; y templar enfriando rápidamente la chapa de acero cizallada, en donde se establece una temperatura inicial de la cizalladura para que sea una temperatura (° C) obtenida al añadir una temperatura de 30 ° C a 140 ° C a una Ar3 medida previamente de la chapa de acero.

Un decimocuarto aspecto de la invención es proporcionar una pieza de trabajo obtenida por cizalladura en caliente con afino de grano en capa superficial, la pieza de trabajo producida al: calentar y mantener una chapa de acero que tiene un contenido de carbono del 0,15 % o más en masa en un intervalo de temperaturas de Ac3 a 1400 ° C para austenizar la chapa de acero; posteriormente cizallar la chapa de acero en un estado en donde la chapa de acero se coloca sobre una matriz; y templar enfriando rápidamente la chapa de acero cizallada, en donde se establece una temperatura inicial de la cizalladura para que sea una temperatura (° C) obtenida al añadir un valor, que se calcula multiplicando una cantidad de deformación plástica equivalente de una capa superficial en una parte cizallada por un coeficiente de 40 a 60, a una Ar3 medida previamente de la chapa de acero.

Efectos ventajosos de la Invención

Según un método de cizalladura en caliente con afino de grano en capa superficial y una pieza de trabajo obtenida por cizalladura en caliente con afino de grano en capa superficial de la invención, es posible suprimir la fractura retardada en una parte cizallada y proporcionar una pieza de trabajo que tiene excelente precisión dimensional sin aumentar el tiempo de cizalladura y nuevas etapas.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La figura 1A es un diagrama esquemático que ilustra un ejemplo de troquelado-cizalladura mediante un troquel y una matriz.

La figura 1B es un diagrama esquemático que ilustra un ejemplo de recorte-cizalladura mediante un troquel y una matriz.

La figura 2 es un diagrama que ilustra un ejemplo de una parte cizallada de una chapa de acero.

La figura 3 es un diagrama que ilustra una relación entre un historial de temperatura y un punto Ar3.

La figura 4A es un diagrama que ilustra un estado de un aparato de cizalladura en caliente usado en la Prueba A antes de cizallar.

La figura 4B es un diagrama que ilustra un estado del aparato de cizalladura en caliente usado en la Prueba A durante la cizalladura.

La figura 4C es un diagrama que ilustra un estado del aparato de cizalladura en caliente usado en la Prueba A después de cizallar.

La figura 5 es un diagrama que ilustra inclusiones (una imagen de microscopio electrónico de transmisión observada mediante un método de réplica), que son observadas mediante un método de réplica usando un microscopio electrónico de transmisión en el Ejemplo Comparativo, en una capa superficial de una parte cizallada.

La figura 6A es un diagrama que ilustra una región en la que se promedia deformación plástica equivalente.

La figura 6B es un diagrama que ilustra una región en la que se forma una estructura fina en una parte realmente cizallada en caliente.

La figura 7 es un ejemplo de estructura metálica (imagen EBSD) obtenida por el Ejemplo 1.

La figura 8 es un ejemplo de inclusiones (una imagen de microscopio electrónico de transmisión observada mediante un método de réplica) de una estructura metálica obtenida por el Ejemplo 1.

La figura 9A es un diagrama que ilustra un estado de doblez de un aparato de cizalladura en caliente usado en la Prueba B.

La figura 9B es un diagrama que ilustra un estado de cizalladura de un aparato de cizalladura en caliente usado en la Prueba B.

DESCRIPCIÓN DE REALIZACIONES

[Primera realización]

A continuación se describirá un método de cizalladura en caliente con afino de grano en capa superficial y una pieza de trabajo obtenida por cizalladura en caliente con afino de grano en capa superficial según una primera realización de la invención.

En primer lugar, se describirá cizalladura en general y entonces se describirá una parte cizallada de la pieza de trabajo cizallada que es sometida a la cizalladura.

Como se ilustra en las figuras 1A y 1B, se realiza troquelado-cizalladura o recorte-cizalladura en una chapa de acero 1 colocada sobre una matriz 3 al bajar un troquel 2. En este momento, como se ilustra en la figura 2, una parte

5 cizallada 8 de la chapa de acero 1 se configura mediante (a) una caída de cizalladura 4 que se forma de tal manera que la chapa de acero 1 es presionada totalmente por el troquel 2, (b) un plano de cizalladura 5 que se forma de tal manera que la chapa de acero 1 es atraída a un espacio libre entre el troquel 2 y la matriz 3 (una holgura entre el troquel 2 y la matriz 3) y luego es estirada localmente, (c) un plano de fractura 6 que se forma de tal manera que la chapa de acero 1 atraída al espacio libre entre el troquel 2 y la matriz 3 se fractura, y (d) una rebaba 7 que se genera en la superficie posterior de la chapa de acero 1.

10 En la siguiente descripción de la realización, los mismos componentes también se denotan mediante los mismos numerales de referencia y no se presentará la descripción detallada de los mismos.

15 En esta realización, se usa una expresión de "capa superficial de la parte cizallada", y esto se refiere a una región desde la superficie de la parte cizallada hasta 100 µm en una dirección normal al plano de cizalladura.

20 Más adelante en esta memoria, primero, se describen los hallazgos de los inventores sobre la cizalladura en caliente, luego se describe el método de cizalladura en caliente con afino de grano en capa superficial encontrado sobre la base de los hallazgos, y finalmente se describe la pieza de trabajo obtenida por cizalladura en caliente con afino de grano en capa superficial formada por este tipo de método de cizalladura junto con la operación del método de cizalladura.

25 En la cizalladura en caliente según esta realización, se usa una chapa de acero de la región de alto-carbono del 0,15 % o más en masa. Una temperatura inicial de transformación (punto Ae3) en un diagrama de estado desde austenita a ferrita de la chapa de acero es de 800 ° C a 900 ° C. Una parte, que es sometida a gran deformación plástica en el estado de austenita, se transforma a ferrita sin aparición de transformación de martensita incluso cuando es enfriado rápidamente. Por lo tanto, cuando es enfriado rápidamente tras ser cizallado en un intervalo de temperaturas de una única fase de austenita sobre la base del diagrama de estado, casi enteramente de la capa superficial de la parte cizallada que tiene gran deformación plástica se transforma en ferrita y otras partes, que no se deforman plásticamente, se transforman en martensita. Sin embargo, cuando la temperatura de cizalladura es alta, la precisión dimensional se vuelve pobre debido a la tensión térmica. Adicionalmente, existía el problema de que la variación en aparición de fractura retardada resulta de la ferrita deformada plásticamente en el momento de la cizalladura en un intervalo de temperaturas en el que la austenita y la ferrita se mezclan sobre la base del diagrama de estado.

35 Entonces, los inventores han experimentado realizando la cizalladura sobre la chapa de acero que se somete a tratamiento de inmersión seguido por un cambio de temperatura desde el inicio a la cizalladura (temperatura de inicio de cizalladura). Con respecto a la temperatura inicial de cizalladura, se incrustó un termopar en el centro en una dirección de grosor de la chapa en una posición espaciada de 3 a 5 mm desde una posición de cizalladura de la chapa de acero para medir la temperatura al inicio de la cizalladura. Como la chapa de acero es liberada por calor y así se baja la temperatura cuando entra en contacto con una matriz, la cizalladura de la chapa de acero se inicia en menos de tres segundos después de que la chapa de acero entre en contacto con la matriz.

40 En esta realización, la "matriz" se refiere a la matriz 3 y una plaquita 12 (véase la figura 4A) para ser usada durante la cizalladura. Además, el significado de "después de que la chapa de acero entra en contacto con la matriz" se refiere al tiempo después de que la chapa de acero 1 entra en contacto con la matriz 3 o la plaquita 12.

45 Como resultado, los inventores encontraron que hay un intervalo de temperaturas en el que la fractura retardada no ocurre en la parte cizallada (plano de fractura) de la chapa de acero y se mejora la precisión dimensional y que este intervalo de temperaturas varía dependiendo de las condiciones de cizalladura o los componentes de la chapa de acero. Los inventores también encontraron que el control de enfriamiento de la chapa de acero antes de que la cizalladura también afecte a la fractura retardada de la parte cizallada (plano de fractura) o la precisión dimensional de la pieza de trabajo.

50 Los inventores encontraron que se añaden bainita fina o martensita fina y austenita residual fina además de ferrita fina y que la cementita se reduce cuando se establece la temperatura inicial de cizalladura para que sea una temperatura apropiada como se describirá más adelante.

55 En general, la estructura de ferrita fina tiene una tenacidad más alta que la estructura de martensita. Por lo tanto, cuando la estructura de ferrita fina que tiene alta tenacidad está presente en la capa superficial de la parte cizallada, se suprime la fractura retardada.

60 La temperatura inicial de cizalladura que tiene un intervalo de temperaturas apropiado se obtuvo al considerar cambios de temperatura en la cizalladura en caliente y además calculando el tamaño de deformación por cizalladura.

65 La chapa de acero fue calentada primero a 950 ° C y después de mantuvo durante 90 segundos y después se enfrió en un estado de estar colocada en cuatro agujas puntiagudas (más adelante en esta memoria, a veces se le hace referencia como un "soporte de espigas"), se midió la temperatura de transformación de la chapa de acero. La

ES 2 709 206 T3

temperatura fue medida por el termopar incrustado en la chapa de acero.

El punto Ar3 medido es una temperatura que empieza a transformar a una estructura cristalina BBC tal como ferrita a partir de la estructura de austenita de un cristal FCC a una tasa de enfriamiento finita en lugar de la suposición de que la tasa de enfriamiento es cero como en el diagrama de estado.

El punto Ar3 medido era significativamente diferente en el intervalo de 200 a 300 ° C de una temperatura de transformación (punto Ae3) a la que austenita cambió a ferrita como se ilustra en el diagrama de estado. Además, el punto Ar3 medido en un estado de contacto superficial con la matriz (templar es inadecuado, pero la tasa de enfriamiento es más rápida comparado con el caso del soporte de espigas) fue tan bajo como aproximadamente 400 ° C comparado con el punto Ae3, esto es, fue tan bajo como aproximadamente 100 ° C comparado con el caso del soporte de espigas.

El hecho de que el punto Ar3 sea inferior al punto Ae3 es de conocimiento técnico común en el campo de materiales metálicos. Sin embargo, no es clara una diferencia cuantitativa entre el punto Ar3 y el punto Ae3. Por pruebas de los inventores, estaba claro que la significativa diferencia entre el punto Ar3 y el punto Ae3 está presente en la cizalladura en caliente como se ha descrito anteriormente.

Por referencia, resultados de la medición del punto Ar3 mediante el método de medición anterior (soporte de espigas) se ilustran en la figura 3. La chapa de acero que se usaba principalmente tenía un grosor de chapa de 1,5 mm. El intervalo del grosor de la chapa de acero a usar en la cizalladura es de aproximadamente 0,5 mm a 3,0 mm. Como el punto Ar3 es la temperatura inicial de transformación en el que la austenita se cambia a la ferrita, no es necesario incluir cizalladura y un proceso de temple (enfriamiento rápido) en la medición del punto Ar3. Por consiguiente, el proceso de temple no se incluye en la gráfica de la figura 3.

En la figura 3, inicialmente, la tasa de enfriamiento era 7 ° C/s, y la tasa de enfriamiento disminuye bruscamente cuando el tiempo ha transcurrido 50 segundos desde un inicio de enfriamiento. Una temperatura (aproximadamente 680 ° C) de la chapa de acero a la que la tasa de enfriamiento de la chapa de acero es igual o menor que 1 ° C/s se identifica como la temperatura de transformación (punto Ar3). En el momento de la medición del punto Ar3, la chapa de acero se enfría a temperatura ambiente tal como está, pero, de hecho, la cizalladura se inicia a una temperatura más alta que el punto Ar3 y entonces se realiza el proceso de temple.

En esta realización, una temperatura Ar3 medida usando el mismo método que en el caso del soporte de espigas anterior bajo condiciones de colocación de una chapa a cizallar realmente se define como la "Ar3 medida (de la chapa de acero)". La tasa de enfriamiento es generalmente aproximadamente de 5 ° C/s a 30 ° C/s (estado de enfriamiento a su ritmo) en el momento de la medición en muchos casos.

Siempre que se verifiquen condiciones apropiadas de cizalladura en caliente al realizar el experimento anterior como prueba preliminar, cuando se realiza apropiada gestión de temperatura de inmersión de la chapa de acero y gestión de tiempo hasta el inicio de cizalladura tras colocar la chapa de acero en la matriz en etapas de un proceso de producción en serie real, no es necesario realizar la operación tras preparar la matriz en la que se incrusta el termopar y medir una temperatura de superficie de la chapa de acero a cizallar en el momento del inicio de cizalladura para cada cizalladura. En caso de realizar la operación midiendo la temperatura de superficie de la chapa de acero en el proceso de producción en serie, la temperatura de superficie de la chapa de acero puede ser medida inmediatamente antes de la cizalladura en caliente usando un termómetro de radiación.

Partiendo del hecho de que la deformación plástica provocada por la cizalladura está relacionada con la estructura de la parte cizallada como se ha descrito anteriormente, los inventores derivaron por cálculo numérico deformación plástica en las inmediaciones de la parte cizallada. Aquí, la deformación plástica fue evaluada como deformación plástica equivalente.

Partiendo del hecho de que la cizalladura real se realiza en un intervalo más alto que la temperatura Ar3 medida, como premisa del cálculo, el valor numérico de las características mecánicas tales como resistencia a deformación de la chapa de acero fue definido como valor de austenita. Adicionalmente, se obtuvo la dependencia de temperatura de las características mecánicas de la austenita usando un valor de medición real en una prueba de tracción en caliente (tras calentar la chapa de acero a una temperatura más alta o igual al punto Ac3, la chapa de acero se enfría a su ritmo hasta una temperatura predeterminada, y luego se realiza una prueba de tracción) de acero equivalente 22MnB5 que se usa ampliamente para estampación en caliente. Tal dependencia de temperatura se describe en, por ejemplo, "Modeling and FE Simulation of Quenchable High Strength Steels Sheet Metal Hot Forming Process", de Hongsheng Liu, Jim Bao, Zhongwen Xing, Dejin Zhang, Baoyu Song, y Chengxi Lei, en Journal of Materials Engineering and Performance, Vol. 20(6), 2011, p.894 a p. 902" (más adelante en esta memoria, a veces se le hace referencia como "Bibliografía no de patente 3"), y los profesionales pueden usar valores descritos en esta bibliografía sin medir realmente los valores.

La deformación plástica obtenida por el cálculo numérico es la más grande en la superficie de la superficie de

cizalladura, y se vuelve más pequeña al alejarse de la superficie. Además, se encontró que una región de aparición de la deformación plástica equivalente del 100 % o más en la parte cizallada coincide con una región de aparición real de la estructura fina en un intervalo de temperaturas predeterminado.

5 Con respecto a los valores obtenidos por el cálculo numérico, preocupa que la variación sea provocada por analistas. Por lo tanto, los inventores realizaron el cálculo numérico usando grados de acero, analista y software de varias maneras. Como resultado del cálculo numérico, los inventores obtuvieron el resultado de que el intervalo de temperaturas en el que la región de aparición (distancia) de la deformación plástica equivalente del 100 % o más en la dirección normal al plano de cizalladura en la parte cizallada coincide con la región de aparición de la estructura fina en la dirección normal al plano de cizalladura es un intervalo de temperaturas más alto en aproximadamente 30 a 140 ° C que la Ar3 medida.

15 Aquí, en un intervalo de temperaturas más alto que una temperatura obtenida al añadir 140 ° C a la Ar3 medida (más adelante en esta memoria, a veces se le hace referencia como "más alta que Ar3 + 140 ° C"), la región de aparición de la deformación plástica equivalente de aproximadamente el 100 % en la dirección normal al plano de cizalladura en la parte cizallada que se obtiene por cálculo se vuelve más grande que la región fina real en la parte cizallada de la pieza de trabajo. Como resultado de análisis de la región de estructura fina, la región fue configurada principalmente por ferrita y carburo. Por otro lado, otras regiones excepto la capa superficial se configuran por una estructura de martensita.

20 La ferrita y la martensita tienen un volumen diferente, respectivamente, de la diferencia de una estructura de cristal y un estado de solución sólida del elemento. Por lo tanto, cuando la región de estructura fina se forma ampliamente en la capa superficial de la parte cizallada y la mayoría de la estructura fina se configura por ferrita, el área fronteriza entre la ferrita fina y la martensita fina aumenta. Como resultado, se deteriora la precisión dimensional de la pieza de trabajo. En consideración de la tensión térmica, la precisión dimensional de la pieza de trabajo se deteriora conforme la temperatura inicial de cizalladura se vuelve más alta.

30 Además, cuando la temperatura inicial de cizalladura es inferior a una temperatura obtenida al añadir 30 ° C a la Ar3 medida (más adelante en esta memoria, a veces se le hace referencia como "inferior a Ar3 + 30 ° C"), la región fina real es menor que la región de aparición de la deformación plástica equivalente del 100 % o más. Como la región de aparición de la deformación plástica equivalente del 100 % o más se vuelve más pequeña, la región de estructura fina real más pequeña que de este tipo de región se vuelve además más pequeña. A la temperatura inferior a "Ar3 + 30 ° C" que se mide, una pieza de austenita empieza a transformarse en ferrita por la influencia de distribución interna de calor, y dicha ferrita es deformada plásticamente por la cizalladura. En consecuencia, los inventores encontraron que el esfuerzo residual es excesivamente grande en la superficie de la parte cizallada de la pieza de trabajo y así aumenta el riesgo de fractura retardada.

40 Por otro lado, cuando la temperatura inicial de cizalladura es mayor que "Ar3 + 30 ° C", la chapa de acero es sometida a la cizalladura antes de que la austenita empiece a transformarse en ferrita, por lo que se evita excesivo esfuerzo residual en la parte cizallada debido a ferrita.

Sobre la base de los hallazgos anteriores, el método de cizalladura en caliente con afino de grano en capa superficial según esta realización se configuró de la siguiente manera.

45 Primero, se describirá brevemente una máquina de cizalladura usada en la prueba. Como se ilustra en la figura 4A, una máquina de cizalladura 10 incluye la matriz 3 sobre la que se coloca la chapa de acero 1, una plaquita 12 que se dispone sobre la matriz 3 para presionar la chapa de acero 1 colocada sobre la matriz 3, y un troquel 2 que se dispone dentro de la plaquita 12 y se inserta en una perforación 14 de la matriz 3 para troquelar una amplitud de la chapa de acero 1.

50 Primero, la chapa de acero 1 que tiene el contenido de carbono del 0,15 % o más en masa se coloca sobre la matriz 3 tras ser calentada en el intervalo de Ac3 a 1400 ° C más alta que la temperatura inicial de cizalladura en el intervalo de Ar3 + 30 ° C a Ar3 + 140 ° C y se somete a un tratamiento de inmersión (véase la figura 4A).

55 Entonces, como se ilustra en la figura 4B, después de que la chapa de acero 1 sobre la matriz 3 sea presionada por la plaquita 12, la chapa de acero 1 es sometida a la cizalladura por el troquel 2. Después de que la chapa de acero 1 sea colocada sobre la matriz 3, la cizalladura de la chapa de acero 1 se inicia en menos de tres segundos. Mediante el control del tiempo (tiempo de inicio de cizalladura) hasta que empieza la cizalladura después de que la chapa de acero 1 sea colocada sobre la matriz 3, la temperatura de la chapa de acero 1 durante la cizalladura es controlada en el intervalo de Ar3 + 30 ° C a Ar3 + 140 ° C.

60 Como se ilustra en la figura 4C, una amplitud predeterminada de la chapa de acero 1 es troquelada por el troquel 2, la chapa de acero 1 troquelada es enfriada rápidamente y templada por la matriz 3 y la plaquita 12, y así se forma una pieza de trabajo de cizalladura.

65

Se describirá el funcionamiento del método de cizalladura en caliente con afino de grano en capa superficial según esta realización como se ha descrito anteriormente y la pieza de trabajo obtenida por cizalladura en caliente con afino de grano en capa superficial (más adelante en esta memoria, a veces se le hace referencia como "pieza de trabajo") formada por este método de cizalladura.

En la parte cizallada 8 de la pieza de trabajo (chapa de acero) formado de esta manera, la capa superficial de la parte cizallada 8 definido como el intervalo hasta 100 μm al interior de la chapa de acero en una dirección normal al plano de cizalladura 5 incluye una fase de ferrita que forma al menos una parte del plano de fractura y el resto, y el resto tiene una fase de bainita, una fase de martensita, una fase de austenita residual, y cementita e inevitablemente inclusiones generadas. La fase de ferrita, la fase de bainita, la fase de martensita, y la fase de austenita residual que se forman en la capa superficial de la parte cizallada 8 tienen un tamaño de grano medio de 3 μm o menos, respectivamente. La capa superficial de la parte cizallada 8 contiene un 5 % o más granos en número que tienen una relación de aspecto de 3 o más. Adicionalmente, otras regiones excepto la capa superficial de la parte cizallada 8 incluyen una estructura mixta de una inclusión generada inevitablemente y martensita o una estructura mixta de martensita, bainita, y una inclusión generada inevitablemente.

Esto es, como la pieza de trabajo se forma por la cizalladura de la chapa de acero 1 calentada a la temperatura de punto Ar3 + 30 ° C al punto Ar3 + 140 ° C, se forman una estructura de ferrita fina, una estructura de martensita fina, una estructura de bainita fina, y una estructura de austenita residual fina en la capa superficial de la parte cizallada 8 (plano de fractura 6) (véase la figura 2). La figura 6B ilustra la chapa de acero 1 que realmente ha sido sometida a la cizalladura. Como se ilustra en la figura 6B, se forma una estructura fina 11 desde el plano de fractura 6 hacia el plano de cizalladura 5 en la parte cizallada 8 en la capa superficial, pero la estructura fina se forma particularmente hasta una profundidad de aproximadamente 100 μm desde la superficie en el plano de fractura 6.

La estructura de ferrita fina tiene generalmente una tenacidad más alta que la estructura de martensita.

Por consiguiente, como la estructura de ferrita fina de alta tenacidad está presente en la capa superficial de la parte cizallada 8 (plano de fractura 6), se suprime aparición de la fractura retardada en la parte cizallada 8 (plano de fractura 6) debido a la fractura retardada.

Como se describirá más adelante, en la pieza de trabajo según esta realización, la aparición de la fractura retardada en la parte cizallada 8 (plano de fractura 6) puede ser suprimida por la estructura de martensita fina, la estructura de bainita fina, y la estructura de austenita residual fina que se forman en la capa superficial de la parte cizallada 8 (plano de fractura 6).

Por referencia, la figura 7 ilustra una fotografía de estructura de la capa superficial de la parte cizallada obtenido mediante un EBSD de esta realización.

En la figura 7, una parte negra indica una fase de bainita, una fase de martensita o una fase de austenita residual. Como en la fotografía, aunque están presentes granos de cristal que tienen la relación de aspecto de 3 o más, la fractura retardada no ocurre por razones que se describirán más adelante.

El "tamaño de grano" usado en este documento significa un diámetro de círculo, esto es, un diámetro de conversión de círculo (diámetro equivalente de círculo) cuando un área de cada grano de cristal de ferrita, que es observado en una sección transversal a lo largo de la dirección de grosor de la chapa de acero en la dirección normal al plano de cizalladura, es sustituido por un círculo de la misma área.

La fase de bainita, la fase de martensita, o la fase de austenita residual en lugar de la única fase de la fase de ferrita fina están presentes en la capa superficial de la parte cizallada 8. Generalmente, la fase de bainita, la fase de martensita, o la fase de austenita residual presentes en la fase de ferrita atrapan hidrógeno difusible que provoca la fractura retardada. Por lo tanto, cuando estas fases están presentes en la fase de ferrita fina, es posible obtener el efecto de suprimir la fractura retardada.

Adicionalmente, cuando la fase de bainita, la fase de martensita o la fase de austenita residual se vuelven más finas para ser de 3 μm o menos, aumentan además los lugares para atrapar el hidrógeno difusible, y así la fractura retardada es suprimida aún más.

Por otro lado, la cementita tiene un pequeño efecto de atrapar el hidrógeno difusible y puede ser un punto de inicio de la aparición de la fractura retardada, por lo que es preferible que la cementita se vuelva más pequeña.

A fin de que el resto tenga la fase de bainita, fase de martensita y/o fase de austenita residual finas que tienen el tamaño de grano de 3 μm o menos, inevitablemente aparece ferrita que tiene una relación de aspecto de más de 3. Como resultado de análisis usando un microscopio electrónico de transmisión, la ferrita que tiene la relación de aspecto de más de 3 está en un estado en el que deformación plástica ocurre poco o es pequeña, pero no está en un estado de ser deformada plásticamente y estirada como se describe en la bibliografía de patente 6, por lo que la

ferrita no afectó negativamente a la resistencia a la fractura retardada. Si bien los detalles de la operación no están claros, a fin de que el resto tenga la fase de bainita, la fase de martensita o la fase de austenita residual descritas anteriormente, esencialmente está presente la estructura de ferrita que tiene la relación de aspecto de más de 3.

5 A fin de hacer también estas estructuras, se necesita ajustar la temperatura de cizalladura a un intervalo de temperaturas de $Ar3 + 30^\circ C$ a $Ar3 + 140^\circ C$. Se considera que como la chapa de acero se enfría en una cierta tasa de enfriamiento, la estructura de austenita permanece a la temperatura de cizalladura, pero se añade la cantidad apropiada de la deformación por cizalladura y ya se han generado núcleos de transformación para transformarse en otras fases distintas a la martensita. En este caso, la tasa de enfriamiento contribuye a cualquier transformación de fase.

10 La tasa de enfriamiento es rápida cuando la temperatura supera $Ar3 + 140^\circ C$, y la austenita se vuelve a un estado superenfriado durante el enfriamiento (la temperatura es inferior a un intervalo de temperaturas en el que puede estar presente la morfología de estructura) cuando se aplica la deformación por cizalladura en la medida que no puede ocurrir transformación a martensita. En un caso de este tipo, la austenita se transforma fácilmente en una estructura de ferrita fina.

20 Por otro lado, cuando la temperatura es igual o inferior a $Ar3 + 140^\circ C$, se forman granos en los que no ocurre transformación a ferrita y tampoco ocurre transformación a martensita bajo la influencia de deformación por cizalladura. Dichos granos se vuelven una fase de bainita. Adicionalmente, también hay presentes granos en los que la deformación por cizalladura es pequeña y ocurre transformación a martensita. Adicionalmente, la transformación a las tres fases no uniformes induce parcialmente enriquecimiento de carbono a austenita, y dicha austenita se vuelve austenita residual a fin de ser estable incluso a temperatura ambiente. Como estas fases ocurren entre los granos de ferrita fina, las propias fases también se vuelven más finas para ser de $3\ \mu m$ o menos.

25 A fin de formar establemente estas estructuras, la cizalladura de la chapa de acero preferiblemente se inicia en menos de tres segundos después de que la chapa de acero entre en contacto con la matriz. Cuando la cizalladura se inicia después de tres segundos, ocurre escamado en la superficie de la chapa de acero y el contacto de la matriz con la chapa de acero se vuelve no uniforme. Cuando ocurre irregularidad de calor debido al contacto no uniforme, se provoca variación en la condición de enfriamiento de la parte cizallada.

30 Adicionalmente, la figura 5 ilustra distribución de cementita en la capa superficial del plano de fractura cuando la chapa de acero descrita en la bibliografía de patente 6 se somete a la cizalladura a una temperatura más alta que el punto $Ar3 + 140^\circ C$. En la bibliografía de patente 6, como la temperatura inicial de cizalladura simplemente se establece a únicamente un intervalo de temperaturas de $400^\circ C$ a $900^\circ C$, la temperatura inicial de cizalladura también incluye el caso de ser más alta que $Ar3 + 140^\circ C$. En este caso, por ejemplo, como se ilustra en la figura 5, la cementita C (partes negras excluidos círculos) tiene una densidad de número de $0,8\ pedazos/\mu m^3$ o más y la longitud máxima de $3\ \mu m$ o más.

40 Por otro lado, en caso de esta realización, la cementita (parte negras excluidos círculos) en la capa superficial del plano de fractura de la chapa de acero tiene una densidad de número de $0,8\ piezas/\mu m^3$ o menos y la longitud máxima de $3\ \mu m$ o menos indicada en los resultados de prueba (figura 8) que se describirá más adelante. Según la experiencia de los inventores, cuando el número de cementita es pequeño en esta medida y el tamaño de cementita también es pequeño, la cementita por sí misma casi no provoca un problema de ser un punto de inicio de la aparición de la fractura retardada.

45 Como se ilustra en la figura 7, una relación de área total de la fase de bainita, la fase de martensita o la fase de austenita residual, que se mide por observación en el intervalo hasta $100\ \mu m$ al interior de la chapa de acero en la dirección normal al plano de cizalladura desde el plano de fractura en la parte cizallada de la chapa de acero usando un método de difracción de haz de electrones por retrodispersión (EBSD), es del 10 % al 50 %.

50 Como para esto, según la experiencia de los inventores, cuando la relación de área total de estas fases es menor del 10 %, no es posible realizar suficientemente el almacenamiento del hidrógeno difusible y aumenta el riesgo de fractura retardada. Por otro lado, cuando la relación de área total de estas fases supera el 50 %, se reduce la ratio de la ferrita fina en la capa superficial del plano de fractura, por lo que mejora el efecto de tenacidad debido a que disminuye la ferrita fina y aumenta el riesgo de la fractura retardada. Aunque el efecto de la invención no desaparece inmediatamente cuando la relación de área total de estas fases está fuera de dicho intervalo, la relación de área total de estas fases está más preferiblemente dentro de este tipo de intervalo.

60 Un método para enfriar rápidamente la chapa de acero 1 tras la cizalladura no se limita a enfriamiento rápido por el contacto de la matriz (matriz 3 y plaquita 12) con la chapa de acero 1 como en esta realización y, por ejemplo, la chapa de acero 1 puede ser enfriada rápidamente permitiendo que la chapa de acero 1 entre directamente en contacto con agua. Ejemplos del método para permitir que la chapa de acero 1 entre en contacto con agua pueden incluir un método para hacer pasar agua de enfriamiento a través de un surco formado en una parte de contacto de la chapa de acero con la matriz.

65

Incluso en caso de realizar la cizalladura tras la formación en prensa, como en la pieza de trabajo de esta realización, es posible suprimir la fractura retardada de la parte cizallada para formar una pieza de trabajo con precisión dimensional.

[Segunda realización]

Se describirá un método de cizalladura en caliente con afino de grano en capa superficial según un segundo realización de la invención. Los mismos componentes que en la primera realización están denotados por los mismos numerales de referencia, y no se presentará la descripción detallada de los mismos. Adicionalmente, una pieza de trabajo obtenida por cizalladura con afino de grano de capa superficial formada por el método de cizalladura en caliente con afino de grano en capa superficial según esta realización es la misma que en la primera realización, por lo que no se describirán efectos operacionales de la misma.

Los inventores encontraron que el intervalo de temperaturas en el que la región de aparición de aproximadamente el 100 % de deformación plástica equivalente en la dirección normal al plano de cizalladura en la parte cizallada coincide con la región de aparición (distancia) de la estructura de ferrita fina, la estructura de martensita fina, la estructura de bainita fina o la estructura de austenita residual fina en la dirección normal al plano de cizalladura se obtiene cuando una temperatura (° C) obtenida al añadir un valor, que se calcula multiplicando la cantidad de deformación plástica equivalente de la capa superficial en la parte cizallada por un coeficiente de 40 a 60, a la Ar3 medida se establece como temperatura inicial de cizalladura.

En esta realización, se consideró que era apropiado usar el siguiente valor como la cantidad de deformación plástica equivalente de la capa superficial en la parte cizallada.

Como se ilustra en la figura 6A, como la cantidad de deformación plástica equivalente de la capa superficial en la parte cizallada se usó un valor promedio de la cantidades de deformación plástica obtenido por cálculo en una región A (dentro de un marco de línea gruesa) en el intervalo del 5 al 20 % de un grosor H de la chapa de acero 1 desde el plano de cizalladura 5 de la parte cizallada 8 al interior de la chapa de acero 1 en la dirección normal al plano de cizalladura 5 y en el intervalo de 20 % a 50 % del grosor H de la chapa de acero 1 en la dirección de grosor de la chapa de acero 1 desde una parte inferior 12 en la lado de rebaba 7 de la parte cizallada 8.

Al establecer la región A de esta manera, los inventores encontraron que se obtuvo la cantidad de deformación plástica equivalente que tenía una pequeña influencia por diferencias en condición de análisis o analista. Este valor se considera que es un valor numérico razonable como la cantidad de deformación plástica equivalente como se describirá más adelante, pero se pueden usar otros valores de alargamiento de corrección según una unidad de cálculo.

La cantidad de deformación plástica equivalente de la capa superficial en la parte cizallada usó un valor obtenido por el cálculo en un intervalo de temperaturas de 500 ° C a 800 ° C. Se confirmó que la cantidad de deformación plástica equivalente de la capa superficial se vuelve aproximadamente constante en este intervalo.

La razón de que se establezca un límite inferior de 40 para el coeficiente sea multiplicado por la cantidad de deformación plástica equivalente se debe a la consideración de diferencias en el coeficiente debido a un grado de acero y errores en el cálculo numérico. Por experimento y cálculo numérico repetitivos, la estructura de ferrita fina, la estructura de martensita fina, la estructura de bainita fina, o la estructura de austenita residual fina aparecieron incluso en caso de estar fuera de este intervalo de coeficiente, pero los inventores obtuvieron 40 como límite inferior del coeficiente en el que la probabilidad de aparición se vuelve más alta.

Adicionalmente, la razón por la que el límite superior del coeficiente sea multiplicado por la cantidad de deformación plástica equivalente se establece a 60 es que la precisión dimensional de la pieza de trabajo se deteriora cuando la temperatura de cizalladura es demasiado alta. Esta razón es considerada que la región de la estructura fina en la capa superficial se vuelve más ancha conforme la temperatura se vuelve más alta, pero la precisión dimensional se deteriora tras el enfriamiento porque una diferencia de densidad entre la capa superficial y otra región adyacente a la capa superficial es grande y también aumenta la tensión térmica.

En un caso en el que la diferencia entre una dimensión de pieza de trabajo y una dimensión de diseño de la pieza de trabajo generalmente se encuentra dentro del intervalo de -0 % +5 % de la dimensión de diseño, la tasa de productos defectuosos se reduce en la medida de ser económicamente aceptable y así sustancialmente desaparecen los problemas. Así, como resultado de ensayo y error, se determinó tal límite superior.

El punto Ar3 medido de la chapa de acero debe ser medido previamente por un historial de caída de temperatura en el termopar o algo semejante en un estado en el que la chapa de acero se coloca sobre la matriz a usar realmente. El termopar se incrusta en la matriz, y es preferible provocar que un sensor de termopar entre directamente en contacto con la chapa de acero que es un miembro a cizallar. Esta razón es que el punto Ar3 medido varía dependiendo de la tasa de enfriamiento de la chapa de acero. Como se ilustra en la figura 3, se conoce ampliamente

que el punto Ar3 medido se mide como punto en el que varía una tasa de reducción de temperatura. Esta técnica también se usa en las Pruebas A y B que se describirán más adelante.

5 En esta realización, es importante calcular la deformación plástica equivalente de la parte cizallada. En la cizalladura en caliente, la transformación de estructura de metal ocurre inevitablemente durante o inmediatamente tras la cizalladura, y así no es posible medir la deformación plástica equivalente. Por lo tanto, se realiza una simulación de cizalladura por análisis usando un método de elementos finitos (MEF), y así se calcula la deformación plástica equivalente.

10 En la simulación de cizalladura, se cambia abruptamente la deformación plástica. Por esta razón, es probable que los resultados de cálculo de la deformación plástica de la capa superficial en la parte cizallada difieran dependiendo de condiciones de análisis o analistas. A fin de reducir la influencia de estas condiciones de análisis o analistas, es preferible establecer una región de análisis MEF constante y promediar y calcular la deformación plástica equivalente dentro de la región.

15 Los inventores han establecido la región como resultado de ensayo y error. La figura 6A ilustra la región en la que se promedia la deformación plástica equivalente. Como se ilustra en la figura 6A, la región A (dentro del marco de línea gruesa), en la que se promedia la deformación plástica equivalente, se estableció en el intervalo del 5 al 20 % del grosor H (véase la figura 4) de la chapa de acero 1 desde el plano de cizalladura 5 de la parte cizallada 8 al interior de la chapa de acero 1 en la dirección normal al plano de cizalladura 5 y en el intervalo del 20 % al 50 % del grosor H de la chapa de acero 1 en la dirección de grosor de la chapa de acero 1 desde la parte inferior 12 en el lado de rebaba 7 de la parte cizallada.

20 Durante la simulación, como el cambio de temperatura ocurre secuencialmente, se necesita realizar cálculo repetitivo de tal manera que: se establece una temperatura inicial de cizalladura de tentativa; se calcula la deformación plástica equivalente sobre la base de la temperatura inicial de cizalladura tentativa; y se determina una temperatura inicial de cizalladura verdadera sobre la base de la deformación plástica equivalente calculada. Dicho cálculo requiere costes.

25 Como resultado del cálculo con varios niveles por parte de los inventores, se encontró que se puede realizar una aproximación cuando se realiza una vez una simulación numérica sobre la base de diagrama esfuerzo-deformación a cualquier temperatura de chapa de acero de 500 ° C a 800 ° C.

30 Como premisa del cálculo, cuando la cizalladura se realiza en el intervalo más alto que la temperatura Ar3 medida, valores numéricos de características mecánicas tales como rigidez de la chapa de acero en ese tiempo se definieron como valores de austenita.

35 Durante la simulación, la temperatura inicial de cizalladura puede ser calculada sin problema cuando se calcula la deformación plástica equivalente por una función de tensión de Mises con la suposición de una isotropía sin considerar una anisotropía en particular.

40 Un incremento en la deformación plástica equivalente "dε-P" por la función de tensión de Mises se representa por la siguiente fórmula cuando se define un sistema de coordenadas de material como x, y, z, y la deformación plástica equivalente se da como integral de este incremento.

45

$$d\bar{\epsilon}_P = \sqrt{\frac{2}{3} (d\epsilon_{xx}^2 + d\epsilon_{yy}^2 + d\epsilon_{zz}^2 + 2d\epsilon_{xy}^2 + 2d\epsilon_{yz}^2 + 2d\epsilon_{zx}^2)} \quad (1)$$

50 Como se ha descrito anteriormente, en el método de cizalladura según esta realización, las estructuras tales como la ferrita fina se forman en la capa superficial en la parte cizallada y se suprime la aparición de la fractura retardada en la parte cizallada (plano de fractura) cuando la chapa de acero se somete a la cizalladura en la temperatura inicial de cizalladura calculada, y es posible suprimir la tensión térmica o algo semejante y asegurar la precisión dimensional de la pieza de trabajo al permitir que la temperatura inicial de cizalladura este dentro del intervalo predeterminado.

55 En particular, como se establece la región de alcance A predeterminada para calcular la cantidad de deformación plástica equivalente en la parte cizallada, es posible calcular la cantidad de deformación plástica equivalente que tiene un pequeño error.

60 Durante la simulación por MEF para calcular la deformación plástica equivalente, como el cambio de temperatura secuencialmente ocurre, fue necesario realizar cálculo repetitivo de tal manera que: la deformación plástica equivalente fue calculada sobre la base de la temperatura inicial de cizalladura de tentativa; y la temperatura inicial de cizalladura verdadera fue determinada sobre la base de la deformación plástica equivalente calculada. En esta realización, sin embargo, como la aproximación se puede realizar cuando una simulación numérica es realizada únicamente una vez

ES 2 709 206 T3

sobre la base del diagrama esfuerzo-deformación en cualquier temperatura de chapa de acero de 500 ° C a 800 ° C, el cálculo se simplifica.

Como la deformación plástica equivalente se calcula por la función de tensión de Mises con la suposición de isotropía, el cálculo se simplifica aún más.

El método para calcular la cantidad de deformación plástica equivalente descrito en el método de cizalladura en caliente con afino de grano en capa superficial según el segundo realización es aplicable al cálculo de la cantidad de deformación plástica equivalente en el método de cizalladura en caliente con afino de grano en capa superficial según la primera realización.

[Ejemplos]

A continuación, se describirán Ejemplos de la invención. Sin embargo, condiciones de cizalladura en Ejemplos son ejemplos adoptados para confirmar la factibilidad y un efecto de la invención y la invención no se limita a estas condiciones de cizalladura. La invención puede adoptar diversas condiciones de cizalladura siempre que se logre el objeto de la invención dentro de un alcance que no se salga de la esencia de la invención.

(Prueba A)

Usando la máquina de cizalladura 10 ilustrada en las figuras 4A a 4C, después de que la chapa de acero de alta resistencia 1 (200 mm x 150 mm) de acero de grados A a C que tiene composiciones indicadas en la Tabla 1 se coloca sobre la matriz 3, el troquel 2 junto con la plaquita 12 se aproximan a la parte superior de la chapa de acero 1 desde arriba. La chapa de acero 1 es presionada por la plaquita 12 y la chapa de acero 1 es sometida a la cizalladura por el troquel 2 (anchura de 65 mm) al mismo tiempo. La chapa de acero cizallada 1 es enfriada rápidamente por la matriz (matriz 3 y plaquita 12). Las condiciones de cizalladura son como se indican en la Tabla 2. Se estableció un espacio libre entre el troquel 2 y la matriz 3 para que fuera de 0,15 mm.

Excepto para los Ejemplos comparativos, el tiempo de mantenimiento hasta que se inicia la cizalladura de la chapa de acero 1 tras entrar en contacto con la matriz 3 se estableció de 0,5 segundos a 3 segundos. Las temperaturas iniciales de cizalladura en la Tabla 2 son temperaturas obtenidas dentro del intervalo del tiempo de mantenimiento.

El grosor de las chapas de acero usadas en los Ejemplos se estableció en 1,5 mm. El grosor de la chapa de acero aplicable a la invención tiene el intervalo de aproximadamente 0,5 mm a 3 mm.

El punto Ar3 medido de cada chapa de acero se obtuvo mediante la medición del historial de temperatura en el momento en que la chapa de acero calentado a 950 ° C es enfriada en contacto con la parte superior de la matriz en la máquina de cizalladura (una temperatura a la que la tasa de enfriamiento de la chapa de acero era 1 ° C/s o menos antes de que la temperatura de la chapa de acero bajara a la temperatura ambiente se consideró el punto Ar3).

Para estimación de la deformación plástica equivalente, se realizó simulación de cizalladura, en la que se introdujo resistencia a deformación cuando la chapa de acero está a 750 ° C, mediante un método de elementos finitos usando Abaqus/Standard fabricado por Dassault Systemes Co, que software comercial. En este caso, se usó la función de tensión de Mises, y la región de análisis en las inmediaciones de un filo de corte de herramienta se definió como elemento de integración completa cuadrilátero de 0,02 mm x 0,04 mm. Adicionalmente, se realizó remallado cada 0,05 mm de prensa de troquelado. La fractura se definió por un modelo de fractura dúctil de Hancock & Mackenzie, y la rigidez de elementos que satisfacen condiciones era cero. Se ajustaron parámetros del modelo de fractura dúctil sobre la base de una ratio de plano de cizalladura que era observada realmente en ciertas condiciones. Se usó la deformación plástica equivalente que era promediada en la región A establecida en el intervalo del 10 % del grosor H de la chapa de acero 1 desde el plano de cizalladura 5 de la parte cizallada 8 en la dirección normal al plano de cizalladura 5 y en el intervalo de 30 % del grosor H de la chapa de acero 1 en la dirección de grosor de la chapa de acero 1 desde la parte inferior 12 en el lado de rebaba 7 de la parte cizallada 8 (véase la figura 6A).

Se evaluó la precisión dimensional de una longitud de un fragmento 16 (véase la figura 4C) troquelado tras la cizalladura. A menos que ocurra error dimensional, la longitud del fragmento 16 tras la cizalladura debe ser 65 mm. Así, se obtienen valores de tal manera que el error en la longitud del fragmento 16 tras la cizalladura se divide por 65 y entonces es convertido en porcentaje (x 100) se describen como el error dimensional en la Tabla 2.

[Tabla 1]

(% en masa)

Grado de acero	C	Si	Mn	B	Cr
A	0,22	0,22	1,20	0,002	0,16
B	0,16	0,40	1,00	0,001	0,23
C	0,25	0,21	1,24	0,002	0,34

[Tabla 2]

	Chapa de acero		Calentamiento de chapa de acero		Enfriamiento rápido	Cantidad de deformación plástica equivalente	Coeficiente	Temperatura de inicio de cizalladura (° C)	Presencia o ausencia de grietas	Error dimensional (%)
	Grado de acero	Ar3 (° C)	Temperatura (° C)	Tiempo (min.)						
Ejemplo 1	A	580	950	1,5	Agua	2,0	50	680	Ausencia	2,0
Ejemplo 2	A	580	950	1,5	Matriz	2,0	60	700	Ausencia	4,2
Ejemplo 3	A	580	1000	1,0	Matriz	2,0	50	680	Ausencia	1,1
Ejemplo 4	B	620	950	1,5	Agua	2,5	50	745	Ausencia	3,0
Ejemplo 5	B	620	950	1,5	Agua	2,5	40	720	Ausencia	2,7
Ejemplo 6	C	570	950	1,5	Agua	1,8	50	660	Ausencia	2,3
Ejemplo comparativo 1	A	580	950	1,5	Agua	2,0	10	600	Presencia	1,8
Ejemplo comparativo 2	B	620	950	1,5	Agua	2,5	-10	595	Presencia	1,8
Ejemplo comparativo 3	A	580	950	1,5	Agua	2,0	85	750	Ausencia	5,1
Ejemplo comparativo 4	B	620	950	1,5	Agua	2,5	80	820	Ausencia	6,3
Ejemplo comparativo 5	C	570	950	1,5	Agua	1,5	100	720	Ausencia	5,1

5 La prueba fue realizada tres veces para cada uno de los Ejemplos y los Ejemplos Comparativos. Con respecto a la presencia o ausencia de la fractura retardada, se evaluó que la fractura retardada estaba presente cuando ocurre

fractura retardada incluso una vez. Adicionalmente, el error dimensional era un valor promedio de tres valores medidos.

En los ejemplos 1 a 6, se puede entender que se suprime la aparición de la fractura retardada en la parte cizallada (plano de fractura) y se mejora la precisión dimensional de la pieza de trabajo.

Una microestructura en la amplitud de 100 μm desde el plano de fractura de la parte cizallada en el Ejemplo 1 se describirá con referencia a la figura 7 (EBSD, imagen de microestructura) y la figura 8 (imagen de una muestra de réplica de extracción observada con el microscopio electrónico de transmisión).

Como se ilustra en la figura 7, se confirmó que la microestructura incluye ferrita, bainita, martensita, austenita residual, cementita, e inclusiones derivadas de elementos de aleación distintos a hierro como resultado la análisis EBSD, EDS (análisis por rayos X tipo dispersión de energía característica), y análisis difracción de electrones de la microscopio electrónico de trasmisión.

Específicamente, la figura 7 ilustra la imagen de microestructura observada por la EBSD en un estado en el que una muestra de sección transversal del Ejemplo 1 a lo largo de la dirección de grosor de la chapa de acero en la dirección normal al plano de cizalladura en la parte cizallada se incrusta en una resina dura y luego se somete a pulido y electropulido. Adicionalmente, la figura 8 ilustra la imagen observada por el microscopio electrónico de transmisión de la muestra del Ejemplo 1 que es preparada por un método de réplica de extracción usando un método SPEED (ataque químico potencioestático por disolución electrolítica: método de electrolisis potencioestática en solvente no acuoso).

Como se ilustra en la figura 7 (imagen de microestructura EBSD), en la capa superficial del plano de fractura en la amplitud de 100 μm en la dirección normal al plano de cizalladura desde el plano de fractura, el tamaño de grano de ferrita (partes excluido el negro en la figura 7) F era tan pequeño como 3 μm o menos y el tamaño de grano de BMA (parte negra en la figura 7) incluida martensita, bainita, o austenita residual también era de 3 μm o menos. El grano de cristal que tiene la relación de aspecto que supera 3 también se vio en esta amplitud y la ratio era aproximadamente el 6 % en número.

La misma microestructura se observó en cualquiera de los Ejemplos 2 a 6. Durante la identificación de la microestructura, para cada Ejemplo se fotografiaron aleatoriamente cinco puntos de campo de visión de 8,0 x 20 μm , en la amplitud de 100 μm desde la superficie del plano de fractura.

Además, como se ilustra en la figura 8, se puede ver que la ratio de cementita (partes negras excluidos círculos) C en el Ejemplo 1 es muy pequeña. En el Ejemplo 1, la densidad de número de la cementita era 0,8 pedazos/ μm^3 , y la longitud máxima de la cementita observado era de 3 μm o menos. A fin de determinar un estado de distribución de cementita, para cada condición se fotografiaron aleatoriamente cinco puntos de campo de visión de 9,5 x 7,5 μm desde la capa superficial de la parte cizallada. Esto fue igual en cualquiera de los Ejemplos 2 a 6.

En los Ejemplos Comparativos 1 a 5, por otro lado, se observó una estructura mixta (Ejemplos Comparativos 1 y 2) de bainita y martensita que no incluye ferrita o una única fase de ferrita (Ejemplos Comparativos 3 a 5). En los Ejemplos Comparativos 1 y 2, se observó difícilmente cementita e inclusión en casi la misma manera que se ilustra en la figura 8. En los Ejemplos Comparativos 3 a 5, sin embargo, se observó cementita (véase la figura 5, parte negra excluidos círculos) C que tiene muy alta densidad de número que supera enormemente 0,8 pedazos/ μm^3 como se ilustra en la figura 5.

Se realizó un experimento en un estado en el que otras condiciones excepto por la temperatura inicial de cizalladura eran las mismas que en el Ejemplo 1, y el tiempo de mantenimiento hasta que se inicia la cizalladura de la chapa de acero tras ser enfriada en contacto con la matriz 3 y la plaquita 12 (también se le hace referencia como una matriz) se establece en 3,5 segundos. En este caso, la temperatura inicial de cizalladura también era (Ar3 + 30 ° C) o más alta, la fractura retardada ocurrió una vez en tres experimentos repetitivos. Como resultado de la observación la superficie de la superficie de cizalladura de la pieza de trabajo resultante, en la amplitud de 100 μm desde el plano de cizalladura, la estructura de la capa superficial de la parte cizallada en la pieza de trabajo sin aparición de la fractura retardada se configuró para que incluyera: ferrita de la que el tamaño de grano era tan pequeño como 3 μm o menos; y martensita, bainita, o austenita residual de las que el tamaño de grano era también 3 μm o menos. También se vio grano de cristal que tenía la relación de aspecto superior a 3 y la ratio era aproximadamente un 7 % en número.

En el intervalo de 100 μm desde el plano de cizalladura, sin embargo, la estructura de la capa superficial de la parte cizallada en la pieza de trabajo con aparición de la fractura retardada se configuró para que incluyera: ferrita de la que el tamaño de grano era aproximadamente 5 μm ; y martensita, bainita, o austenita residual de la que el tamaño de grano también era de 5 μm . En la capa superficial de la parte cizallada, también se ve grano de cristal que tiene la relación de aspecto que supera 3 y la ratio era aproximadamente un 7 % en número.

ES 2 709 206 T3

(Prueba B)

5 Una máquina de cizalladura 20 incluye: una matriz 3 que se forma con un orificio 22 para doblado y formación y una perforación 24 para deformación por troquelado en la parte inferior del orificio 22 y en la que se coloca la chapa de acero 1; un troquel 2 que se inserta en el orificio 22 para provocar deformación por doblado de la chapa de acero 1; y una matriz móvil 26 que se incorpora en el troquel 2 y se inserta en la perforación 24 después de la deformación por doblado para formar una perforación (cizalladura) en una amplitud predeterminada de la chapa de acero 1.

10 Simulando formación en prensa no acompañada de fractura de la chapa de acero, la máquina de cizalladura 20 formó la chapa de acero 1 calentada en forma de sombrero impulsando inicialmente el troquel 2 después de que la chapa de acero 1 fuera colocada sobre la matriz 3 (véase la figura 9A). Después de eso, se realizó una prueba de troquelado de la chapa de acero 1 usando una matriz móvil 13 que tenía un diámetro de 20 mm (véase la figura 9B).

15 Excepto por los Ejemplos Comparativos, el tiempo hasta que se inicia la cizalladura de la chapa de acero 1 tras entrar en contacto con la matriz móvil 26 era de aproximadamente 0,1 segundos a aproximadamente 0,5 segundos.

20 Un espacio libre entre el troquel 2 y la matriz 3 se estableció para que fuera de 0,15 mm y se identificó la Ar3 medida a partir de un historial térmico tras la formación de sombrero. La deformación plástica equivalente fue calculada de la misma manera que en la Prueba A. Se adoptaron las condiciones de cizalladura indicadas en la Tabla 3.

Un método de evaluación en la Prueba B también es el mismo que en la Prueba A.

25 A propósito, la precisión dimensional en la Prueba B fue evaluada por un diámetro de un orificio de troquel tras la cizalladura. Cuando no ocurre error dimensional, el diámetro del orificio de troquel de la chapa de acero 1 tras la cizalladura debe ser de 20 mm. Así, se obtuvieron valores de tal manera que el error en diámetro del orificio de troquel tras la cizalladura es dividido por 20 y luego es convertido en porcentaje ($\times 100$) y los valores se describen como el error dimensional en la Tabla 3 que indica un resultado de implementación de esta prueba.

[Tabla 3]

	Chapa de acero		Calentamiento de chapa de acero		Enfriamiento rápido	Cantidad de deformación plástica equivalente	Coeficiente	Temperatura de inicio de cizalladura (°C)	Presencia o ausencia de grietas	Error dimensional (%)
	Grado	Ar3 (°C)	Temperatura (°C)	Tiempo						
Ejemplo 7	A	420	950	1,5	Agua	2,0	40	500	Ausencia	1,1
Ejemplo 8	A	420	950	1,5	Matriz	2,0	60	560	Ausencia	1,1
Ejemplo 9	B	480	950	1,5	Agua	2,5	40	580	Ausencia	1,2
Ejemplo 10	C	460	950	1,5	Agua	1,8	40	532	Ausencia	1,1
Ejemplo comparativo 6	A	420	950	1,5	Agua	2,0	10	440	Presencia	0,7
Ejemplo comparativo 7	B	480	950	1,5	Agua	2,5	10	475	Presencia	0,8
Ejemplo comparativo 8	C	460	950	1,5	Agua	1,8	10	478	Presencia	0,5
Ejemplo comparativo 9	A	420	950	1,5	Agua	2,0	90	600	Ausencia	2,3
Ejemplo comparativo 10	B	450	950	1,5	Agua	2,5	80	650	Ausencia	2,8
Ejemplo comparativo 11	C	460	950	1,5	Agua	1,8	100	640	Ausencia	2,8

5 En los ejemplos 7 a 10, se puede entender que se suprime la aparición de la fractura retardada en la parte cizallada (plano de fractura).

10 En los ejemplos 7 a 10 indicados en la Tabla 3, la microestructura en la capa superficial de la parte cizallada (en la amplitud de 100 µm desde la superficie) incluída ferrita, bainita, martensita, austenita residual, cementita, e inclusiones derivadas de elementos de aleación distintos a hierro como en los Ejemplos 1 a 6 (figura 7 (microestructura) y la figura 8 (inclusión)). La microestructura y las inclusiones en los Ejemplos 7 a 10 son las

mismas que en los Ejemplos 1 a 6.

5 La microestructura y las inclusiones en los Ejemplos Comparativos 6 a 11 son las mismas que en los Ejemplos Comparativos 1 a 5. Esto es, en los Ejemplos Comparativos 6 a 8 se observó una estructura mixta de bainita y martensita que no incluye ferrita, y en los Ejemplos Comparativos 9 a 11 se observó una única fase de ferrita. En los Ejemplos Comparativos 6 a 8, difícilmente se observó la cementita. En los Ejemplos Comparativos 9 a 11, sin embargo, se observó cementita con una densidad de número muy alta que superó enormemente $0,8 \text{ pedazos}/\mu\text{m}^3$.

10 Esta solicitud se basa y reivindica el beneficio de prioridad de la anterior solicitud de patente japonesa n.º 2013-099243, presentada el 9 de mayo de 2013, cuyo entero contenido se incorpora en la presente memoria por referencia.

15 APLICABILIDAD INDUSTRIAL

Como se ha descrito anteriormente, según la invención, es posible impedir que ocurra fractura retardada en la parte cizallada en caliente sin aumentar el tiempo de cizalladura o nuevas etapas durante la cizalladura en caliente de la chapa de acero. Por consiguiente, la invención tiene alta aplicabilidad en la industria tecnológica de trabajo de chapa de acero.

REIVINDICACIONES

1. Un método de cizalladura en caliente con afino de grano en capa superficial que comprende:

calentar y mantener una chapa de acero que tiene un contenido de carbono del 0,15 % o más en masa en un intervalo de temperaturas de Ac3 a 1400 ° C para austenizar la chapa de acero; posteriormente cizallar la chapa de acero en un estado en el que la chapa de acero se coloca sobre una matriz; y
 templar enfriando rápidamente la chapa de acero cizallada, en donde una temperatura inicial de la cizalladura se establece para que sea una temperatura (° C) obtenida añadiendo una temperatura de 30 ° C a 140 ° C a una Ar3 medida previamente de la chapa de acero; o
 en donde una temperatura inicial de la cizalladura se establece para que sea una temperatura (° C) obtenida al añadir un valor, que se calcula multiplicando una cantidad de deformación plástica equivalente de una capa superficial en una parte cizallada por un coeficiente de 40 a 60, a una Ar3 medida previamente de la chapa de acero, en donde la cantidad de deformación plástica equivalente de la capa superficial en la parte cizallada se calcula como valor promedio de una cantidad de deformación plástica equivalente de una región en un intervalo del 5 % al 20 % de un grosor de la chapa de acero desde un plano de cizalladura de la parte cizallada a un interior de la chapa de acero en una dirección normal al plano de cizalladura y en un intervalo del 20 % al 50 % del grosor de la chapa de acero en una dirección de grosor de la chapa de acero desde una parte inferior en un lado de rebaba de la parte cizallada, y en donde la cantidad de deformación plástica equivalente de la capa superficial en la parte cizallada se calcula por una simulación de cizalladura por análisis usando un método de elementos finitos (MEF) que se realiza sobre la base de un diagrama esfuerzo-deformación a una temperatura de chapa de acero de 500 ° C a 800 ° C, integrando un incremento en la deformación plástica equivalente "dε-P" por una función de tensión de Mises que se representa por la siguiente Fórmula (1) cuando se define un sistema de coordenadas de material como x, y, y z:

$$d\overline{\epsilon}_P = \sqrt{\frac{2}{3} (d\epsilon_{xx}^2 + d\epsilon_{yy}^2 + d\epsilon_{zz}^2 + 2d\epsilon_{xy}^2 + 2d\epsilon_{yz}^2 + 2d\epsilon_{zx}^2)} \quad (1)$$

2. El método de cizalladura en caliente con afino de grano en capa superficial según la reivindicación 1, en donde la cizalladura de la chapa de acero se inicia en menos de tres segundos después de que la chapa de acero entre en contacto con la matriz.

3. El método de cizalladura en caliente con afino de grano en capa superficial según la reivindicación 1, en donde el enfriamiento rápido se realiza cuando la chapa de acero entra en contacto con la matriz.

4. El método de cizalladura en caliente con afino de grano en capa superficial según la reivindicación 1, en donde el enfriamiento rápido se realiza cuando un chorro de agua desde una perforación formada en una parte de contacto de la chapa de acero con la matriz atraviesa un surco proporcionado en la parte de contacto de la chapa de acero.

5. El método de cizalladura en caliente con afino de grano en capa superficial según la reivindicación 1, en donde se realiza formación en prensa no acompañada de fractura de la chapa de acero entre el calentamiento y la cizalladura de la chapa de acero.

6. Una pieza de trabajo obtenida por cizalladura en caliente con afino de grano en capa superficial, que comprende:

una chapa de acero que tiene un contenido de carbono del 0,15 % o más en masa, una capa superficial de una parte cizallada de una chapa de acero que tiene un contenido de carbono del 0,15 % o más en masa que incluye una fase de ferrita y el resto, la capa superficial es definida como una amplitud hasta 100 μm dentro de la chapa de acero en una dirección normal a un plano de cizalladura desde un plano de fractura de la parte cizallada, en donde el resto incluye al menos una fase de una fase de bainita, una fase de martensita o una fase de austenita residual que tiene un diámetro de grano de cristal de 3 μm o menos, e incluye cementita e inevitablemente inclusiones generadas, en donde la fase de ferrita tiene un tamaño de grano medio de 3 μm o menos, en donde la capa superficial contiene el 5 % o más granos en número que tienen una relación de aspecto de 3 o más, en donde una región fuera del intervalo de 100 μm incluye: martensita e inevitablemente inclusiones generadas; o bainita, martensita, e inevitablemente inclusiones generadas, y en donde una relación de área total de la fase de bainita, la fase de martensita y la fase de austenita residual, que se miden con un método de difracción de haz de electrones por retrodispersión (EBSD), es del 10 % al

50 % en la capa superficial.

5 7. La pieza de trabajo obtenida por cizalladura en caliente con afino de grano en capa superficial según la reivindicación 6, en donde, en la capa superficial, la cementita tiene una densidad de número de 0,8 pedazos/ μm^3 o menos y la cementita tiene una longitud máxima de 3 μm o menos.

10 8. La pieza de trabajo obtenida por cizalladura en caliente con afino de grano en capa superficial según la reivindicación 6 o 7, la pieza de trabajo producida por: calentamiento y manteniendo una chapa de acero que tiene un contenido de carbono del 0,15 % o más en masa en un intervalo de temperaturas de Ac3 a 1400 ° C para austenizar la chapa de acero; posteriormente cizallar la chapa de acero en un estado en el que la chapa de acero se coloca sobre una matriz; y templar enfriando rápidamente la chapa de acero cizallada,

15 en donde una temperatura inicial de la cizalladura se establece para que sea una temperatura (° C) obtenida añadiendo una temperatura de 30 ° C a 140 ° C a una Ar3 medida previamente de la chapa de acero.

20 9. La pieza de trabajo obtenida por cizalladura en caliente con afino de grano en capa superficial según la reivindicación 6 o 7, la pieza de trabajo producida por: calentamiento y manteniendo una chapa de acero que tiene un contenido de carbono del 0,15 % o más en masa en un intervalo de temperaturas de Ac3 a 1400 ° C para austenizar la chapa de acero; posteriormente cizallar la chapa de acero en un estado en el que la chapa de acero se coloca sobre una matriz; y templar enfriando rápidamente la chapa de acero cizallada, y se establece una temperatura inicial de la cizalladura para que sea una temperatura (° C) obtenida al añadir un valor, que se calcula multiplicando una cantidad de deformación plástica equivalente de una capa superficial en una parte cizallada por un coeficiente de 40 a 60, a una Ar3 medida previamente de la chapa de acero.

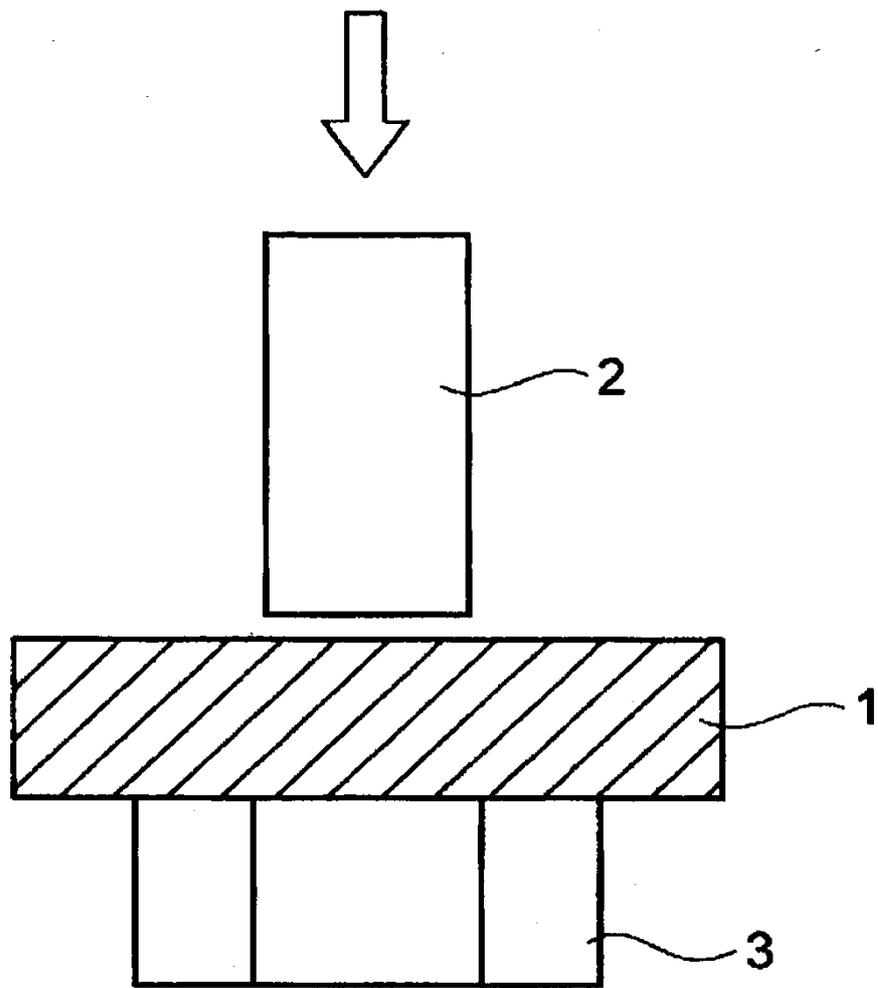


FIG. 1A

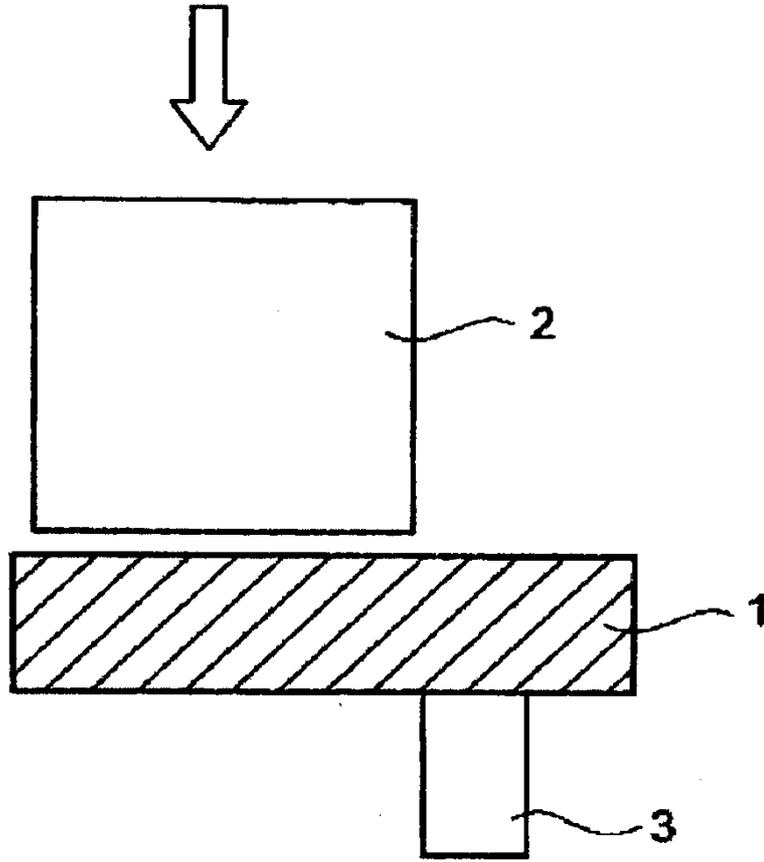


FIG. 1B

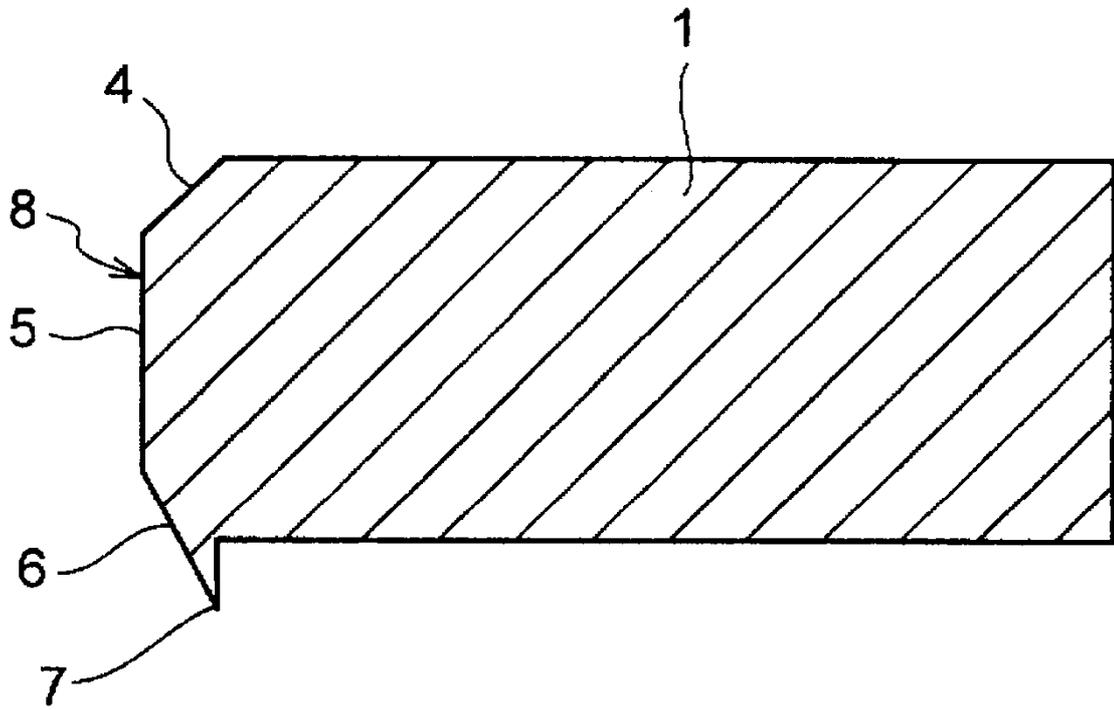


FIG. 2

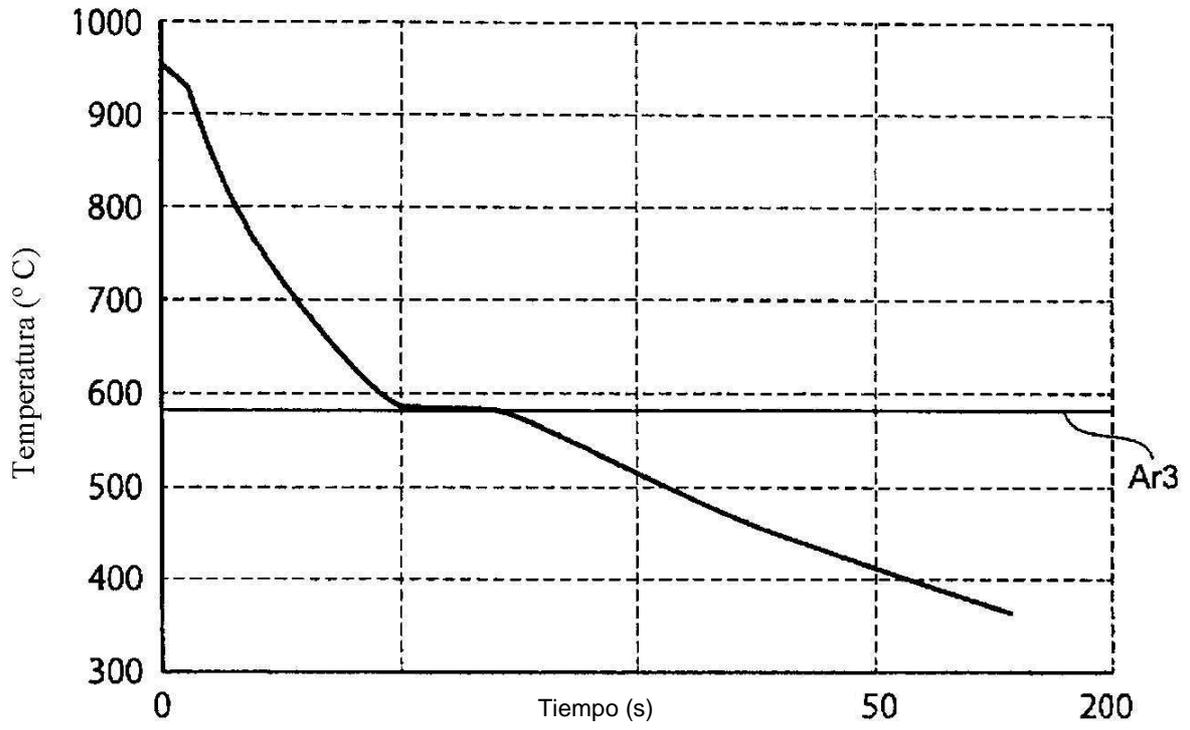


FIG. 3

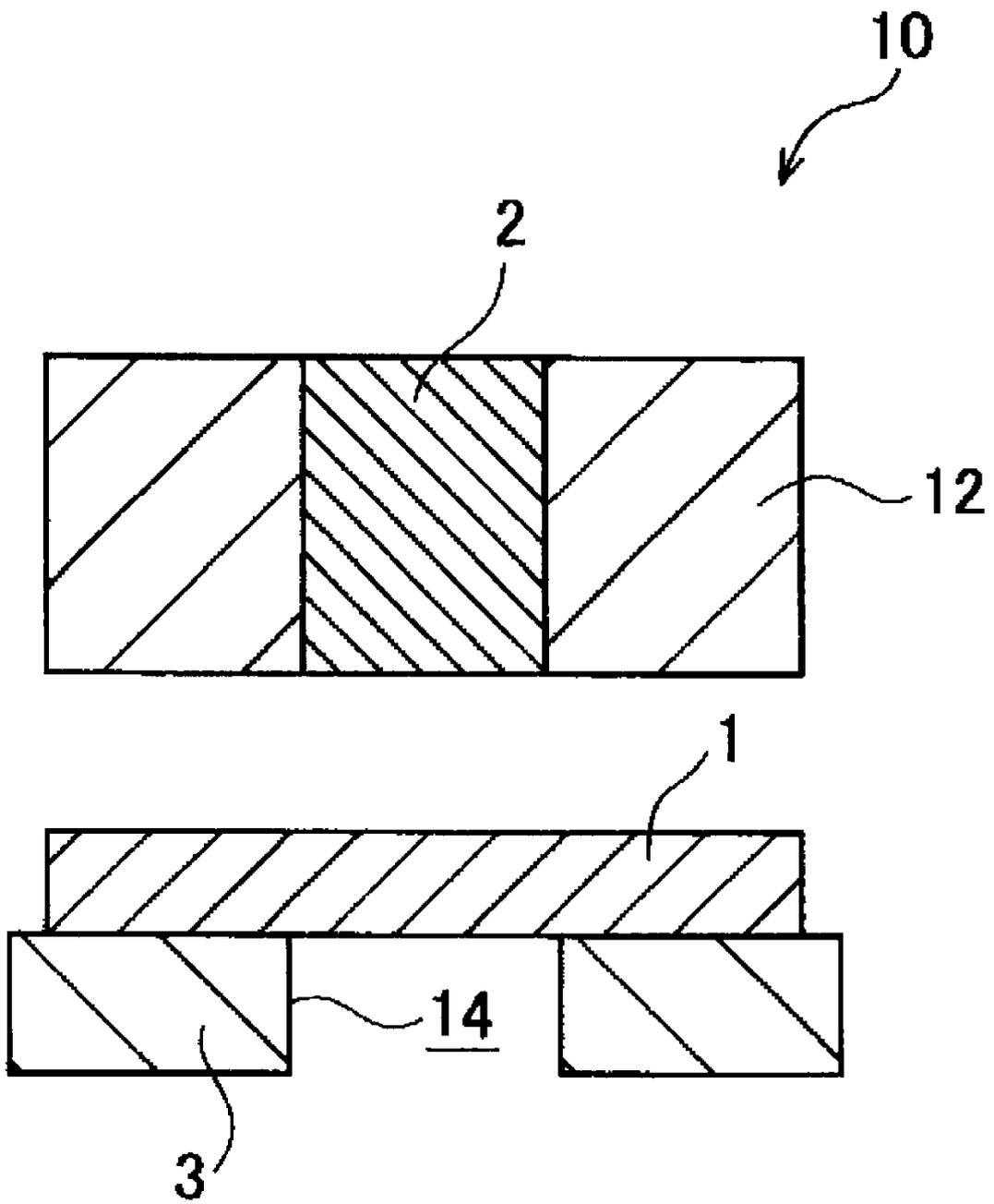


FIG. 4A

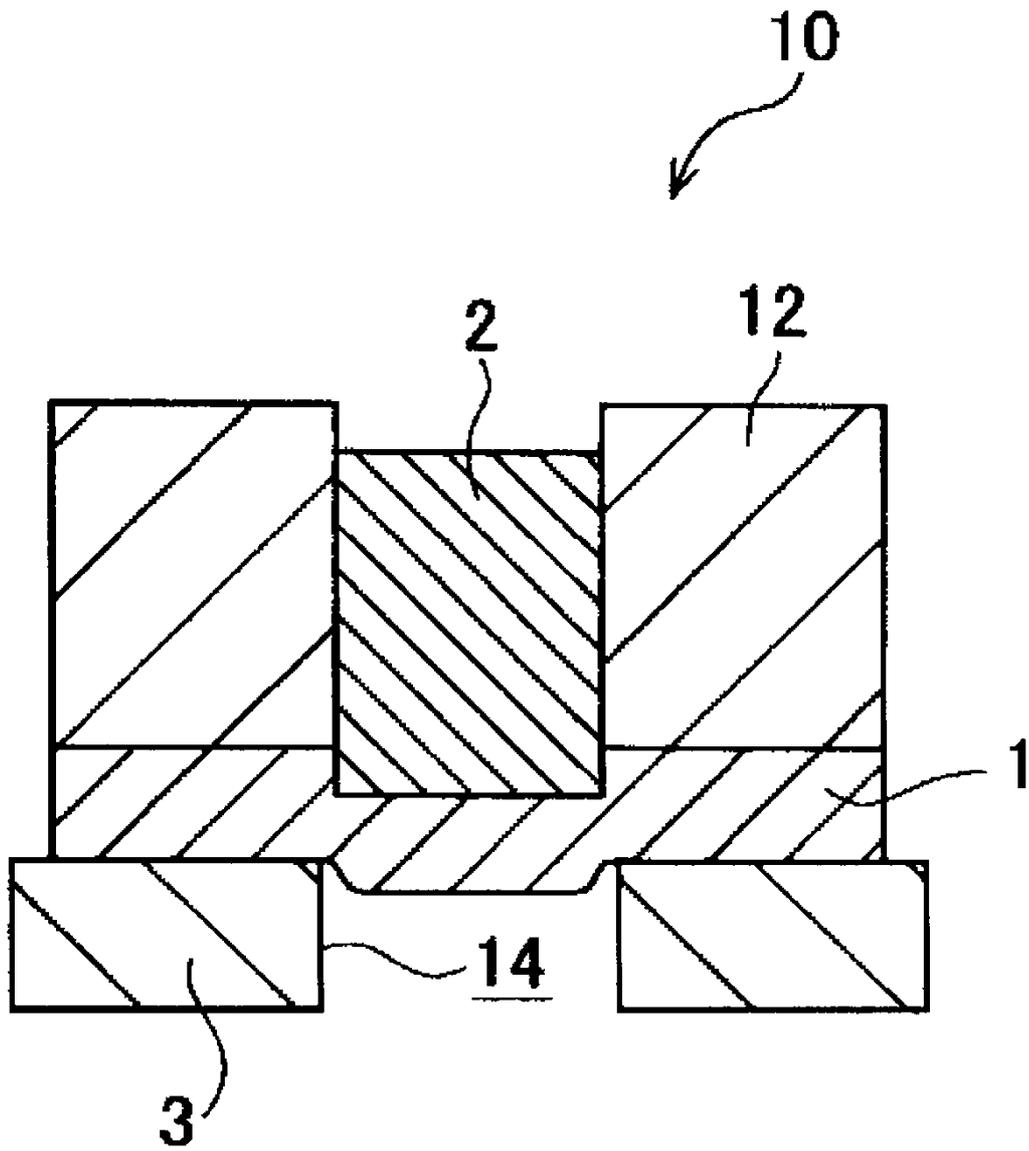


FIG. 4B

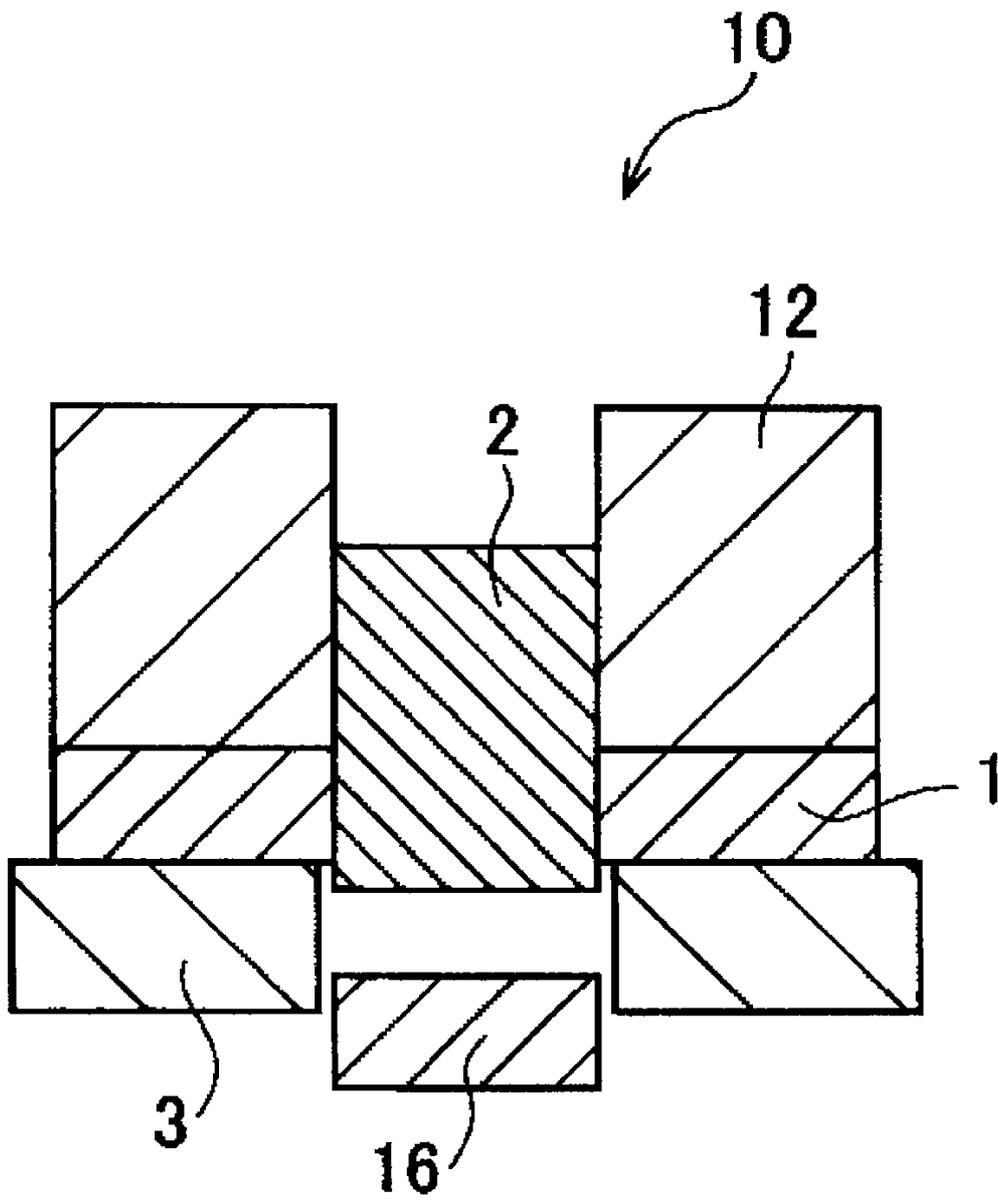


FIG. 4C

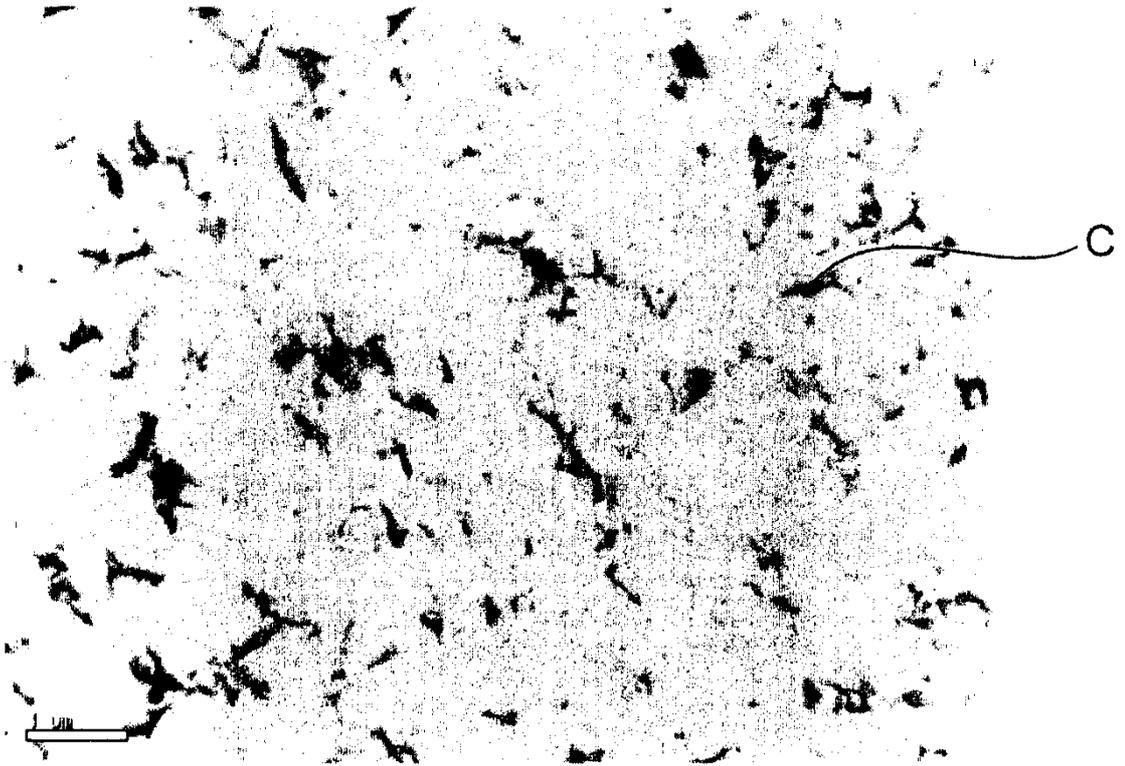


FIG. 5

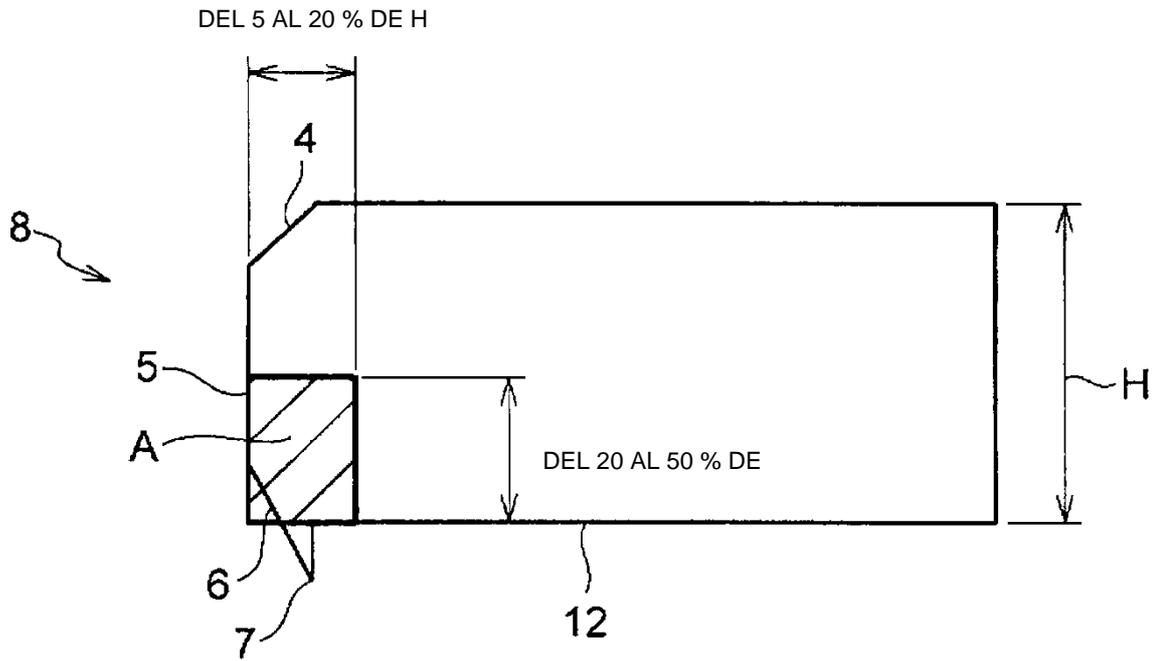


FIG. 6A

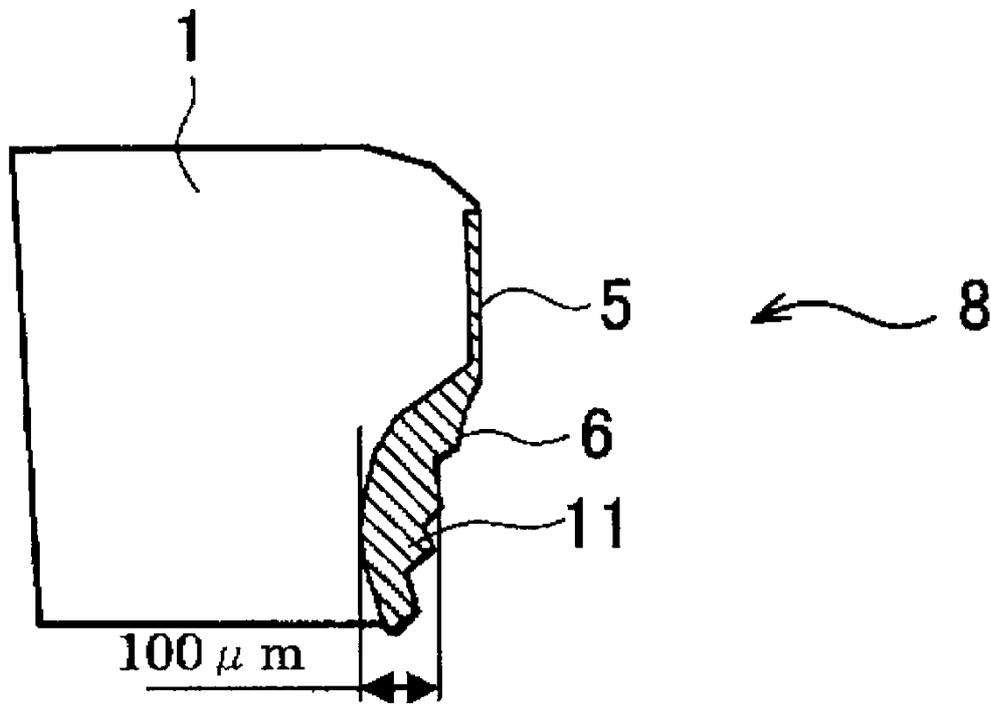


FIG. 6B

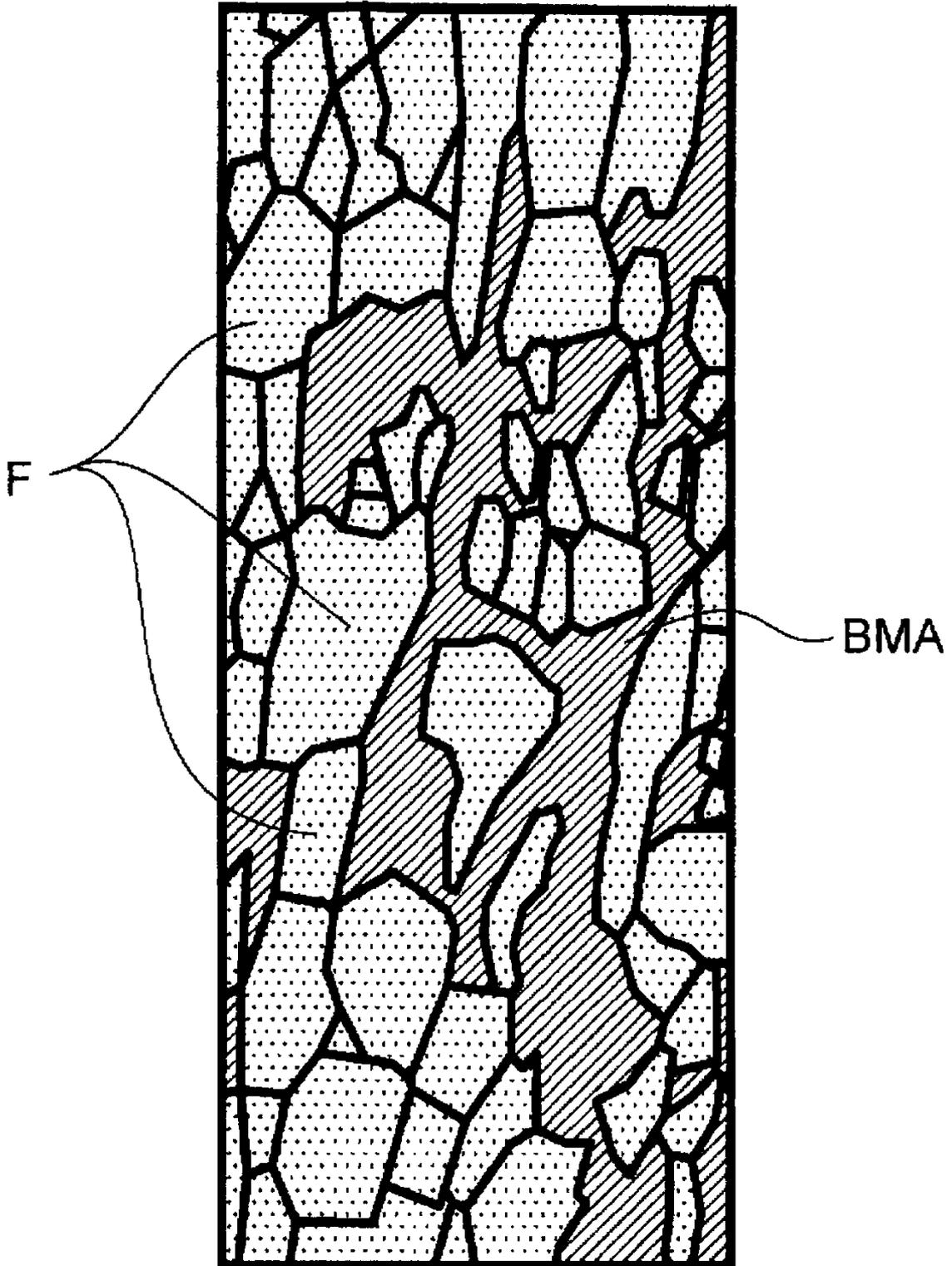


FIG. 7

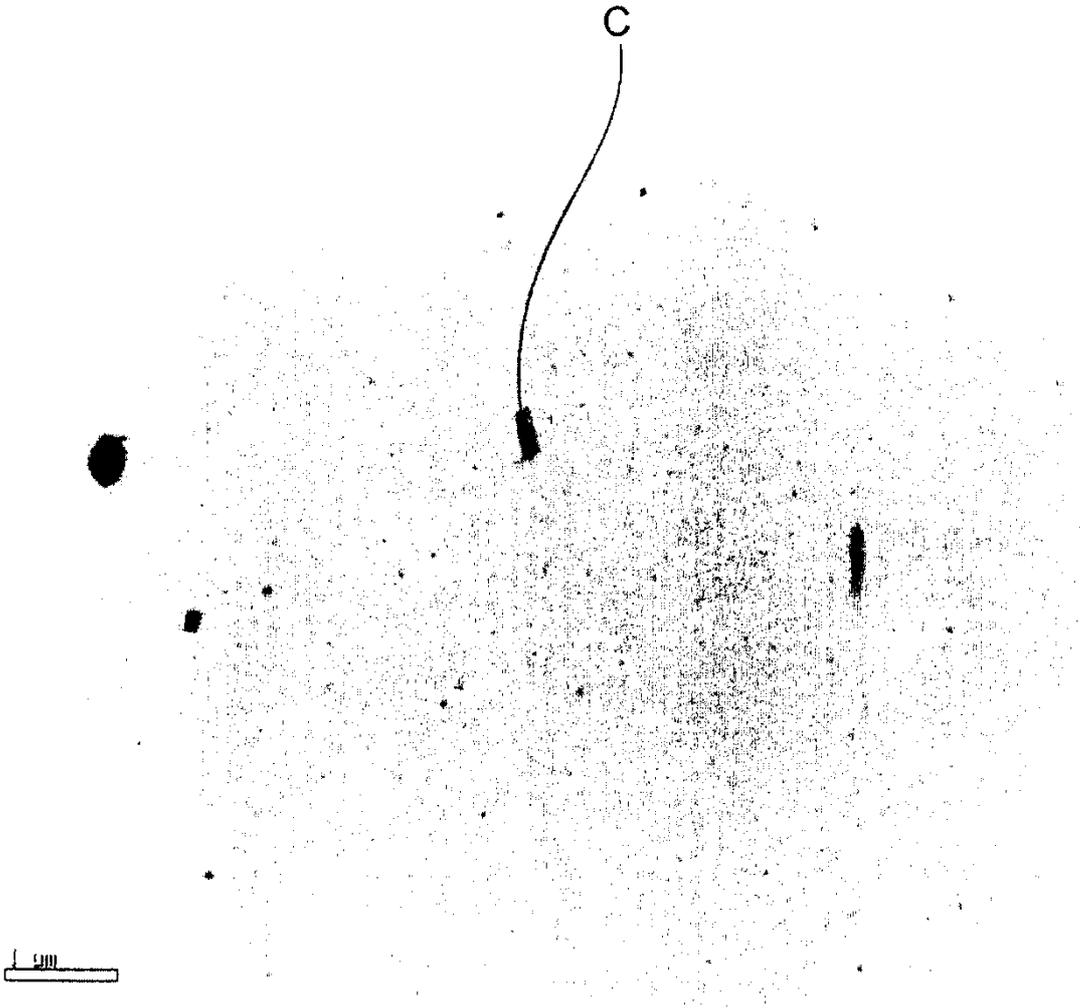


FIG. 8

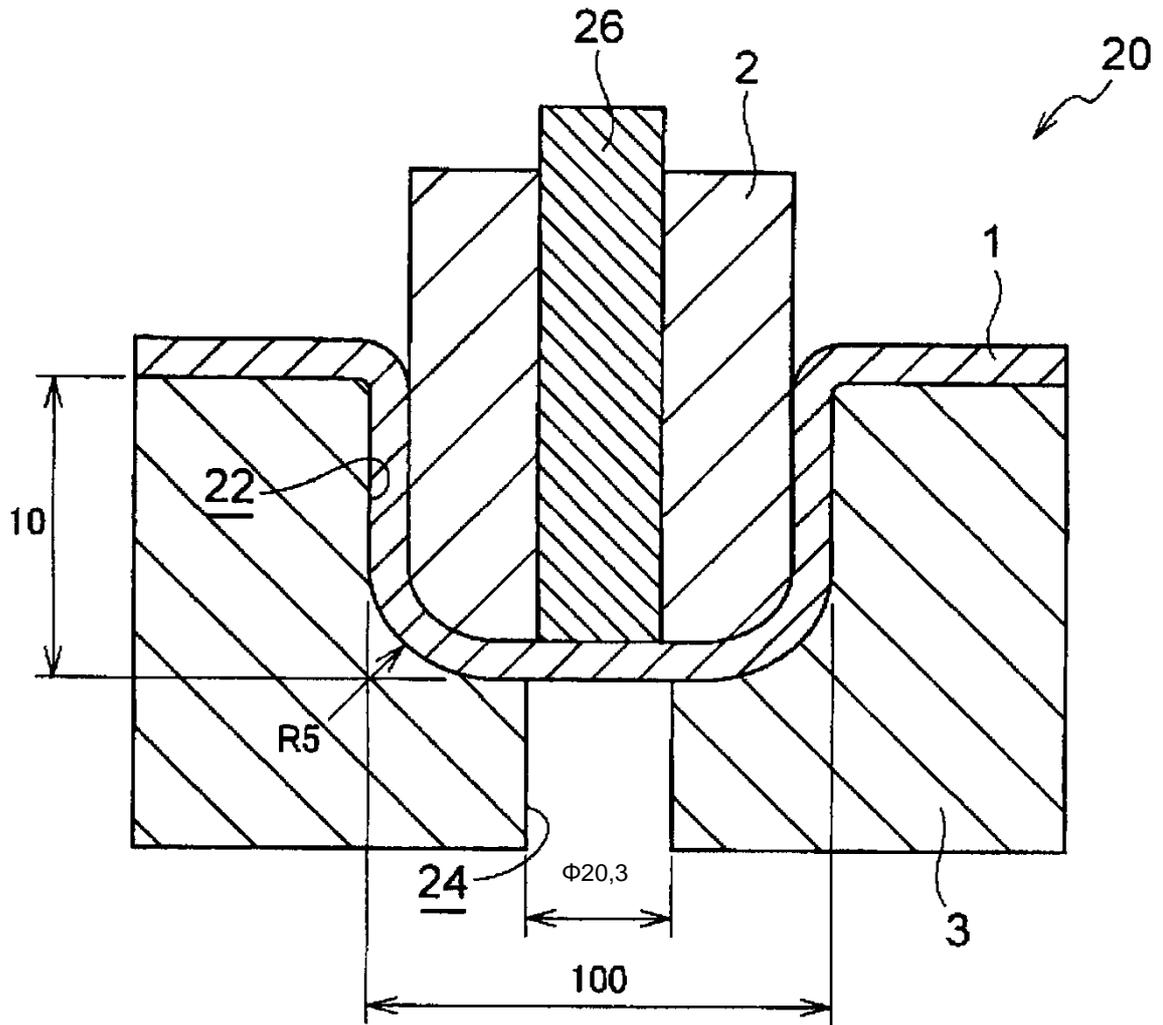


FIG. 9A

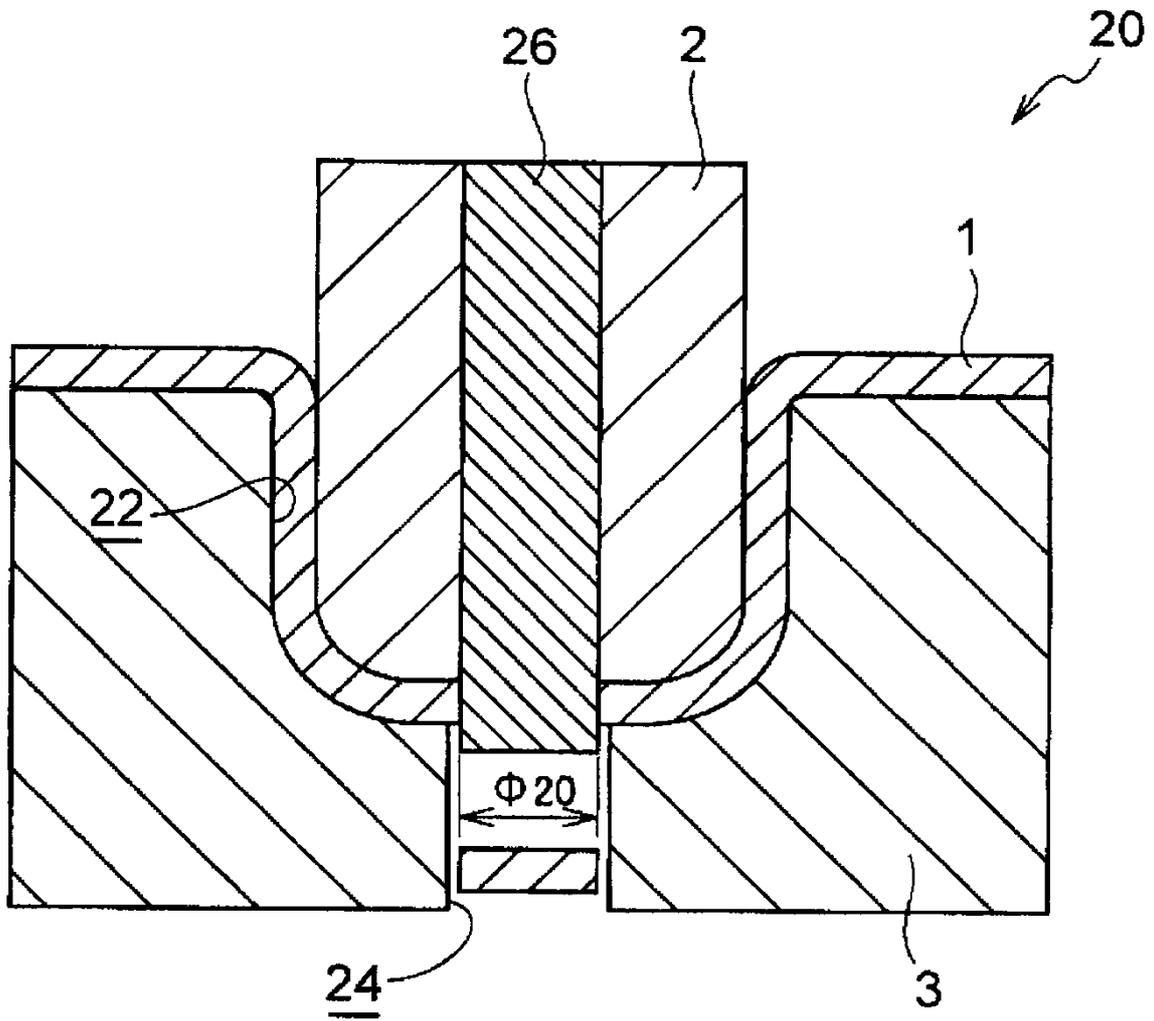


FIG. 9B