

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 526 745**

51 Int. Cl.:

**B21B 23/00** (2006.01)  
**B21B 17/14** (2006.01)  
**B21C 37/15** (2006.01)  
**C21D 9/08** (2006.01)  
**C22C 38/00** (2006.01)  
**C22C 38/32** (2006.01)  
**C22C 38/58** (2006.01)  
**B21B 27/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.03.2008 E 08739032 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.11.2014 EP 2140950**

54 Título: **Procedimiento de fabricación de un tubo de acero sin soldadura acabado en frío para un árbol de transmisión integralmente moldeado**

30 Prioridad:

**30.03.2007 JP 2007091742**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**14.01.2015**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**YAMAMOTO, TADAYUKI**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

**ES 2 526 745 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

Procedimiento de fabricación de un tubo de acero sin soldadura acabado en frío para un árbol de transmisión integralmente moldeado

**Campo técnico**

- 5 La presente invención se refiere a un procedimiento de producción, de manera eficiente, de un tubo de acero sin soldadura acabado en frío para un árbol de transmisión.

**Técnica anterior**

- 10 Últimamente, la protección del entorno global es una necesidad creciente, y se demanda el aligeramiento de la carrocería de los automóviles y un aumento adicional del efecto del ahorro de energía en la industria del automóvil. Debido a esto último, las piezas del automóvil pasan de miembros macizos a miembros huecos desde el punto de vista del aligeramiento de la carrocería de los automóviles, y se adoptan miembros huecos que usan un tubo de acero que es él mismo hueco como material fuente para los árboles de transmisión de los automóviles.

- 15 Los árboles de transmisión huecos incluyen un árbol de de transmisión de tipo junta y un árbol de transmisión de tipo formado integralmente. El árbol de transmisión de tipo junta está configurado para usar un tubo de acero no sometido a tratamiento en caliente tal como endurecimiento por inducción en su porción intermedia, para usar materiales macizos o aceros forjados en porciones de extremo opuestas para ser conectadas a una junta de velocidad constante y un engranaje diferencial y soldarlas con la porción intermedia anterior por soldadura o unión a presión por fricción. El árbol de transmisión de tipo integralmente formado es conocido, por ejemplo, por tener una estructura en la que ambas porciones de extremo de la pieza en blanco del tubo de acero que se ha de conectar con
- 20 las juntas de velocidad constante están sometidas a un procedimiento de reducción de diámetro y de engrosamiento de pared y mecanizado de una chaveta como elemento para mecanismo de enlace, y se aplica un endurecimiento de inducción al todo.

- 25 Los árboles de transmisión para automóviles son piezas de seguridad esenciales que transmiten el par del árbol de rotación de un motor a las llantas y por lo tanto necesitan asegurar una rigidez a la torsión y una resistencia a la fatiga por torsión suficientes.

El documento EP 1595609 divulga un tubo de acero sin soldadura para un árbol de transmisión. Un objeto del documento D1 es producir piezas huecas para un árbol de transmisión de una manera en la que se aplica un proceso de rectificado interior relativamente escaso y se aplica un posterior proceso de estirado en frío a un tubo de acero sin soldadura acabado en caliente por el procedimiento de fabricación de tubos Mannesmann.

- 30 El documento EP 1743950 se refiere a tubos de acero sin soldadura para ser usados como piezas en blanco de árboles huecos que son apropiadas para reducir el peso de los árboles de transmisión usados en los automóviles. El documento D2 describe un procedimiento para producir estos tubos de acero sin soldadura.

- 35 El documento EP 1731234 describe un procedimiento para fabricar un tubo usando un tren de dimensionamiento. El documento D3 divulga el uso de un rodillo ranurado configurado de manera que el ángulo  $\beta$  definido por las tangentes satisface la relación:  $\beta \geq 1,13 \times 10 \times \ln(t/D \times 100) + 1,37 \times 102$ , con el objetivo de suprimir de manera efectivamente la generación y progresión de las arrugas que se pueden producir en la superficie interior de una tubería o tubo.

- 40 Por otra parte, cuando se usa un tubo de acero sin soldadura como pieza en blanco hueca para el árbol de transmisión, defectos de tipo arruga pueden permanecer en la superficie interior del tubo de acero, es decir, defectos cóncavo-convexos formados en la superficie interior cuando se ve en sección transversal en perpendicular a la dirección longitudinal (en lo sucesivo, denominados "arugas de superficie interior") dependiendo de las condiciones de producción. Cuando las arrugas de superficie interior permanecen, estas pasan a ser con facilidad la causa de daños tales como la iniciación de grietas por fatiga, reduciendo significativamente la fuerza de resistencia a la fatiga del árbol de transmisión.

- 45 La figura 1 es un diagrama que ilustra un ejemplo del proceso de producción del procedimiento de fabricación de tubos Mannesmann que produce un tubo de acero sin soldadura en caliente. Este procedimiento de fabricación de tubos implica producir una envoltura 2 hueca perforando una porción central axial de dicha palanquilla 1 con un tren de perforación 3, siendo la palanquilla como material fuente a laminar en una envoltura hueca que se está calentando a una temperatura predeterminada y a continuación suministrar la envoltura hueca a una posterior
- 50 máquina de laminación por alargamiento de un tren de mandril 4 para laminación por alargamiento. La envoltura 2 hueca pasada a través del tren 4 de mandril es a continuación cargada en un horno de recalentamiento 5 para recalentar, y a continuación pasa a través de un tren de laminación de dimensionamiento de un reductor de estiramiento 6 para producir un tubo de acero sin soldadura para ser usado como tubo madre para trabajo en frío, y similar.

- 55 En tal procedimiento de fabricación de tubos, el reductor de estiramiento 6 mostrado está configurado de manera

que se fabrica un juego de rodillos de laminación 6r que someten la envoltura 2 hueca para ser procesada por laminación para incluir tres rodillos 6r de laminación ranurados equidistantes que están dispuestos alrededor de una línea de paso como línea central, estos rodillos 6r de laminación ranurados se colocan en cada caja de laminación en el que se usan normalmente una pluralidad de cajas de laminación 6r, y en una caja de laminación adyacente, la orientación de la impartición de presión para la metalurgia por rodillos 6r de laminación ranurados en un plano perpendicular a la línea de paso se desplaza 60° respecto de la de los rodillos de una caja de laminación de referencia de manera que se alternan las direcciones de metalurgia en la caja de laminación adyacente.

La configuración de los otros reductores de estiramiento 6 que pueden ser adoptados incluyen un tren de laminación de dimensionamiento de cuatro rodillos que comprende cuatro rodillos de laminación ranurados, la orientación de impartición de presión para metalurgia por rodillos ranurados es desplazada 45° dentro de un plano perpendicular a la línea de paso en una caja de laminación adyacente para de este modo permitir la alteración de la orientación de la impartición de presión para metalurgia, y un tren de laminación de dimensionamiento de dos rodillo que incluye dos rodillos de laminación ranurados que están dispuestos en oposición en cada caja.

Sin embargo, en el reductor de estiramiento usado como tren de laminación de dimensionamiento, una envoltura hueca es acabada por laminación laminando por reducción el diámetro exterior sin el uso de una herramienta de restricción de superficie interior tal como un mandril, con la que las arrugas longitudinales se generan fácilmente en la superficie interior del tubo de acero sometido a laminación en caliente.

Además, en el ejemplo del reductor de estiramiento 6 mostrado en la figura 1 anterior, puesto que la laminación por reducción para el diámetro exterior se lleva a cabo mediante tres rodillos de laminación, el tubo de pieza en blanco hueco es sometido a trabajo de laminación a partir de tres direcciones circunferenciales hacia su línea de paso. De este modo, la forma de superficie interior del tubo de acero sometido a acabado en caliente no se convierte en un círculo perfecto sino que se convierte en un círculo cuadrangular o un círculo poligonal, para de este modo formar de manera muy probable formas cóncavo-convexas en su superficie interior.

Con el fin de solucionar el problema de las arrugas de la superficie interna de un tubo de acero sin soldadura, la patente japonesa número 2822849 propone un procedimiento para producir la reducción por laminación en un reductor de estiramiento uniforme entre cada caja y mecanizar también la superficie interior de un tubo de acero producido por desbastado por granallado o similar para producir un tubo de acero sin soldadura para automóviles tales como un árbol de transmisión. Según este procedimiento de producción, la superficie interior de un tubo de acero sin soldadura sometido a laminación en caliente es mecanizado con un espesor de 20 µm a 500 µm para de este modo eliminar las arrugas generadas en la superficie interior del tubo de acero y mejorar la fuerza de resistencia a la fatiga.

Sin embargo, es necesario un enorme tiempo de procesamiento para el mecanizado/desbastado interno por tal granallado. Especialmente, para los tubos de acero adoptados para árboles de transmisión, hay preocupación por los productos tubulares de pequeños diámetro con un diámetro interior de aproximadamente 14 a 25 mm (en lo sucesivo) a menos que se indique lo contrario, los diámetros interior y exterior se denominarán ambos, "diámetro"). Aplicar el procesamiento por granallado a la superficie interior de tal producto requiere un enorme tiempo de procesamiento de decenas de minutos a varias horas para asegurar la anterior cantidad de desbastado. Teniendo en cuenta esto último, el procedimiento de producción propuesto en la patente japonesa número 2822849 anterior plantea los problemas importantes del incremento de los costes de producción así como el hecho de que es incapaz de asegurar la productividad masiva que es industrialmente necesaria.

Como se ha descrito anteriormente, para los tubos de acero sin soldadura, los tubos de acero que particularmente adoptado industrialmente de manera generalizada y pasados a través de un proceso de laminación sin una herramienta de restricción interior tal como un reductor de estiramiento padecen el problema de generar con facilidad arrugas de superficie interior debidas a su mecanismo de laminación. Por lo tanto, en los tubos de acero sin soldadura para árboles de transmisión, el control de generación de arrugas de superficie interior es un asunto importante.

En particular, cuando se utiliza un tubo de acero sin soldadura como material fuente para árboles de transmisión integralmente formados, el proceso de reducción de diámetro podría afectar a las arrugas de superficie interior o la resistencia a la fatiga por torsión. Un tubo de acero soldado por resistencia eléctrica como material fuente tiene una estructura en la que se forman hojas curvadas de acero con una precisión de dimensión y un acabado de superficie excelente en una preforma de forma tubular y apoyada y soldada por soldadura de resistencia eléctrica. Por ejemplo, estos tubos están casi libres de arrugas de superficie interior, y empiezan a ser adoptados para árboles de transmisión de tipo integralmente formados (por ejemplo, véase la patente japonesa abierta a inspección pública número 2002-356742). Los tubos de acero sin soldadura plantean el problema anterior y de este modo es prematura emplearlos de manera seria.

Sin embargo, el tubo de acero soldado por resistencia eléctrica es probable que cause fallos en la porción soldada (junta de soldadura por resistencia eléctrica) que se extiende a lo largo de la dirección del eje, creando de este modo el problema de reducir la resistencia como árbol de transmisión de potencia. El uso del tubo de acero sin soldadura como material fuente no plantea esa preocupación, y por lo tanto se demandan mejoras para permitir que los tubos

sin soldadura sean empleados enserio.

**Divulgación de la invención**

5 Como se ha descrito anteriormente, la manera de suprimir las arrugas de superficie interior en los tubos de acero sin soldadura para árboles de transmisión es un asunto importante desde el punto de vista de asegurar la resistencia a la fatiga, y una demanda para la supresión de la generación de las arrugas de superficie interior es cada vez más exigente, cuando se usa un tubo de acero sin soldadura como árbol de transmisión integralmente formado.

10 Dicho de otro modo, para los árboles de transmisión de junta por soldadura de fricción o similar, cuando un tubo de acero sin soldadura que se ha de usar es procesado por trabajo en frío, la superficie interior después del procesamiento por acabado en frío se convierte simplemente en la superficie interior del árbol de transmisión como con arrugas de superficie interior en la condición tal como ésta. Mientras tanto, es muy preocupante que cuando se fabrica el árbol de transmisión de tipo integralmente formado, se aplica el procesamiento de reducción de diámetro a ambos extremos procesados por trabajo en frío para de este modo causar el engrosamiento de pared, lo cual aumenta especialmente la profundidad de arruga sobre la superficie interior del tubo en asociación con este procesamiento de reducción de diámetro.

15 Además, cuando se fabrica un árbol de transmisión hueco de tipo integralmente formado usando un tubo de acero sin soldadura como miembro hueco, se demanda que el agrietamiento atribuible al proceso de estiramiento y giro en los extremos de tubos no se lleve a cabo. Además, para la mejora del rendimiento del árbol de transmisión, se demanda endurecer incluso la superficie interior del tubo de acero por tratamiento en caliente después del trabajo en frío y al mismo tiempo asegurar una alta tenacidad, requiriendo de este modo templabilidad y tenacidad.

20 Es decir, los tubos de acero sin soldadura acabados en frío óptimos para árboles de transmisión de tipo formado integralmente necesitan satisfacer todos los requisitos tales como trabajabilidad en frío para permitir la conformación complicada sin problemas, una combinación de templabilidad y tenacidad por el tratamiento en caliente apropiado y resistencia a la fatiga adicional como árbol de transmisión (resistencia a la fatiga por torsión).

25 La presente invención se ha llevado a cabo a la vista de tales antecedentes técnicos, y un objeto de la misma es proporcionar un procedimiento para producir de manera económica el tubo de acero sin soldadura para el árbol de transmisión integralmente formado, y un árbol de transmisión de tipo integralmente formado que puede asegurar una resistencia suficiente respecto de las características de fatiga por torsión, y al mismo tiempo tener trabajabilidad en frío y tener tanto templabilidad y tenacidad.

30 El árbol de transmisión, que es una parte que transmite el par del árbol de rotación de un motor automóvil a las llantas, es deseablemente no generar defectos que pudieran ser el inicio de la fractura por fatiga. Como se ha descrito anteriormente, cuando el tubo de acero sin soldadura se utiliza como material fuente para un árbol de transmisión hueco, es probable que se generen arrugas de superficie axial en el tubo de acero sometido a laminación en caliente, ya que el diámetro exterior de un tubo de pieza en blanco hueco se acaba por laminación de reducción sin usar una herramienta de restricción de superficie interior en un tren de laminación de  
35 dimensionamiento tal como un reductor de estiramiento.

Típicamente, cuando se transmite el par del árbol de rotación, se impone una gran tensión de cizallado a la superficie exterior del árbol de transmisión en comparación con la superficie interior. De este modo se generan grietas por fatiga y crecen a partir del lado de superficie exterior sobre la cual se ejerce una gran tensión de cizallado en comparación con la superficie interior, en el caso en que en ausencia de defectos tales como arrugas en la superficie interior del árbol de transmisión, la tensión de cizallado límite por fatiga tanto sobre la superficie interior como la superficie exterior sea suficiente grande.

Además, para el lado de superficie exterior, la inspección de superficie es fácil y de este modo se permite su realización con facilidad incluso si hay defectos en una medida que causa un problema de resistencia a la fatiga.

45 Por lo tanto, si las arugas de superficie interior que se han de generar sobre el lado de superficie interior pueden ser controladas de manera que la tensión de cizallado límite de fatiga sobre el lado de superficie interior no sobrepase una tensión de cizallado específica definida en el lado de superficie exterior incluso cuando están presentes arrugas de superficie interior en la superficie interior, incluso las arrugas de superficie interior que permanecen en un tubo de acero fabricado como un miembro hueco no impondrán efectos adversos a la duración de vida la fatiga del árbol de transmisión, no planteando de este modo ningún problema en la práctica.

50 Desde tal punto de vista, la presente invención ha investigado en detalle la relación entre la profundidad de las arrugas de superficie interior que permanecen en un tubo de acero procesado por acabado enfrió y que afecta a la duración de vida a la fatiga del árbol de transmisión y la resistencia a la fatiga por torsión. Como consecuencia, el inventor encuentra que el árbol de transmisión de tipo junta de unión por presión por fricción necesita tener la profundidad de las arrugas de superficie interior que es de 0,20 mm o menos, y previamente propuso un tubo de  
55 acero sin soldadura para árboles de transmisión en el que se especifica la profundidad de las arrugas de superficie interior que permanecían en la superficie interior (en caso necesario, véase el documento WO2007/111258).

Por otra parte, el árbol de transmisión de tipo integralmente formado tiene porciones de diámetro reducidas dispuestas en extremos opuestos y se produce un engrosamiento de pared en las porciones reducidas de diámetro, lo cual causa el problema de aumentar de manera significativa la profundidad de arrugas en la superficie interior durante el proceso de reducción de diámetro.

- 5 La figura 2 es un diagrama que indica la relación entre la profundidad inicial de la arruga de superficie interior y la relación de reducción de diámetro interior en el procesamiento de reducción de diámetro de un tubo de acero sin soldadura. El tubo de muestra usado en este diagrama es un tubo sin soldadura estirado en frío hasta un diámetro exterior de 36 mm y un espesor de 8,0 mm. El diagrama muestra cambios en el valor máximo de la profundidad de arrugas que permanecen en la superficie interior del tubo de muestra en el procesamiento de reducción de diámetro.
- 10 En las siguientes descripciones, el valor numérico de la profundidad de una arruga de superficie interior indica un valor máximo de las profundidades de arrugas, a menos que se indique otra cosa. Además, la tasa (%) de reducción de diámetro interior es el valor definido por la siguiente ecuación (3):

$$\text{Tasa de reducción de diámetro interior} = ((ID - IDf) / ID) \times 100 (\%) \dots (3)$$

- 15 dado que ID representa el diámetro interior antes del procesamiento de reducción de diámetro, por lo tanto IDf es el diámetro después del mismo.

20 En la figura 2 anterior, el tubo de muestra con una profundidad de arruga inicial de 0,2 mm es un tubo de acero sin soldadura acabado en frío con defectos artificiales que tienen una profundidad 0,2 mm en la pared de tubo interior (una profundidad de arruga máxima en la superficie interior del tubo de acero antes del procesamiento de reducción de diámetro para el diámetro interior es de 0,2 mm). El gráfico muestra que, cuando el proceso de reducción de diámetro para el diámetro interior se lleva a cabo cambiando la tasa (%) de reducción de diámetro interior, la profundidad de arruga del 0,2 mm antes del procesamiento de reducción de diámetro aumenta hasta 0,32 mm a una tasa de reducción de diámetro interior del 40% y hasta 0,44 mm a una tasa de reducción de diámetro interior del 61,9%.

25 Asimismo, el tubo de muestra con una profundidad de arruga inicial de 0,1 mm es un tubo de acero sin soldadura acabado en frío con una profundidad de defectos artificiales de 0,1 mm en la superficie interior. Cuando el procesamiento de reducción de diámetro se lleva a cabo cambiando la tasa (%) de reducción de diámetro interior, la profundidad de arruga máxima en la pared de tubo interior es del 0,1 mm antes del procesamiento de reducción de diámetro y se incrementa a 0,30 mm o más a una tasa de reducción de diámetro interior del 61,9%.

30 Dicho de otro modo, cuando se fabrica un tubo de acero sin soldadura para un árbol de transmisión de tipo junta, se permite una profundidad de 0,2 mm como una arruga de superficie interior que permanece en el tubo de acero como se ha indicado en lo descubierto anteriormente por el presente inventor. Sin embargo, la profundidad de las arrugas de superficie interior necesita ser gestionada de manera más estricta en un tubo de acero sin soldadura para un árbol de transmisión de tipo formado integralmente a la vista de un aumento en la profundidad de arruga en el procesamiento de reducción de diámetro para el diámetro interior en una etapa de la fabricación de piezas.

35 La figura 3 es un diagrama que ilustra la configuración de un árbol de transmisión de tipo formado integralmente, la configuración de la mita izquierda es la apariencia visual, y la mitad derecha muestra una vista en sección transversal. Una chaveta 7 como elemento de enlace está dispuesta en extremos opuestos del árbol de transmisión de tipo integralmente formado, y además una porción de arranque 8 es procesada en su interior. Una porción 9 reducida de diámetro mostrada en la figura 3 es una región en la que el procesamiento de reducción de diámetro es aplicada por embutición o similar, y está dispuesta en porciones de extremo opuestas de un tubo de acero para un árbol de transmisión.

40 La figura 4 es un diagrama que indica una forma general de una pieza de prueba que simula una porción mecanizada-estriada para evaluar las características de fatiga de la porción reducida de diámetro dispuesta en extremos opuestos del árbol de transmisión de tipo formado integralmente como se ilustra en la figura 3 anterior. Las porciones 7 mecanizadas-estriadas están conectadas a unos calibres en extremos opuestos mediante porciones 11 unidas por presión de fricción. El presente inventor examinó las características de fatiga por torsión por simulación usando una pieza de prueba con una porción 7 mecanizada-estriada como se muestra en la figura 4.

50 Como consecuencia de una prueba de simulación mientras se usa el miembro de tubo de acero sin soldadura que incluye una composición química especificada, se ha mostrado que las fracturas por fatiga no se generan desde la superficie del tubo interior en una prueba de fatiga por torsión, si la profundidad de arruga máxima de la superficie de tubo interior después del procesamiento de reducción de diámetro es de 0,2 mm o menos, siendo realizada la prueba de fatiga para el miembro de tubo de acero de pared engrosada de porción reducida de diámetro que tiene la porción mecanizada-estriada sobre su superficie exterior, y todas las fracturas de fatiga se generan a partir de la superficie exterior.

55 Sin embargo, se ha mostrado que, cuando se usa un miembro de tubo de acero sin soldadura que no satisface la composición química especificada, no se puede asegurar una resistencia a la fatiga satisfactoria incluso si una profundidad de arruga máxima de la superficie de tubo interior después del procesamiento de reducción de diámetro

es de 0,2 mm o menos.

Además, según el resultado de la prueba de simulación, una profundidad de arruga máxima de la superficie de tubo interior tiende a aumentar de manera pronunciada según un aumento en la tasa de reducción de diámetro interior como se muestra en la figura 2, de manera que es efectivo que la tasa de reducción de diámetro interior sea suprimida en la medida de lo posible para suprimir la profundidad de arruga de superficie interior. Sin embargo, la formación y el engrosamiento de pared de las porciones reducidas de diámetro son indispensables para asegurar la rigidez por torsión en extremos opuestos del árbol de transmisión, y es necesaria una tasa de reducción de diámetro interior de al menos el 30% en extremos opuestos del miembro de tubo.

En realidad, se espera que la tasa de reducción de diámetro interior en el procesamiento de reducción de diámetro en los extremos de tubo opuestos sea típicamente aproximadamente el 50%. Se ha considerado que una profundidad máxima de la arruga de superficie interior de un tubo de acero sin soldadura que puede permitirse para las aplicaciones a árboles de transmisión de tipo formado integralmente es necesariamente de 0,1 mm o menos a partir de tal circunstancia realista.

Además, estudios repetidos de varias condiciones de producción de tubos de tubos de acero sin soldadura hacen que sea posible que se consiga la profundidad de 0,1 mm o menos para las arrugas de superficie interior que permanecen en la superficie de tubo interior ajustando el perfil de ranura por laminación de dimensionamiento después de la laminación por perforación y la laminación por alargamiento por el procedimiento Mannesmann y ajustando una tasa de reducción de espesor en el posterior estiramiento enfriado.

La presente invención se ha realizado sobre la base de los descubrimientos descritos anteriormente y proporciona procedimientos para producir tubos de acero sin soldadura acabados en frío para árboles de transmisión de tipo formados integralmente de (3) y (4). Como consecuencia de estos procedimientos, se pueden obtener los tubos de acero sin soldadura acabados en frío para árboles de transmisión de tipo formados integralmente de (1) y (4) siguientes y los árboles de transmisión de (2) y (4) siguientes.

- 1) Un tubo de acero sin soldadura acabado en frío para un árbol de transmisión de tipo formado integralmente en el que una composición química comprende: en % en masa: C: 0,30 a 0,38%, Si: 0,50% o menos, Mn: 0,30 a 2,00%, P: 0,025% o menos, S: 0,005% o menos, Cr: 0,15 a 1,0%, Al: 0,001 a 0,05%, Ti: 0,005 a 0,05%, N: 0,02% o menos, B: 0,0005 a 0,01%, y O (oxígeno): 0,0050% o menos, siendo el resto Fe e impurezas, en el que  $B_{eff}$  definido por (1a) y (1b) a continuación satisface 0,0001% o más, y una profundidad máxima de una arruga de superficie interior que permanece en la superficie interior, siendo definida en una sección transversal perpendicular a una dirección longitudinal, es de 0,10 mm o menos.

Dado que Ti, N, y B están representados en términos de contenido (%),

Cuando  $N - 14 \times Ti / 47,9 \geq 0$

$$B_{eff} = B - 10,8 \times (N - 14 \times Ti / 47,9) / 14 \dots (1a)$$

Asimismo, cuando  $N - 14 \times Ti / 47,9 < 0$

$$B_{eff} = B \dots (1b)$$

- 2) Un árbol de transmisión de tipo formado integralmente en el que se aplica el procesamiento de reducción de diámetro a un tubo de acero sin soldadura para proporcionar porciones reducidas de diámetro, con una composición química que comprende: en porcentaje en masa C: 0,30 a 0,38%, Si: 0,50% o menos, Mn: 0,30 a 2,00%, P: 0,025% o menos, S: 0,005% o menos, Cr: 0,15 a 1,0%, Al: 0,001 a 0,05%, Ti: 0,005 a 0,05%, N: 0,02% o menos, B: 0,0005 a 0,01%, y O (oxígeno) : 0,0050% o menos, siendo el resto Fe e impurezas, en el que  $B_{eff}$  definido por (1a) y (1b) satisface 0,0001% o más, 12 y en el que en el procesamiento de reducción de diámetro anterior, una tasa de reducción de diámetro interior como al menos una representación de la tasa de reducción es el 30% o más, y una profundidad máxima de la arruga de superficie máxima que permanece en la superficie interior, como se define en una sección transversal perpendicular a una dirección longitudinal es de 0,20 mm o menos.

- 3) Un procedimiento para producir un tubo de acero sin soldadura acabado en frío para un árbol de transmisión de tipo integralmente formado en el que una palanquilla de composición química: (a) comprende, en porcentaje en masa C: 0,30 a 0,38%, Si: 0,50% o menos, Mn: 0,30 a 2,00%, P: 0,025% o menos, S: 0,005% o menos, Cr: 0,15 a 1,0%, Al: 0,001 a 0,05%, Ti: 0,005 a 0,05%, N: 0,02% o menos, B: 0,0005 a 0,01%, y O (oxígeno): 0,0050% o menos, siendo el resto Fe e impurezas; y (b) la composición química está configurada de manera que  $B_{eff}$  definido por (1a) y (1b) anteriores satisface el 0,0001% o más, en el que cuando la palanquilla anterior es sometida a laminación por perforación por el procedimiento de producción de tubo Mannesmann seguido de laminación por alargamiento y a continuación se somete a laminación de dimensionamiento usando un tren de laminación y dimensionamiento que incluye una pluralidad de cajas de laminación, cada una provista de al menos dos rodillos de laminación ranurados, envolturas huecas se laminan en tubos madre usando rodillos de

laminación ranurados que satisfacen una relación representada por la ecuación (2) siguiente donde se determina un ángulo mínimo entre todos en las cajas de laminación en términos de ángulos  $\beta$ (grados expresado por  $\beta_{\min}$  (grados), dado que líneas tangentes trazadas en bordes de rodillos adyacentes dispuestas en oposición entre sí forman un ángulo  $\beta$ (grados), y en el que además, una tasa de reducción de espesor en la porción de espesor mínima del tubo madre se establece en el 10% o más cuando dicho tubo madre es estirado en frío

$$\beta_{\min} \geq 1,13 \times 10 \times \ln(t / D \times 100) + 1,37 \times 10^2 \dots (2)$$

dado que D es el diámetro exterior del tubo después de la laminación de dimensionamiento (mm), t es el espesor de pared del tubo después de la laminación d dimensionamiento (mm), y  $\ln(x)$  es el logaritmo neperiano de x.

En el procedimiento de producción de un tubo de acero sin soldadura acabado en frío para un árbol de transmisión de tipo integralmente formado de la presente invención, se lleva a cabo el recocido o la normalización después del estirado en frío.

4) El o los elementos de uno o más grupos seleccionados a partir de (a) a (c) siguientes está(n) contenido(s) en lugar de una parte Fe en la composición química de (1) y (2) anterior y de la palanquilla usada en el procedimiento de producción de (3) anterior.

- a) Uno o más elemento seleccionados a partir de Cu: 1% o menos, Ni: 1% o menos y Mo: 1% o menos
- b) Uno o más elemento seleccionados a partir de V: 0,1% o menos, Nb: 0,1% o menos y Zr: 0,1% o menos
- c) Uno o más elementos seleccionados a partir de Ca: 0,01% o menos, Mg: 0,01% o menos, y metales de tierras raras (REM): 0.01% o menos

Según un procedimiento de producción de tubo de acero sin soldadura acabado en frío para un árbol de transmisión de tipo formado integralmente de la presente invención, aplicar estiramiento en frío a un tubo madre laminado en caliente por el procedimiento Mannesmann es posible para fabricar un árbol de transmisión de tipo formado integralmente fiable que es de características excelentes de fatiga a la torsión y trabajabilidad en frío y al mismo tiempo puede exhibir tanto templabilidad como tenacidad sin aplicar mecanizado tal como un desbastado especial de la superficie de tubo interior, y de este modo contribuye a la racionalización de su etapa de fabricación así como a la mejora de la ligereza y la quietud de un árbol de transmisión automóvil.

Por lo tanto, la aplicación del procedimiento de producción de la presente invención permite fabricar un árbol de transmisión automóvil a costes de fabricación económicos y eficientemente, con lo que el procedimiento de producción puede tener un gran efecto industrial y aplicarse de manera generalizada.

#### Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es un diagrama que ilustra un ejemplo del proceso de producción del procedimiento de producción de tubos Mannesmann que produce un tubo de acero sin soldadura en caliente.

La figura 2 es un diagrama que indica la relación entre la profundidad inicial de la arruga de superficie interior y la tasa de reducción de diámetro interior en el procesamiento de reducción de diámetro de un tubo de acero sin soldadura.

La figura 3 es un diagrama que ilustra la configuración de un árbol de transmisión de tipo formado integralmente, la configuración de la mita izquierda es una apariencia visual, y la mitad derecha muestra una representación en sección transversal.

La figura 4 es un diagrama que indica una forma general de una pieza de prueba para simulación de una porción mecanizada-estriada para evaluar las características de fatiga de la porción reducida de diámetro dispuesta en porciones de extremo opuestas del árbol de transmisión de tipo integralmente formado.

La figura 5 es un diagrama que indica una geometría de ranura en un rodillo de laminación para un reductor de estiramiento de tres rodillos.

La figura 6 es un diagrama que ilustra un procedimiento de determinación del ángulo que está formado por líneas tangentes trazadas en bordes de rodillo adyacentes dispuestos en oposición entre sí para especificar rodillos de laminación ranurados para la presente invención.

La figura 7 es un diagrama que indica un contorno de ranura parcial separado en otro tipo de rodillos de laminación para un reductor de estiramiento.

La figura 8 es una vista en sección que indica una forma de una porción mecanizada-estriada de un espécimen sometido a una prueba de fatiga por torsión usada en el ejemplo 2.

#### Mejor modo de realización de la invención

Las composiciones de acero y las condiciones de producción necesarias para el procedimiento de fabricación de un tubo de acero sin soldadura acabado en frío para un árbol de transmisión de tipo integralmente formado de la presente invención para exhibir las características anteriores se describirán por separado en esta sección. En la

## ES 2 526 745 T3

siguiente descripción, la composición química del acero se expresa en “porcentaje en masa”.

### 1.- Composición del acero

C: 0,30 a 0,38%

- 5 C es un elemento que aumenta la resistencia del acero para mejorar la fuerza de resistencia a la fatiga pero sigue para reducir la tenacidad para de este modo aumentar la susceptibilidad de grieta por enfriamiento rápido. Si el contenido es inferior al 0,30%, no se obtiene una resistencia adecuada. Por otra parte, si el contenido sobrepasa el 0,38%, el elemento podría reducir la trabajabilidad en frío y la tenacidad así como generar grietas por enfriamiento rápido en una etapa de endurecimiento por inducción.

Si: 0,50% o menos

- 10 Si es un elemento necesario como agente desoxidante. Sin embargo, si su contenido sobrepasa el 0,5%, la trabajabilidad en frío no se podría asegurar, de modo que el contenido se estableció en el 0,5% o menos. Cuanto menor es el contenido de Si, mayor es la mejor de la trabajabilidad en frío. De este modo, para hacer frente al trabajo en frío más complejo, el contenido de Si es deseable que sea del 0,22% o menos y es más deseable que sea del 0,14% o menos cuando el acero es sometido a condiciones de trabajo mucho más severas.

- 15 Mn: 0,30 a 2,00%

- 20 Mn es un elemento efectivo para asegurar la templabilidad en el tratamiento en caliente y mejorar la resistencia y la tenacidad. El contenido de Mn necesita ser del 0,3% o más para exhibir su efecto y para endurecen suficientemente todo el espesor hasta la superficie interior. Por otra parte, si el contenido de Mn sobrepasa el 2,0% , a trabajabilidad en frío se reduce, Debido a ello, el contenido de Mn se estableció que fuese del 0,3% al 2,0%. Además, el contenido de Mn es deseablemente de 1,1 a 1,7%, más deseablemente del 1,2 al 1,4% para asegurar la templabilidad y la trabajabilidad en frío en un buen equilibrio.

P: 0,025% o menos

- 25 P está incluido en el acero como una impureza y se concentra en la proximidad de la posición final en el momento de la solidificación, y también se segrega a lo largo de los bordes de grano para reducir la trabajabilidad en caliente, la tenacidad y la resistencia a la fatiga. Cuando el contenido de P sobrepasa el 0,025%, la tenacidad se reduce de manera significativa debido a la segregación de los bordes de grano, que induce la fractura intergranular para hacer que la resistencia a la fatiga por torsión sea inestable. Un contenido de P deseable es del 0,009% o menos para mantener la tenacidad y la resistencia a la fatiga del árbol de transmisión en un nivel elevado.

S: 0,005% o menos

- 30 S está incluido en el acero como una impureza y se segrega a lo largo de los bordes de grano en el momento de la solidificación para reducir la trabajabilidad en caliente y la tenacidad, y reduce de manera particular la trabajabilidad en frío y la resistencia a la fatiga por torsión cuando se adopta un tubo de acero sin soldadura como material fuente hueco. A este respecto, el contenido de S necesita ser del 0,005% o menos para asegurar la trabajabilidad en frío y la resistencia a la fatiga por torsión después del tratamiento en caliente, siendo necesarias las dos para un tubo de  
35 acero sin soldadura usado como material fuente de árbol hueco de un árbol de transmisión.

Cr: 0,15 a 1,0%

- 40 Cr es un elemento que aumenta la resistencia a la fatiga sin reducir demasiado la trabajabilidad en frío y también es efectivo para mejorar la templabilidad igual que B. En consecuencia, el contenido de Cr ha de ser del 0,15% o más para asegurar una resistencia a la fatiga especificada. Por otra parte, si el contenido de Cr sobrepasa el 1,0%, la trabajabilidad en frío se reduce de manera significativa. Debido a ello, el contenido de Cr se estableció que fuese de 0,15 al 1,5%.

Además, el contenido de Cr es deseablemente del 0,2 al 0,8%, más deseablemente del 0,3 al 0,6% para asegurar la resistencia a la fatiga, la trabajabilidad en frío y la templabilidad en un buen equilibrio.

Al: 0,001 a 0,05%

- 45 Al es un elemento que sirve como agente desoxidante. El contenido de Al necesita ser del 0,001% o más para ejercer un efecto como agente desoxidante, pero si su contenido sobrepasa el 0,05%, la cantidad de inclusiones basadas en alumina aumenta para reducir la resistencia a la fatiga así como la calidad de superficie de las superficies mecanizadas. Debido a ello, el contenido de Al se estableció que fuese del 0,001 al 0,05%. Además, el contenido de Al es deseablemente del 0,001 al 0,03% para asegurar una calidad de superficie estable.

- 50 Para Ti, N y B descritos a continuación, el contenido de cada elemento es especificado respectivamente y al mismo tiempo las expresiones condicionales adicionales que especifican su equilibrio de contenido mutuo necesitan ser satisfechas para asegurar la templabilidad del acero.

## ES 2 526 745 T3

Ti: 0,005 a 0,05%

Ti tiene la función de inmovilizar N en el acero como TiN. Sin embargo, si el contenido de Ti es inferior al 0,005%, Ti no tiene suficientemente la capacidad de inmovilizar N, mientras que si Ti sobrepasa el 0,05%, la trabajabilidad en frío y la tenacidad se reducen. De este modo, el contenido de Ti se establece que es del 0,005 al 0,05%.

5 N: 0,02% o menos.

N es un elemento que reduce la tenacidad y tiende a unirse fácilmente con B en el acero. Si el contenido de N sobrepasa el 0,02%, la trabajabilidad en frío y la tenacidad se reducen de manera significativa, de manera que su contenido se estableció en el 0,02% o menos. El contenido de N es preferiblemente 0,01% o menos, más preferiblemente 0,007% o menos, desde el punto de vista de la mejora de la trabajabilidad en frío y de la tenacidad.

10 B (boro): 0,0005 a 0,01%

B es un elemento que mejora la templabilidad. Si su contenido es inferior al 0,0005%, la templabilidad es insuficiente, mientras que si el contenido sobrepasa el 0,01%, la trabajabilidad en frío y la tenacidad se reducen. Por lo tanto, el contenido de B se estableció que fuese del 0,0005 al 0,01%.

15 Además, con el fin de que B sirva para mejorar la templabilidad,  $B_{eff}$  especificado por la ecuación (1a) o (1b) siguiente necesita satisfacer 0,0001 o más.

Dicho de otro modo, cuando  $N - 14 \times Ti/47,9 \geq 0$

$$B_{eff} = B - 10,8 \times (N - 14 \times Ti/47,9) / 14 \dots (1a)$$

Asimismo, cuando  $N - 14 \times Ti/47,9 < 0$

$$B_{eff} = B \dots (1b)$$

20 El efecto de N en el acero necesita ser eliminado para B o ejercer la función de mejorar la templabilidad. B se ha probablemente de unir a N y cuando está presente N libre en el acero, B se une fácilmente a N para producir BN, con lo que la función de B de mejorar la templabilidad podría no ser ejercida. Debido a ello, se añade Ti de acuerdo con el contenido de N y N se inmoviliza como TiN, con lo que se consigue que B esté libremente presente en el acero y actúe efectivamente para mejorar la templabilidad. De este modo,  $B_{eff}$  especificado por la ecuación (1a) o (1b) anterior necesita satisfacer 0,0001 o más.

25 Además, cuanto mayor es el valor de  $B_{eff}$ , más se mejora la templabilidad, y por lo tanto,  $B_{eff}$  satisface deseablemente 0,0005 o más, más preferiblemente 0,001 o más.

O (oxígeno): 0,0050% o menos

30 O es una impureza que reduce la tenacidad y la resistencia a la fatiga. Si el contenido de O sobrepasa el 0,0050%, la tenacidad y la resistencia a la fatiga se reducen de manera notable, de manera que su contenido se especificó que fuese el 0,0050% o menos.

35 Además, el procedimiento de producción de un tubo de acero sin soldadura acabado en frío para un árbol de transmisión de tipo formado integralmente de la presente invención puede incluir, además, de la composición de acero anterior, uno o más elementos de Cu: 1% o menos, Ni: 1% o menos, Mo: 1% o menos, V: 0,1% o menos, Nb: 0,1% o menos, Zr: 0,1% o menos, Ca: 0,01% o menos, Mg: 0,01% o menos, y metales de tierras raras (REM) : 0,01% o menos, para mejorar varias características además de la resistencia a la fatiga.

Cu: 1% o menos, Ni: 1% o menos y Mo: 1% o menos

40 Cu, Ni y Mo sirven para mejorar la templabilidad para aumentar la resistencia del acero y son efectivos para mejorar la resistencia a la fatiga. Uno o más elementos de los mismos pueden ser incluidos para intentar ejercer estos efectos. Para conseguir los efectos anteriores, uno cualquiera de Cu, Ni y Mo está deseablemente incluido en una cantidad del 0,05% o más. Sin embargo, si su contenido sobrepasa el 1%, la trabajabilidad en frío se reduce de manera notable. De este modo, cuando está incluido, el límite superior de uno cualquiera de Ni, Mo y Cu es del 1%.

V: 0,1% o menos, Nb: 0,1% o menos y Zr: 0,1% o menos

45 V, Nb y Zr forman cada uno carburos y son efectivos para mejorar la tenacidad previniendo el engrosamiento de los granos de cristal. Por lo tanto, cuando se ha de mejorar la tenacidad del acero, uno o más elementos de los mismos pueden ser incluidos. Para conseguir el efecto anterior, para uno cualquiera de V, Nb y Zr, el contenido es deseablemente 0,005% o más. Sin embargo, si el contenido sobrepasa el 0,1% para cualquier caso, se genera un engrosamiento de precipitados, dando por el contrario como resultado la reducción de la tenacidad. De este modo, cuando se incluye, el límite superior de uno cualquiera de V, Nb y Zr es 0,1%.

50 Ca: 0,01% o menos, Mg: 0,01% o menos, y metales de tierras raras (REM): 0,01% o menos

Ca, Mg y REM contribuyen cada uno a la mejora de la trabajabilidad en frío y a la resistencia a la fatiga por torsión. Cuando se consiguen estos efectos, puede incluirse uno o más elementos de los mismos. Para uno cualquiera de Ca, Mg y REM, que lo incluya en el 0,0005% o más se proporciona un efecto notable. Sin embargo, si el contenido sobrepasa el 0,01% para cualquier caso, se genera un engrosamiento de inclusiones, dando por el contrario como resultado una reducción de la resistencia a la fatiga. Debido a ello, cuando se incluye, el contenido de uno cualquiera de Ca, Mg y REM se establece deseablemente que sea de 0,0005 a 0,01%.

## 2.- Condiciones de producción

### 2.1.- Condiciones de producción en una etapa de trabajo en caliente

Un ejemplo del procedimiento de producción del tubo de acero acabado enfriado para un árbol de transmisión de tipo formado integralmente de la presente invención, como se muestra en la figura 1 anterior, puede ser el procedimiento de fabricación de tubo Mannesmann de un tren de mandril y un reductor de estiramiento. En este punto, la laminación de dimensionamiento por un reductor de estiramiento, la redondez del orificio del tubo laminado puede mejorarse de manera apropiada, de manera que la conformación de tipo polígono del contorno de superficie interior en el procedimiento de laminación se puede suprimir, y la generación y desarrollo de arrugas de superficie interior se puede suprimir de manera efectiva.

Específicamente, cuando se lleva a cabo la laminación por dimensionamiento usando un tren de laminación de dimensionamiento tal como un reductor de estiramiento que comprende una pluralidad de cajas de laminación después de la laminación de perforación seguida de la laminación de alargamiento, dado que hay un ángulo  $\beta$  (grados) que está formado por líneas tangentes que se han de trazar en bordes de rodillos adyacentes entre sí en cada una de las cajas de laminación, y se evalúa un ángulo mínimo en término de  $\beta$  (grados) entre todas las cajas de laminación y se expresa en  $\beta_{min}$  (grados), se convierte en necesario para utilizar los rodillos de laminación ranurados que satisfacen la relación de la ecuación (2) siguiente.

$$\beta_{min} \geq 1,13 \times 10 \times \ln(t/D \times 100) + 1,37 \times 10^2 \dots (2)$$

en la que D es el diámetro exterior del tubo después de la laminación por dimensionamiento (mm), t es el espesor de pared del tubo después de la laminación por dimensionamiento (mm) y  $\ln(x)$  es el logaritmo neperiano de x.

La figura 5 es un diagrama que indica una geometría de ranura en un rodillo de laminación usado para un reductor de estiramiento de tres rodillos. La geometría de ranura de un rodillo 6r de laminación ranurado colocado en el reductor de estiramiento tiene un arco circular con un radio R desde el centro de geometría O' desviado (cantidad de desvío S) hacia fuera desde el centro de ranura O posicionado en la línea de paso, y este arco constituye un perfil de ranura PR que intersecta la superficie F de pared lateral del reborde del rodillo 6r de laminación. Además, los bordes E del rodillo 6r de laminación son extremos del perfil de ranura PR, correspondientes a los extremos del arco con el radio R anterior.

Como se ha descrito anteriormente, durante la laminación de dimensionamiento por un reductor de estiramiento, las arrugas de superficie interior en un tubo laminado se generan en lugares que corresponden a bordes de rodillos de laminación, y de este modo es previsible que el perfil de ranura se realice de manera apropiada, y puesto que hay una cierta relación entre el radio de curvatura de la superficie interior del tubo en posiciones que corresponden a los bordes, un radio interior medio (media del radio menor y el radio mayor) y la profundidad de las arrugas de superficie interior, como se indica mediante la ecuación (2) anterior, se puede establecer un ángulo mínimo en términos de ángulo  $\beta_{min}$  en valor relativo a t/D.

La figura 6 es un diagrama que ilustra un procedimiento de determinación del ángulo que está formado por líneas tangentes trazadas en bordes de rodillo tangentes para especificar los rodillos de laminación ranurados utilizados para la presente invención. En primer lugar, una línea tangente (línea tangente del perfil de ranura en la proximidad del borde Ea) La es trazado en el borde Ea del rodillo 6ra de laminación dispuesto en cada caja de laminación del reductor de estiramiento, una línea tangente (línea tangente del perfil de ranura en la proximidad del borde Eb) Lb es trazado en un borde adyacente Eb que está dispuesto en oposición al borde Ea entre los bordes del rodillo 6nb de laminación, y a continuación se determina el ángulo  $\beta$  que forman dos líneas tangentes La y Lb.

A continuación, se toma un ángulo mínimo de ángulos determinados respectivos en términos de  $\beta$  en todas las cajas de laminación como  $\beta_{min}$  y el perfil de ranura del rodillo 6r de laminación ranurado se puede establecer de manera que una ecuación (2) anterior sea satisfecha. Cuando se lleva a cabo la laminación por dimensionamiento por un reductor de estiramiento usando el rodillo 6r de laminación establecido como se ha descrito anteriormente, la generación de las arrugas de superficie interior del tubo laminado pueden suprimirse, e incluso si se generan arrugas de superficie interior, su desarrollo puede suprimirse efectivamente.

La figura 7 es un diagrama que indica un perfil de ranura parcial en otro rodillo de tren de laminación usado para un reductor de estiramiento. El perfil de ranura del rodillo 6r de laminación concreto de la presente invención no se limita a la configuración de las figuras 5 y 6 anteriores, y tal configuración puede estar cubierta de manera que se pueda proporcionar un contorno circular que consiste en una pluralidad de arcos circulares cada uno con un radio diferente como perfil de ranura PR del rodillo 6r de laminación ranurado, que intersecta la superficie de pared lateral F de

reborde, como se muestra en la figura 7(a). Los bordes E del rodillo 6r de laminación ranurado en este caso corresponden a extremos del contorno circular (radio  $R_n$ ) situado más cerca de los lados del reborde.

- 5 Asimismo, como se muestra en las figuras 7(b) y 7(c), el perfil de ranura puede adoptar una configuración en la que una porción de "relieve" constituida por un arco circular o constituida por una línea lineal se encuentra entre el perfil PR de ranura y la superficie de pared lateral F del reborde de rodillo 6r de laminación ranurado. Los bordes E del rodillo 6r de laminación ranurado en este caso corresponde a extremos del contorno circular que constituye el perfil PR de ranura (extremos del contorno circular situado más cerca de los lados del reborde).

## 2-2 Condiciones de producción en una etapa de trabajo en frío

- 10 Como se ha descrito anteriormente, la pieza en blanco de tubo sometida a laminación por dimensionamiento por el reductor de estiramiento se redujo para deformar en dos a cuatro direcciones circunferenciales debido a la laminación de reducción de diámetro exterior, con lo que se pueden generar arrugas de superficie interior o un contorno con esquinas en posiciones que corresponden a bordes de rodillos de laminación, cuando no se usa un rodillo de laminación ranurado que satisface la ecuación (2) anterior, la generación de arrugas de superficie interior o el contorno de recorrido de esquinas se vuelve más notable.

- 15 En el procedimiento de producción de un tubo de acero de acabado en frío para un árbol de transmisión de la presente invención, los tubos madre se producen por laminación en caliente, y a continuación se someten a un proceso de estirado, de manera que no solo se suprime el desarrollo de las arrugas de superficie interior, sino que se puede mejorar el contorno generado de recorrido de esquinas. Además, se puede alisar la totalidad de las superficies exterior e interior del tubo de acero como producto terminado.

- 20 El proceso de estirado aplicado en la presente invención puede usar un tapón cilíndrico o un tapón SP (tapón semiflotante) mientras se aplica un estirado de mandril (tapón).

- 25 En el proceso de estirado aplicado en la presente invención, ni la tasa de reducción de área ni la tasa media de reducción de espesor son particularmente limitadas, pero es necesario asegurar el 10% o más para la tasa de reducción de espesor de tubo de acero después de la producción de tubos en caliente en la porción de espesor mínimo en una dirección circunferencial en la etapa de estirado en frío.

- 30 Como se ha descrito anteriormente, la geometría de superficie interior del tubo de acero después de la laminación en caliente no es un círculo auténtico y se vuelve un contorno con esquinas o un contorno de tipo polígono, y por lo tanto no se puede asegurar una tasa de reducción de espesor prescrita y de este modo es probable que se vayan a desarrollar/acelerar arrugas de superficie interior en compañía de excentricidad de espesor de pared y similar en la porción de espesor mínimo de tubo de acero (el fondo de esquina/valle en un contorno con esquinas). Sin embargo, el desarrollo/aceleración de arrugas de superficie interior se puede suprimir asegurando el 10% o más para la tasa de reducción de espesor en la etapa de estirado en frío en la porción de espesor mínimo. Además, una profundidad de arruga máxima de la superficie interior del tubo de acero se puede suprimir hasta 0,1 mm o menos en combinación con la laminación de dimensionamiento que satisface la relación de la ecuación (2) anterior.

- 35 Además, el tratamiento en caliente por recocido o normalización se aplica de manera deseable a un tubo de acero estirado en frío. Esto es debido a que se facilita el procesamiento de reducción de diámetro posterior en extremos opuestos del miembro hueco en el procesamiento para un árbol de transmisión de tipo formado integralmente. Es deseable llevar a cabo un tratamiento en caliente en el intervalo de temperatura de 850°C a 950°C como para la normalización, y en el intervalo de temperatura de 680°C a 720°C como para el recocido.

- 40 2.3 Procesamiento para árbol de transmisión de tipo formado integralmente

- 45 Una geometría general de un árbol de transmisión de tipo formado integralmente se muestra en la figura 3 anterior. La fabricación de un árbol de transmisión de tipo formado integralmente implica producir tubos de acero sin soldadura acabados en frío sobre la base del procedimiento de la producción de tubo de la presente invención, y someter porciones de extremo opuestas de una pieza de tubo de acero –una profundidad de arruga máxima sobre su superficie interior se suprime- a engrosamiento de pared en las porciones reducidas de diámetro mediante proceso de embutido, o similar. La tasa de reducción de diámetro interior en el procesamiento de reducción de diámetro se establece para que sea al menos del 30% o más. Si la tasa de reducción de diámetro interior es inferior al 30%, no se puede asegurar una rigidez suficiente de torsión en las porciones de extremo de tubo.

- 50 Además, como se muestra en la figura 2, si la tasa de reducción de diámetro interior es inferior al 30%, un aumento en la profundidad de arruga de la superficie interior acompañada del procesamiento de reducción de diámetro no es significativo, con lo que la profundidad de las arrugas de superficie interior en el estado del acabado en frío no necesariamente necesita ser de 0,1 mm o menos. Debido a ello, en el árbol de transmisión de tipo formado integralmente de la presente invención, al menos parte de la porción de procesamiento de reducción de diámetro necesita ser procesada con una tasa de reducción de diámetro interior del 30% o más.

- 55 El límite superior de la tasa de reducción de diámetro interior no se define particularmente, pero cuando sobrepasa el 60%, es difícil controlar la profundidad de una arruga máxima que permanece en la superficie interior de la porción

reducida de diámetro para que sea de 0,2 mm o menos a menos que la profundidad de arruga en la superficie interior después del estirado en frío sea sustancialmente menor. A este respecto, el límite superior de la tasa de reducción de diámetro interior es deseablemente el 60%, más deseablemente el 52% o menos.

- 5 Como se muestra en la figura 3 anterior, se aplica un procesamiento necesario tal como un mecanizado-estriado como mecanismo de enlace a porciones de extremo opuestas de un árbol de transmisión. El endurecimiento por inducción y el temple se llevan a cabo deseablemente para asegurar características mecánicas necesarias. La dureza de Hv 550 a 595 se puede asegurar mediante endurecimiento y temple. Sin embargo, si la dureza sobrepasa Hv 600, la característica de fatiga no podría reducirse.

**Ejemplos**

10 **(Ejemplo 1)**

- En el ejemplo, se usaron palanquillas que tienen una composición química mostrada en la Tabla 1. Además, como se muestra en la columna de producción de tubos en caliente en la Tabla 2, mientras que se varió la geometría de ranura de un reductor de estiramiento de tres rodillos (ángulo de contacto de reborde mínimo β<sub>min</sub> de un rodillo de laminación ranurado), se aplicó la laminación de perforación mediante acabado por tren de mandril Mannesmann a las palanquillas para de este modo reducir tubos madre con un diámetro exterior de 45,0 mm y un espesor de 7,0 a 7,4 mm para estirado en frío.

[Tabla 1]

Tabla 1  
Composición química  
(en porcentaje en masa, siendo el resto Fe e impurezas)

C	Si	Mn	P	S	Al	Cr	Ti	B	N	O
0,35	0,18	1,32	0,008	0,001	0,040	0,18	0,024	0,0013	0,0041	0,0015

- 20 En este punto se midieron un espesor mínimo en una dirección circunferencia y cada profundidad de arrugas de superficie interior generada. Las condiciones de procesamiento en la etapa de producción de tubos en caliente (condiciones de rodillo de laminación del reductor de estiramiento y otros) los resultados de medición de dicho espesor mínimo y cada profundidad de arrugas de superficie interior, en este punto, también se muestran en la columna de la producción de tubos en caliente en la Tabla 2.
- 25 El tubo madre anterior para el estirado en frío se acabo en un producto con un diámetro exterior de 36,0 mm y un espesor de 6,2 mm por estirado en frío, el cual fue sometido a continuación a normalización (poniendo en remojo a 870°C durante 5 minutos) como el tratamiento en caliente final para producir un tubo de acero sin soldadura acabado en frío.
- 30 Las dimensiones de los productos después del estirado en frío, tasas de reducción de área, tasas de reducción de espesor en porciones de espesor mínimo, profundidad de arrugas de superficie interior y durezas Vickers después del estirado en frío se muestran en la columna de estirado en frío en la Tabla 2. Aquí, la tasa de reducción de área está definida por la ecuación (4) siguiente:

$$\text{Tasa de reducción de área} = \{ (A - A_f) / A \} \times 100 (\%) \dots (4)$$

en la que A representa el área de sección antes del estirado y A<sub>f</sub> representa el área de sección después del estirado.

- 35 Además, la tasa de reducción de espesor está definida por la ecuación (5) siguiente:

$$\text{Tasa de reducción de espesor} = \{ (T - T_f) / T \} \times 100 (\%) \dots (5)$$

en la que T representa el espesor antes del estirado y T<sub>f</sub> representa el espesor después del estirado.

- 40 El tubo de acero anterior para el procesamiento de reducción de diámetro en las porciones de extremo de tubo se corto en piezas que a continuación se sometieron a un proceso de reducción de diámetro con tasas de reducción de diámetro interior del 32,6%, 50% y 61,9) para evaluar características de fatiga como el árbol de transmisión de tipo formado integralmente del tubo de acero sin soldadura acabado en frío anterior. La tabla muestra las condiciones de los resultados de medición y procesamiento de reducción de diámetro de la profundidad de arruga después del procesamiento de reducción de diámetro. Además, la medición de profundidad de arrugas de superficie interior implicaba la recogida de una muestra para observación microscópica a partir de una porción de extremo de tubo y realizar una observación microscópica de toda la circunferencia de la superficie interior en una sección transversal cuyo plano es perpendicular a una dirección longitudinal

[Tabla 2]

Tabla 2

Etapa	Condiciones de producción y de procesamiento	Muestra A	Muestra B	Muestra C	Muestra D	Muestra E	Muestra F	Muestra G	Muestra H	Muestra I
Fabricación de tubos en caliente	Dimensión de tubo de acero después de producción (dimensión de tubo madre para estirado en frío)	Diámetro exterior (D) : 45, 0mm Espesor (t) : 7, 3mm t/D=16, 2%								
	$\beta_{min}$ (grado)	*165								
	Valor del lado derecho de la ecuación (2)	170								
	Espesor mínimo en la dirección circunferencial del tubo (mm)	168, 5								
Profundidad de arrugas de superficie interior después de la producción del tubo (mm)	Diámetro exterior (D) : 45, 0mm Espesor (t) : 7, 4mm t/D=16, 4%									

Tabla 2 - Cont-

Etapa	Condiciones de producción y de procesamiento	Muestra A	Muestra B	Muestra C	Muestra D	Muestra E	Muestra F	Muestra G	Muestra H	Muestra I
Estrado en frío	Dimensión de producto después de estirado en frío	Diámetro exterior (D) : 36,0mm Espesor (t) : 6,2mm								
	Tasa de reducción de área (%)	32,9								
	Tasa media de reducción de espesor	15,1								
	Tasa de reducción de espesor en porción de espesor mínimo (%)	10,1								
	Profundidad de arrugas de superficie interior después de estirado en frío (mm)	0,09								
	Dureza media después de estirado (Hv)	182								
				Diámetro exterior (D) : 36,0mm Espesor (t) : 6,2mm	Diámetro exterior (D) : 36,0mm Espesor (t) : 6,2mm	Diámetro exterior (D) : 36,0mm Espesor (t) : 6,2mm	Diámetro exterior (D) : 36,0mm Espesor (t) : 6,2mm	Diámetro exterior (D) : 36,0mm Espesor (t) : 6,2mm	Diámetro exterior (D) : 36,0mm Espesor (t) : 6,2mm	Diámetro exterior (D) : 36,0mm Espesor (t) : 6,2mm
				32,9	32,9	30,5	33,6			
				15,1	15,1	11,4	16,2			
				10,1	11,4	*6,1	12,7			
				0,09	0,17	0,13	0,03			
				182	178	177	180			

Tabla 2 - Cont-

Etapa	Condiciones de producción y de procesamiento	Muestra A	Muestra B	Muestra C	Muestra D	Muestra E	Muestra F	Muestra G	Muestra H	Muestra I
Procesamiento de reducción de diámetro	Diámetro exterior después de reducción de diámetro (mm)	30	27	25	27	25	27	25	30	25
	Espesor después de reducción de diámetro (mm)	7,0	7,6	8,0	7,6	8,0	7,6	8,0	7,0	8,0
	Tasa de reducción de diámetro interior (%)	32,6	50	61,9	50	61,9	50	61,9	32,6	61,9
QT	Profundidad de arrugas de superficie interior después de reducción de diámetro (mm)	0,12	0,16	*0,30	* 0,27	*0,36	* 0,24	* 0,34	0,04	0,07
	Dureza media (Hv)	575	565	575	591	582	562	578	556	558

Nota: Los valores expresados por \* en la tabla indican que se desvían de los intervalos especificados en la presente invención.

Los resultados de las Muestras A a C en la Tabla 2 indican que la profundidad de una arruga de superficie interior en el estado de acabado en frío se puede controlar para que sea d 0,1 mm o menos usando un rodillo ranurado, estipulado en la presente invención en la etapa de laminación de dimensionamiento y que asegura el 10% o más para la tasa de reducción de espesor en la porción de espesor mínimo del tubo madre en la etapa de estirado en frío de reductor de estiramiento.

Además, para las Muestras A y B, las tasas de reducción de diámetro interior durante el procesamiento de reducción de diámetro fueron del 32,9% y del 50% y las profundidades de arruga máximas después de la reducción de diámetro se pudieron controlar en 0,12 mm y 0,16 mm, respectivamente. Sin embargo, para la Muestra C en la que la tasa de reducción de diámetro interior durante el procesamiento de reducción de diámetro fue del 61,9%, la profundidad de la arruga de superficie interior después de la reducción de diámetro se incrementó a 0,30 mm

En la Tabla 2, las Muestras D y E se sometieron a tales condiciones que en un reductor de estiramiento, se usó un perfil de ranura que se desvía del intervalo especificado en la presente invención, y la tasa de reducción de espesor en la porción de espesor mínimo del tubo madre durante el estirado en frío se estableció en el 10% o más. El resultado fue que las profundidades de arruga después de la producción de tubos en caliente fueron tan grandes como 0,14 mm, aumentadas a 0,17 mm después de estirado en frío, y en el caso en que la tasa de reducción de diámetro interior en el procesamiento de reducción de diámetro fueron tanto del 50% como del 61,9%, las profundidades de las arrugas de superficie interior después del procesamiento de reducción de diámetro sobrepasaron sustancialmente 0,20 mm.

En la Tabla 2, las muestras F y G se sometieron a tales condiciones que se usó un rodillo ranurado, estipulado en la presente invención en la etapa de laminación de dimensionamiento, de un reductor de estiramiento y la tasa de reducción de espesor en la porción de espesor mínimo del tubo madre durante el estirado en frío se estableció en el 6,1%. En este caso, el resultado fue que aunque la profundidad de arruga de superficie interior después de la producción de tubos en caliente fue de 0,05 mm, la profundidad de arruga se incrementó hasta 0,13 mm después del estirado en frío y después del procesamiento de reducción de diámetro en el caso en que la tasa de reducción de diámetro interior fue tanto del 50% como del 61,0%, las profundidades de las arrugas de superficie interior después del procesamiento de reducción de diámetro sobrepasaron esencialmente 0,20 mm.

En la Tabla 2, las Muestras H e I se sometieron a tales condiciones que se usó un rodillo d ranurado, estipulado en la presente invención en la etapa de laminación de dimensionamiento, de un reductor de estiramiento y la tasa de reducción de espesor en la porción de espesor mínimo del tubo madre durante el estirado en frío se estableció en el 12,7%. En este caso, la profundidad de una arrugas de superficie interior después de la producción de tubos en caliente fue de 0,02 mm y también después del estirado en frío la profundidad pueden controlarse en 0,03 mm, y después del procesamiento de reducción de diámetro, la profundidad de una arruga de superficie interior se pudo controlar en 0,07 mm incluso en el caso en que la tasa de reducción de diámetro fue del 61,9%.

### (Ejemplo 2)

Las pruebas de fatiga por torsión se llevaron a cabo en las Muestras A a I que se sometieron a un procesamiento de reducción de diámetro en el Ejemplo 1. En la muestra sometida a procesamiento de reducción de diámetro, como se muestra en la figura 4 anterior, para la porción intermedia longitudinal de la pieza de prueba después de que empezase el estirado en frío se (mecanizo) en 3,5 mm (espesor reducido en 1,75 mm) para formar una porción paralela con una longitud de 150 mm. Esta porción se somete a continuación a un mecanizado-estirado para modelar un espécimen de prueba que simula una porción mecanizada-estirada de un árbol de transmisión formado integralmente.

La figura 8 es una vista en sección transversal parcial separada que indica una forma mecanizada-estirada de una pieza de prueba a someter a una prueba de fatiga por torsión usada en el Ejemplo 2. El número de dientes en la porción mecanizada-estirada está en el intervalo de 25 a 31, ya que se observan ligeras variaciones que dependen del diámetro exterior después del mecanizado de la porción exterior anterior. La profundidad de las porciones cóncavas se estableció e 0,98 mm, el radio de curvatura del fondo de la porción cóncava en 0,4 mm, y el ángulo de inclinación de la superficie de pared lateral en la porción cóncava en 25 grados (°).

La pieza de prueba obtenida de esta manera que simula el estado de porciones de extremo opuestas después del procesamiento de reducción de diámetro para un árbol de transmisión de tipo formado integralmente se sometió a endurecimiento de inducción (simple enfriamiento rápido a 920°C) y tratamiento por calor (150°C x 3 Horas). Después, le espécimen de prueba resultante se sometió a prueba de fatiga por torsión en una condición de la tensión de cizallado máxima  $\tau = 427 \text{ N/mm}^2$  (pulsátil), seguido del recuento del número (veces) de repeticiones de torsión hasta fallo y de la observación de superficie de fractura de la iniciación de fractura mediante un microscopio.

Los resultados de la prueba de fatiga por torsión aparecen en la Tabla 3. Los criterios de decisión para aprobar o suspender en este punto fueron si el número de repeticiones de torsión fue de 300.000 veces o más y el fallo debía producirse a partir de la superficie exterior como iniciación, y cuando el resultado cumple los criterios, el resultado de evaluación se indicó con o y cuando no con x.

[Tabla 3]

Tabla 3

Muestra	Profundidad de arruga después del procesamiento de reducción de diámetro (mm)	Número de repetición de torsión (veces)	Posición de fallo	Evaluación	Observaciones
A	0,12	332876	Iniciación del lado exterior	O	Ejemplo inventivo
B	0,16	329585	Iniciación del lado exterior	O	Ejemplo inventivo
C	*0,30	287394	Iniciado a partir de la porción de arruga de superficie interior	X	Ejemplo comparativo
D	*0,27	313274	Iniciado a partir de la porción de arruga de superficie interior	X	Ejemplo comparativo
E	*0,36	253734	Iniciado a partir de la porción de arruga de superficie interior	X	Ejemplo comparativo
F	*0,24	323789	Iniciado a partir de la porción de arruga de superficie interior	X	Ejemplo comparativo
G	*0,34	265739	Iniciado a partir de la porción de arruga de superficie interior	X	Ejemplo comparativo
H	0,04	328794	Iniciación del lado exterior	O	Ejemplo inventivo
I	0,07	335408	Iniciación del lado exterior	O	Ejemplo inventivo
Nota: • La tensión de cizallado máxima $\tau$ se estableció en 427 N/mm <sup>2</sup> (pulsátil). • La marca * en la tabla indica que el valor se desvía del intervalo especificado en la presente invención					

5 Los resultados indicados en la Tabla 3 muestran que, en el caso en que la arruga de superficie interior después del procesamiento de reducción de diámetro del diámetro interior sobrepasa 0,20 mm (Muestra C a G), la fractura por fatiga se genera a partir de una arruga de superficie interior como iniciación, y la presencia de la arruga de superficie interior se vuelve un obstáculo para las características de fatiga por torsión después del procesamiento de reducción de diámetro.

10 Por otra parte, cuando la profundidad de la arruga de superficie interior después del procesamiento de reducción de diámetro es controlada para que sea 0,20 mm o menos (Muestras A, B e I), la fractura se inicia en la porción mecanizada-estriada en la superficie exterior. El número de repeticiones de torsión hasta el fallo sobrepasaron las 300.000 veces. Estos resultados hicieron posible determinar que la profanidad permisible de la arruga en la superficie interior en la porción reducida de diámetro es de 0,20 mm para la fatiga por torsión en la porción reducida de diámetro interior de un árbol de transmisión de tipo formado integralmente.

**Aplicabilidad industrial**

Un procedimiento de producción de un tubo de acero sin soldadura acabado en frío para un árbol de transmisión de tipo formado integralmente de la presente invención se puede producir aplicando estirado en frío a un tubo madre hecho por laminación en caliente mediante el procedimiento de fabricación de tubos Mannesmann para de este modo suprimir la profundidad de una arruga que permanece en la superficie interior del tubo, puede asegurar características de fatiga por torsión excelente también como árbol de transmisión de automóvil de tipo formado integralmente que tiene porciones reducidas de diámetro en porciones de extremo opuestas, y se puede usar como miembro hueco óptimo para conseguir ligereza y quietud. Por lo tanto, la aplicación del procedimiento de producción de la presente invención permite que árbol de transmisión de automóvil sea fabricado a costes económicos y de manera eficiente, y de este modo el procedimiento de producción se puede aplicar efectivamente de manera industrial y de manera generalizada.

**REIVINDICACIONES**

1.- Un procedimiento de producción de un tubo de acero sin soldadura acabado en frío para un árbol de transmisión de tipo formado integralmente que usa una palanquilla (1) en el que su composición química comprende: en % en masa: C: 0,30 a 0,38%, Si: 0,50% o menos, Mn: 0,30 a 2,00%, P: 0,025% o menos, S: 0,005% o menos, Cr: 0,15 a 1,0%, Al: 0,001 a 0,05%, Ti: 0,005 a 0,05%, N: 0,02% o menos, B: 0,0005 a 0,01%, y O (oxígeno): 0,0050% o menos, siendo el resto Fe e impurezas, y  $B_{eff}$  definido por (1a) y (1b) anterior satisface 0,0001% o más, dado que Ti, N, y B están representados en términos de contenido (%), cuando  $N - 14 \times Ti/47,9 \geq 0$

$$B_{eff} = B - 10,8 \times (N - 14 \times Ti / 47,9) / 14 \dots (1a) ,$$

asimismo, cuando  $N - 14 \times Ti/47,9 < 0$

$$B_{eff} = B \dots (1b) ,$$

en el que

- 1) la palanquilla (1) es sometida a laminación por perforación por el procedimiento de fabricación de tubos Mannesmann seguido de laminación por alargamiento;
- 2) a continuación, cuando se somete a laminación de dimensionamiento usando un tren de laminación de dimensionamiento que incluye una pluralidad de cajas de laminación, cada una provista de al menos dos rodillos de laminación ranurados (6ra, 6rb), dado que hay un ángulo  $\beta$  (grados) que está formado por las líneas tangentes (La, Lb) trazadas en bordes de rodillos adyacentes (Ea, Eb) dispuestos en oposición entre sí en cada caja de laminación y se determina y expresa un ángulo mínimo en términos de ángulo  $\beta$  (grados) mediante  $\beta_{min}$  (grados), los tubos madre (2) se laminan y producen usando los rodillos de laminación ranurados que satisfacen la relación de la ecuación (2),

$$\beta_{min} \geq 1,13 \times 10 \times \ln (t / D \times 100) + 1,37 \times 10^2 \dots (2) ,$$

donde D es el diámetro exterior del tubo después de la laminación de dimensionamiento (mm), t es el espesor de pared después de la laminación de dimensionamiento (mm), y  $\ln(x)$  es el logaritmo neperiano de x; y.

- 3) cuando dichos tubos madre (2) son estirados en frío, una tasa de reducción de espesor en la porción de espesor mínimo es del 10% o más.

2.- El procedimiento de producción de un tubo de acero sin soldadura acabado en frío para un árbol de transmisión formado integralmente según la reivindicación 1, **caracterizado porque** la composición química de la palanquilla comprende, además, uno o más elementos de uno o más grupos seleccionados de los grupos de (a) a (c) siguientes, en lugar de una parte de Fe:

- a) uno o más elemento seleccionados de Cu: 1% o menos, Ni: 1% o menos y Mo: 1% o menos
- b) uno o más elemento seleccionados de V: 0,1% o menos, Nb: 0,1% o menos y Zr: 0,1% o menos, y
- c) uno o más elementos seleccionados de Ca: 0,01% o menos, Mg: 0,01% o menos, y metales de tierras raras (REM): 0.01% o menos

3.- El procedimiento de producción de un tubo de acero sin soldadura acabado en frío para un árbol de transmisión formado integralmente según la reivindicación 1 o 2, **caracterizado porque** se lleva a cabo un recocido o una normalización después del estirado en frío.

Fig. 1

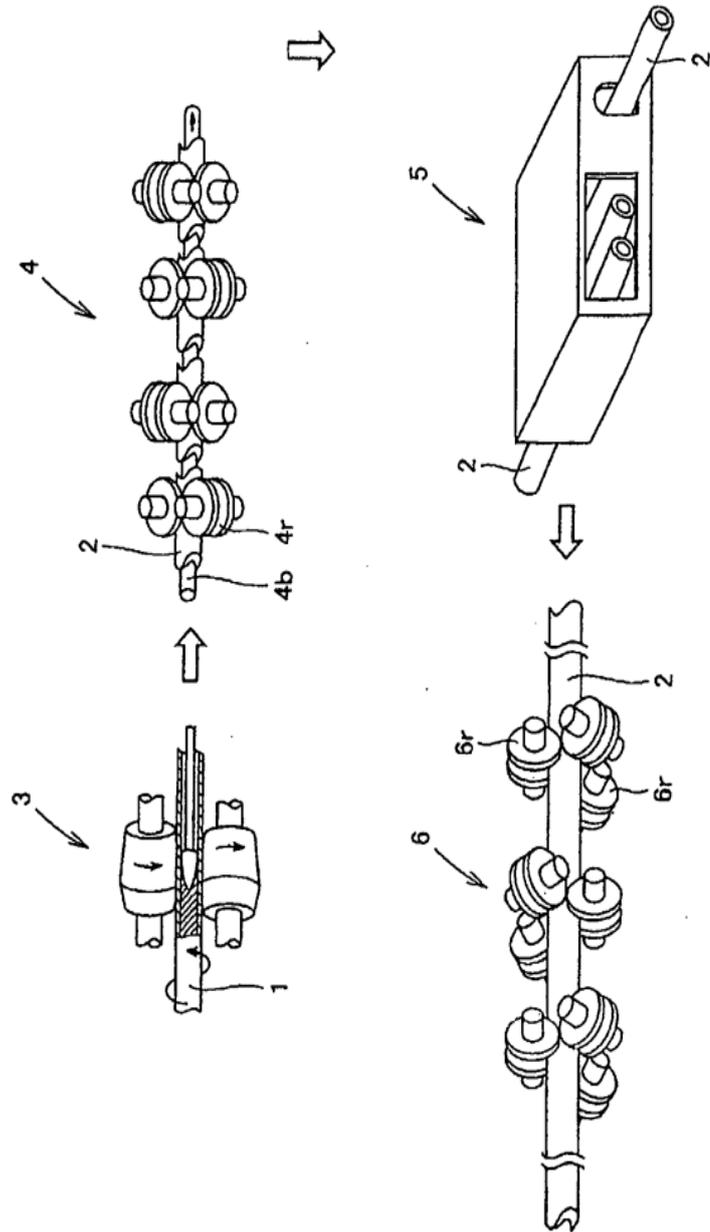


Fig. 2

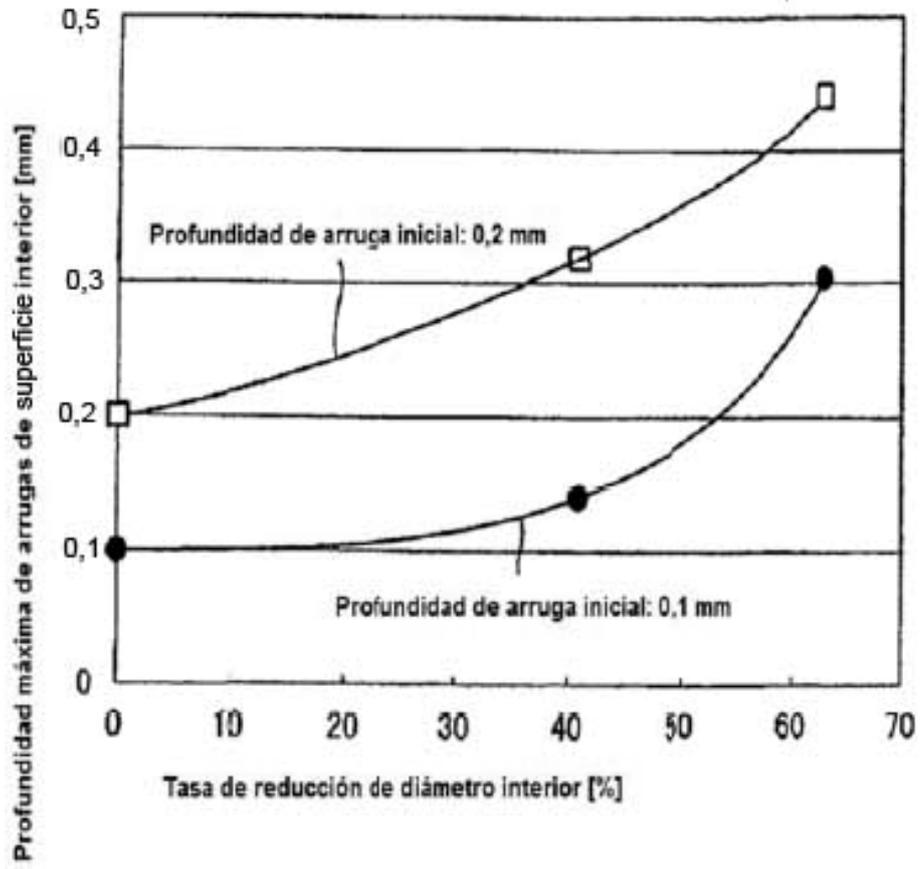


Fig. 3

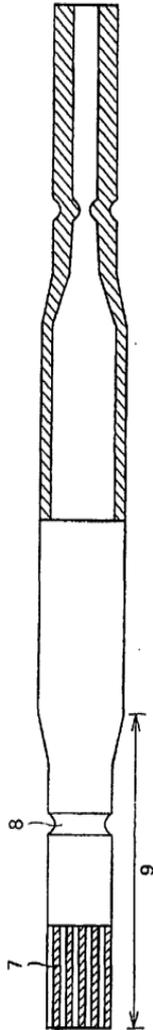


Fig. 4

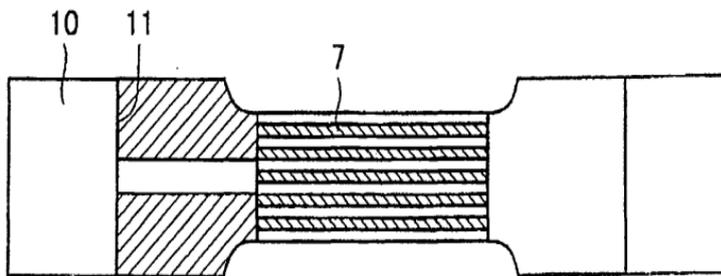


Fig. 5

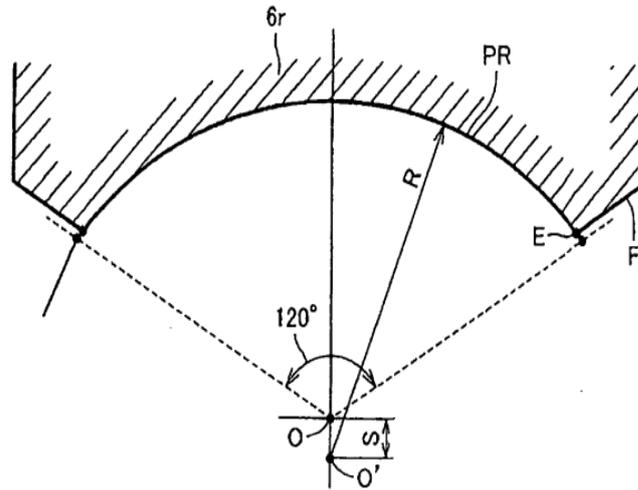


Fig. 6

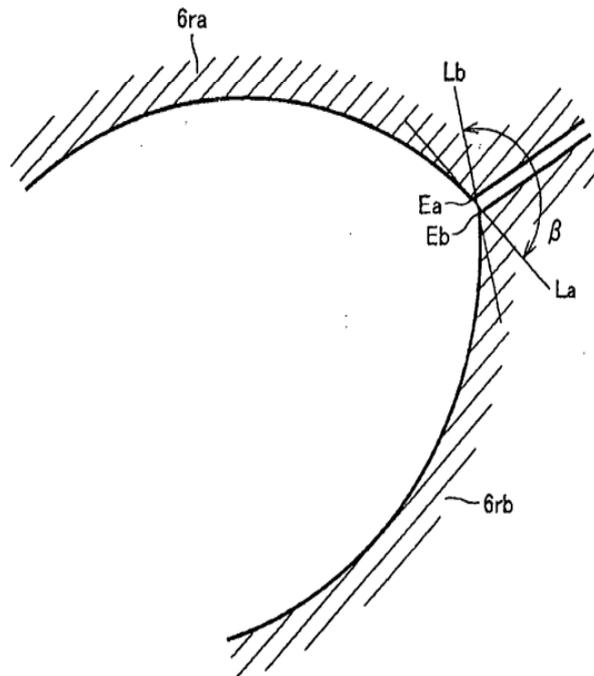


Fig. 7

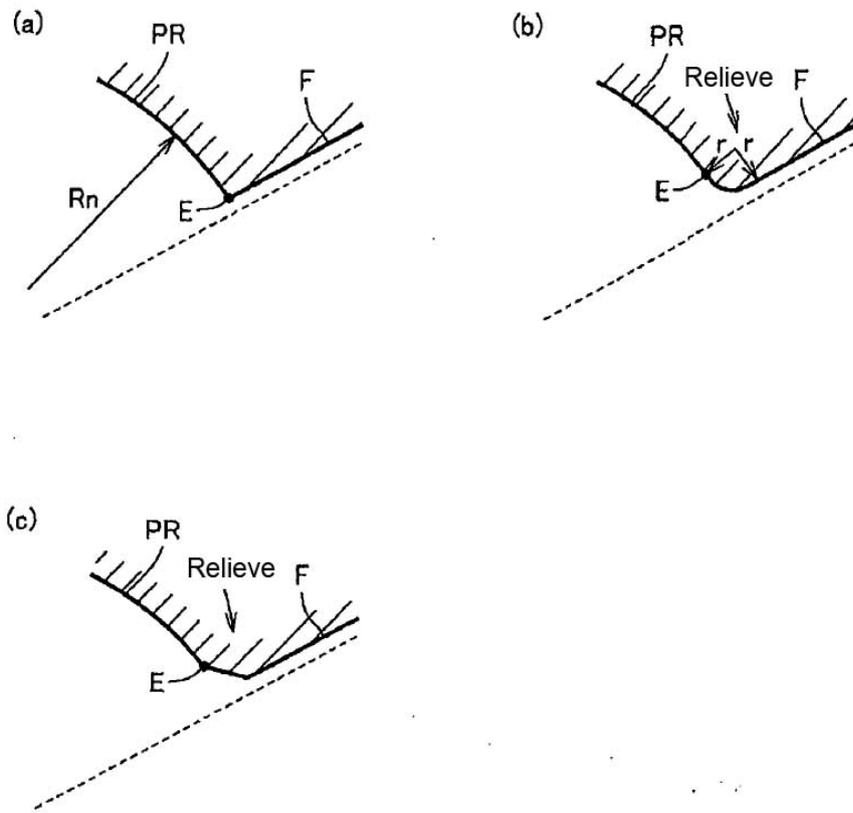


Fig. 8

