

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 438 981**

51 Int. Cl.:

B21B 17/14 (2006.01)
B21B 23/00 (2006.01)
B21B 27/02 (2006.01)
B21C 1/22 (2006.01)
C22C 38/00 (2006.01)
C22C 38/06 (2006.01)
C22C 38/58 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.03.2007 E 07739490 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.10.2013 EP 2008732**

54 Título: **Tubo de acero sin costura acabado en frío para eje de transmisión y procedimiento de producción del mismo**

30 Prioridad:

29.03.2006 JP 2006090719

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

21.01.2014

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 2 438 981 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

Tubo de acero sin costura acabado en frío para eje de transmisión y procedimiento de producción del mismo

Campo técnico

5 La presente invención se refiere a un tubo de acero sin costura acabado en frío para uso como un eje de transmisión y a un procedimiento de producción del mismo y, de forma más particular, a un tubo de acero sin costura acabado en frío que se va a usar como un miembro hueco de alta resistencia y excelente resistencia a la fatiga y muy adecuado para la reducción de peso de un eje de transmisión para automóvil y asegurar la regularidad o la reducción de ruido, y a un procedimiento de producción de tal tubo de acero sin costura de forma eficiente.

Técnica anterior

10 A la vista de la reciente necesidad creciente de la protección del medio ambiente global, se demanda que la estructura de un automóvil se vea reducida en peso para conseguir un efecto de ahorro de energía adicional. Por tanto, desde el punto de vista de reducción del peso de estructura de un automóvil se han realizado intentos para usar un miembro para automóvil correspondiente hueco en lugar del sólido. Entre tales intentos se ha usado un miembro hueco como un eje de transmisión para automoción.

15 De forma más específica se ha usado parcialmente un eje de transmisión hueco de tipo soldado por fricción que comprende tres piezas (una pieza intermedia hecha de tubo de acero sin tratamiento térmico tal como endurecimiento por inducción, y extremos que son conectados a una junta de velocidad constante o a un engranaje diferencial hechos cada uno de material sólido o de material forjado) de modo que se reduce el peso de estructura del automóvil y al mismo tiempo se asegura la maniobrabilidad y regularidad.

20 El eje de transmisión para automoción es un miembro de seguridad importante para la transmisión del par de torsión del eje de revoluciones de un motor para accionar las ruedas y por tanto se requiere asegurar un nivel suficiente de resistencia a la fatiga. El documento de patente japonesa nº 2005-320575 y la solicitud de patente europea nº 1743950 A1 describe un tubo de acero sin costura que presenta excelente rugosidad y resistencia a fatiga por torsión que comprende, en % en masa C: 0,30 a 0,50%, Si: 0,5% o inferior, Mn: 0,3 a 2,0%, P: 0,025% o inferior, S: 0,005% o inferior, Cr: 0,15 a 1,0%, Al: 0,001 a 0,05%, Ti: 0,005 a 0,05%, N: 0,02% o inferior, B: 0,0005 a 0,01% y O (oxígeno): 0,0050% o inferior, siendo el resto Fe e impurezas y un procedimiento de producción del mismo mediante una etapa de procesamiento en frío de blancos de tubo de acero de no menos de 5% en tasa de reducción de superficie en sección transversal. Sin embargo, cuando se usa un tubo de acero sin costura como un miembro hueco de tal eje, el tubo de acero puede retener arrugamientos en forma de pliegues en la superficie interior del miembro hueco, a saber, pliegues no uniformes desarrollados en la superficie interior tal como se ven en la sección transversal perpendicular a una dirección longitudinal (en lo sucesivo denominada como "pliegues de superficie interior"), en función de las condiciones de producción de tubo de acero. Cuando tales pliegues de superficie interior permanecen, estos tienden a actuar como factores que provocan daños, por ejemplo, actúan como puntos de inicio para la fractura por fatiga, debilitando de este modo de forma remarcada la resistencia a la fatiga del eje de transmisión.

35 Por lo tanto en la producción de un tubo de acero para uso como un miembro hueco de un eje de transmisión, se ha investigado una técnica que comprende la inserción de un punzón u otro tipo de mandril en el tubo de acero y repetir el estirado en frío hasta obtener un tamaño predeterminado. De acuerdo con la técnica que comprende la repetición de estirado en frío, el tubo de acero se puede procesar para adquirir superficies internas y externas suaves y para tener un tamaño predeterminado. Para la obtención de una superficie interior suave, sin embargo, se requieren varias repeticiones de trabajo de estiramiento y recocido intermedio, lo que provoca un problema que aumenta los costes de producción.

45 Para solucionar tales problemas la patente japonesa nº 2.822.849 propone un procedimiento de producción de un tubo de acero sin costura para uso en un automóvil, por ejemplo, como un eje de transmisión, tal procedimiento comprende la producción de forma eficiente de un tubo de acero sin costura usando una reductora por estiramiento de acuerdo con el procedimiento de fabricación de tubos de Mannesmann y mecanizado de la superficie interior de este tubo de acero mediante pulido por granallado, por ejemplo. De acuerdo con este procedimiento los pliegues que tienen lugar sobre la superficie interior del tubo de acero sin costura laminado en caliente se eliminan de forma intencionada mediante mecanizado de la superficie interior hasta una profundidad de 20 μm a 500 μm , de modo que se pueda mejorar la resistencia a la fatiga.

50 Sin embargo se requiere un tratamiento fenomenalmente largo para tal pulido de la superficie interior mediante granallado. De forma específica, los tubos de acero objeto para uso como eje de transmisión son miembros de pequeño diámetro que presentan un diámetro interno de aproximadamente 15 \varnothing a 25 \varnothing y, para el acabado por granallado de la superficie interior de estos tubos para asegurar la extensión anteriormente citada del pulido, se

requiere un tiempo de tratamiento tan extenso como de diez minutos a varias horas. Por tanto el procedimiento de producción propuesto en la patente japonesa nº 2.822.849 presenta grandes problemas: aumento en costes de producción y fallo al asegurar la capacidad de la producción en masa que se requiere desde el punto de vista industrial.

Descripción de la invención

5 El proceso de fabricación de tubos de Mannesmann para la producción de tubos de acero sin costura continuo mediante procesamiento en caliente está comprendido por una etapa de perforación, o punzonado, para la ejecución de un agujero en la parte central de un tocho sólido, una etapa de laminación para elongación para la reducción del espesor de pared del tubo hueco obtenido de este modo y una etapa de laminación para dimensionado para la reducción del diámetro exterior del tubo hueco para finalizar el tubo en un tamaño deseado.

10 Por lo general tales perforadoras/tren de laminación como una perforadora de Mannesmann, una perforadora/tren de laminación de rodillos transversales o perforadora prensa se usa en la etapa de perforación, un tren de laminación, mandrinadora, troqueladora o equipo Assel se usa en la etapa de laminación por estiramiento, y un tren de laminación calibrador tal como una reductora por estiramiento o conformador se usa en la etapa de laminación para dimensionado.

15 La figura 1 es una representación que ilustra un procedimiento de producción de tubo ejemplo para la fabricación de tubos de acero sin costura mediante procesamiento en caliente de acuerdo con el procedimiento de Mannesmann. En este procedimiento de producción de tubos un tocho redondo sólido 1 que va a ser laminado se calienta hasta una temperatura predeterminada y la parte central axial de la misma se perfora en un máquina perforadora/tren de laminación 3 hasta dar un tubo hueco 2, que se alimenta a un equipo de laminación por elongación siguiente que comprende una mandrinadora 4 para la laminación por elongación. Después de pasar por la mandrinadora 4 el tubo hueco 2 se envía luego a un horno de recalentado 5 y, tras recalentado, se pasa a través de un equipo de laminación para dimensionado que comprende una reductora por estirado 6, con la que se produce el tubo de acero para uso como un tubo madre que se va a someter a procesamiento en frío, por ejemplo.

20 En un procedimiento de fabricación de tubos de este tipo el reductora por estirado 6 como se muestra se configura tal como una pluralidad de conjuntos de rodillos de laminación, compuesto cada uno de ellos de tres rodillos de laminación calibradores 6r dispuestos a equidistancia circunferencial uno respecto de otro en torno a la línea de paso, se proporcionan en estaciones de rodillo respectivas, entando dispuestos los rodillos de laminación calibradores 6r en un plano perpendicular a la línea de paso de la estación en la que se encuentran los rodillos.

30 Otras configuraciones de la reductora por estirado usadas en la actualidad son un equipo de laminación para dimensionado de tipo cuatro rodillos equipado con conjuntos de cuatro rodillos de laminación calibradores, en los que los rodillos de laminación calibradores están dispuestos en una estación de rodillos adyacente de modo que llevan a cabo el trabajo de laminación en una dirección cambiada en un ángulo de 90 grados en un plano perpendicular a la línea de paso de la estación en la que se encuentran los rodillos, y un equipo de laminación para dimensionado de tipo dos rodillos equipado con conjuntos de dos rodillos de laminación calibradores que dan uno a otro en estaciones de rodillo respectivas.

35 En el caso de una reductora por estirado usada como un equipo de laminación para dimensionado, tal como una herramienta de restricción de superficie interior cuando no se usa una mandrinadora, el tubo hueco es reducido en diámetro exterior mediante laminación y se consigue acabar y, por tanto, se forman fácilmente pliegues en una forma longitudinal en la superficie interior del tubo de acero laminado en caliente.

40 De forma adicional, en el caso de una reductora por estirado como se muestra en la figura 1, el diámetro exterior se reduce con conjuntos de tres rodillos de laminación y, por lo tanto, el tubo hueco se somete a trabajo de laminación desde las tres direcciones radiales respecto a la línea de paso. Como consecuencia la superficie interior del tubo de acero acabado en caliente no puede presentar siempre una forma circular exacta pero fácilmente comienza a tomar una forma circular en ángulo o poligonal y se forman fácilmente irregularidades cóncavo-convexas en la superficie interior. Es difícil corregir tales irregularidades cóncavo-convexas de la superficie interior para formar un círculo exacto mediante pulido solamente tal como granallado.

45 Por lo general un eje de transmisión hecho de un miembro hueco se trata para aumentar la resistencia del mismo asegurando un nivel suficiente de resistencia a la fatiga; sin embargo, tal material dotado de resistencia permite fácilmente el desarrollo de inicio de fractura por fatiga desde un pliegue en superficie interior, dando lugar a reducciones marcadas en resistencia a la fatiga en ciertos casos. Por lo tanto, la susceptibilidad del material hueco para un eje de transmisión a concentración de estrés que provoca fractura por fatiga aumenta en respuesta al tratamiento de aumento de resistencia; por lo tanto, se demanda fuertemente asegurar la calidad de superficie interior.

La presente invención que se ha hecho a la vista de los problemas encontrados en la técnica en la producción de un tubo de acero sin costura para uso en automoción, por ejemplo, como un eje de transmisión, presenta un objeto de

proporcionar un tubo sin costura acabado en frío que; sea muy adecuado para uso, en particular en un eje de transmisión hueco de un tipo unido tal como un tipo soldado por fricción; sirviendo para reducir el peso del eje de transmisión de automóvil y asegurar la regularidad o reducir el ruido; y es de resistencia y resistencia a la fatiga excelentes sometiendo un tubo hueco laminado en caliente producido con el procedimiento de fabricación de tubos de Mannesmann a estirado en frío así como también un procedimiento de producción del mismo.

El eje de transmisión es una parte de la transmisión del momento de torsión del eje en rotación de un motor de automóvil para el accionamiento de ruedas y, por tanto, es deseable que la ocurrencia de un defecto posiblemente sirva como un inicio para que se evite la fractura por fatiga. Sin embargo, en un equipo de laminación para dimensionado tal como una reductora por estirado, el tubo hueco es acabado por laminación de reducción del diámetro exterior sin usar herramienta de restricción de superficie interna alguna, como se citó anteriormente; por lo tanto, se forman fácilmente pliegues en superficie interior como arañazos en el tubo de acero laminado en caliente.

Por lo tanto se llevaron a cabo investigaciones en relación a las influencias de pliegues en superficie interior en el tiempo de vida a fatiga, en particular las influencias de la profundidad de pliegue en la resistencia a la fatiga de un eje de transmisión del tipo soldado por fricción que se pretende para uso de un tubo de acero, producido como un miembro hueco, en estado como tal.

La figura 2 es una representación esquemática ejemplar de una configuración de contorno de un eje de transmisión conectado a ruedas motrices en un sistema motriz de automóvil que comprende un eje propulsor. En la configuración mostrada un eje de transmisión 7 se compone de: ejes 7a de igual longitud en extremo exterior cada uno de los cuales está conectado a una rueda motriz; y un eje intermedio 7b uno de cuyos extremos está conectado a un sistema de engranaje diferencial 10, estando el eje intermedio dispuesto en la parte intermedia. El sistema de engranaje diferencial 10 está fijado al cuerpo de automóvil y el eje de entrada de energía del mismo está conectado con un eje propulsor 12 mediante una junta 11; no puede estar dispuesto en la parte central del cuerpo de automóvil desde el punto de vista de la estructura de la carrocería de automóvil.

En la presente solicitud la frase "para un eje de transmisión" significa el uso como un eje 7a y/o 7b que constituye el eje de transmisión 7, entre otros.

Desde el punto de vista de la eficiencia de transmisión de energía del par de torsión motriz es efectivo hacer conexiones con las ruedas motrices mediante ejes 7a de igual longitud y, por tanto, se dispone un eje intermedio 7b en la parte media para permitir las conexiones mediante ejes 7a de igual longitud. En el eje de transmisión de tipo soldado por fricción se usa por lo general un tubo de acero como tal ya que el eje intermedio 7b en el eje de transmisión tiene que conectarse con las ruedas motrices.

Cuando, por ejemplo, un tubo de acero como el eje intermedio transmite el par de fuerzas al eje en rotación, la superficie exterior del eje de transmisión sufre mayor esfuerzo de cizalla en comparación con la superficie interior. Por lo tanto, cuando la superficie interior del eje de transmisión se encuentra libre de arrugamientos tales como pliegues y ambas superficies interior y exterior presentan esfuerzos de cizalla con límite de fractura suficientemente alto, se desarrolla fractura por fatiga y crece en la zona de la superficie exterior en la que actúa mayor esfuerzo de cizalla que en la superficie interior.

Por lo tanto, si, incluso cuando aparecen pliegues en superficie interior en la superficie interior, los pliegues en la superficie interior que se desarrolla en la parte de la superficie interior se pueden controlar de forma que el esfuerzo de cizalla con límite de fractura en la parte de la superficie interior no pueda superar el esfuerzo de cizalla especificado en la parte de la superficie exterior, incluso los pliegues en la superficie interior que quedan en el tubo de acero producido como un miembro hueco no influirán en el tiempo de vida a fatiga del eje de transmisión como consecuencia y no provocarán problema práctico alguno.

Desde este punto de vista se investigaron con detalle las influencias de los pliegues en superficie interior que quedan en los tubos de acero acabados en frío sobre el tiempo de vida a fatiga del mismo y, como consecuencia, se encontró que la profundidad crítica del mismo es de 0,20 mm.

En base al anterior hallazgo como una premisa, se investigó el comportamiento de los pliegues en superficie interior que se desarrollan en la laminación para dimensionado usando una reductora por estirado o similares. Como resultado se encontró que en la laminación para dimensionado, los pliegues en superficie interior se desarrollan de una forma concentrada en aquellas partes del tubo que se corresponden con las partes extremas de los rodillos de laminación calibradores y, por tanto, son provocados pliegues en la superficie interior por el hecho de que los rodillos de laminación presenten un perfil calibrador elíptico. Se ha encontrado por tanto que haciendo el perfil calibrador más próximo a un círculo exacto y seleccionando de forma apropiada la relación de perfil (relación del radio de la curvatura de superficie interior al radio interno medio) del tubo en los sitios correspondientes a los extremos, llega a ser posible controlar la profundidad de pliegues en superficie interior de modo que los pliegues no pueden influir en el tiempo de

vida a fatiga del eje de transmisión.

5 Se ha revelado también que incluso cuando el tubo hueco tras laminación para dimensionado presenta pliegues en superficie interior desarrolladas en el mismo, los pliegues en superficie interior se puede evitar que crezcan en la etapa de estirado en frío subsiguiente si se puede asegurar una cierta tasa de reducción de espesor de pared en la parte de espesor de pared mínima (parte de fondo angular) dando lugar también a la excentricidad de espesor de pared del tubo hueco.

10 De forma adicional se ha encontrado que reduciendo un contenido en S en el diseño de la composición de acero llega a ser posible mejorar el tiempo de vida a fatiga del eje de transmisión en un ensayo de fatiga en la parte de ciclo alto. Por tanto se ha relevado que el uso de un acero de bajo contenido en S es efectivo en la producción de un tubo de acero para un eje de transmisión.

La presente invención se ha completado en base a tales hallazgos tecnológicos tal como se citaron anteriormente y se refiere a un tubo de acero sin costura acabado en frío para un eje de transmisión como se define en las reivindicaciones 1 -2 y a un procedimiento de producción de un tubo de acero sin costura acabado en frío para un eje de transmisión como se define en las reivindicaciones 3 a 6.

15 Se puede usar el tubo de acero sin costura acabado en frío para un eje de transmisión de acuerdo con la presente invención según se produce sometiendo un tubo hueco laminado en caliente con el procedimiento de fabricación de tubos de Mannesmann para estirar en frío como un miembro hueco de alta resistencia y excelente resistencia a fatiga, y muy adecuado para la reducción del peso de un eje de transmisión para automóvil, asegurando la regularidad. Por lo tanto, aplicando el procedimiento de producción de acuerdo con la presente invención es posible producir un eje de transmisión para automóvil a bajo coste de producción y de forma eficiente; de esta forma, la presente invención es muy efectiva desde el punto de vista industrial y se puede aplicar ampliamente.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es una representación de un ejemplo del procedimiento de fabricación de tubos de Mannesmann para la producción de un tubo de acero sin costura por procesamiento en caliente.

25 La figura 2 es una representación esquemática de la configuración contorno de un eje de transmisión que se une con ruedas motrices.

La figura 3 es una representación del estado de un pliegue en superficie interior que queda en la superficie interior del tubo de acero como se puede apreciar en una sección transversal perpendicular a la dirección longitudinal del tubo de acero.

30 La figura 4 es una representación de estado de otro tipo de pliegue en superficie interior que presenta una forma diferente y que queda en la superficie interior del tubo de acero como se puede apreciar en una sección transversal perpendicular a la dirección longitudinal del tubo de acero.

35 La figura 5 es una representación gráfica de la interrelación entre el valor medio α de las relaciones de perfil del tubo (relación entre el radio de curvatura de la superficie interior y el radio interno medio) en aquellos puntos del tubo hueco que se corresponden con los extremos de todas las estaciones (nº 1 a N) y la profundidad del pliegue en superficie interior generado en el tubo hueco a una tasa de reducción del diámetro exterior de 50% o más.

40 La figura 6 es una representación gráfica de la interrelación entre el ángulo β min (grados) entre los ángulos β (grados) formados cada uno por dos líneas tangenciales trazadas en los extremos opuestos de rodillos de laminación calibradores mutuamente adyacentes en cada estación para todas las estaciones en un equipo de laminación para dimensionado y la dimensión de tubo t/D tras laminación para dimensionado.

La figura 7 es un dibujo que muestra un perfil calibrador en un rodillo de laminación usado en una reductora por estiramiento.

45 La figura 8 es un dibujo que ilustra el modo de determinar el ángulo formado por dos líneas tangenciales trazadas en los extremos opuestos de modo que se definan los rodillos de laminación calibradores que se van a usar en la práctica de la presente invención.

La figura 9 es un dibujo que muestra otros factores representativos entre perfiles calibradores de rodillos de laminación que se van a usar en una reductora por estiramiento.

La figura 10 es un dibujo que ilustra la configuración de cada probeta de ensayo usada en el ensayo de fatiga por carga de torsión llevado a cabo en los ejemplos.

Mejores modos para llevar a cabo la invención

El tubo de acero sin costura acabado en frío para un eje de transmisión de acuerdo con la presente invención se caracteriza porque la profundidad del pliegue en superficie interna que queda sobre la superficie interior no es mayor de 0,20 mm de modo que el eje de transmisión hueco, en particular el eje de transmisión hueco de un tipo unido tal como un tipo solado por fricción, en el que se usa el tubo de acero, en estado tal cual, puede presentar un alto nivel de resistencia a la fatiga.

La profundidad de pliegue en superficie interior se define en este documento como la profundidad del pliegue en superficie interior más profunda que se encuentra tras comprobación en toda la superficie interior del tubo de acero. La medida de profundidad de pliegue en superficie interior puede llevarse a cabo, por ejemplo, tomando una muestra para observación microscópica desde un extremo del tubo de acero, seguido de observación microscópica de toda la circunferencia de la superficie interior de la misma.

La figura 3 y la figura 4 muestran las condiciones de dos pliegues en superficie interior que quedan en la superficie interior del tubo de acero y que difieren en forma como se aprecia en una sección transversal perpendicular a la dirección longitudinal del tubo de acero y el procedimiento de determinación de la profundidad de pliegue en superficie interior se ilustra en cada una de las figuras 3(b) y 4(b). Por tanto, la profundidad de pliegue en superficie interior se define como la distancia desde el mayor (A en las figuras) de ambas partes superiores A y B respecto al fondo de pliegue.

Controlando la profundidad del pliegue en superficie interior que queda en la superficie interior a niveles no superiores a 0,2 mm comienza a ser posible evitar que el esfuerzo de cizalla con límite de fractura en la cresta del pliegue en superficie interior supere el esfuerzo de cizalla definido en la parte de la superficie exterior. Como consecuencia de tal control de profundidad de pliegue en superficie interior el número de repeticiones de torsión hasta fractura en un ensayo de fatiga bajo carga de torsión llevado a cabo en las condiciones de máximo esfuerzo de cizalla $\zeta = \pm 145 \text{ N/mm}^2$ (completamente invertido) llega a al menos un millón, como se muestra más adelante en esta invención en la sección de ejemplos; de este modo no se ejerce influencia en la vida a fatiga del eje de transmisión para automoción y no se produce problema práctico.

El tubo de acero sin costura acabado en frío para un eje de transmisión de acuerdo con la presente invención presenta una resistencia a la tracción no inferior a 784 MPa y no superior a 950 MPa. El límite de resistencia a la tracción se fija en 784 MPa ya que son deseables alta resistencia y rigidez para el aseguramiento de la resistencia a la fatiga del eje de transmisión. Por otro lado la rugosidad disminuye a niveles de resistencia a la tracción que superan los 950 MPa; por tanto el límite superior se fija en ese nivel.

De forma adicional, la vida a fatiga en la parte de ciclo alto en el ensayo de fatiga del eje de transmisión se puede mejorar mediante la reducción de un contenido en S en el tubo de acero. Por tanto, el tubo de acero sin costura acabado en frío para un eje de transmisión de acuerdo con la presente invención se fabrica con calidades de acero de bajo contenido en S (S: no más de 0,005%) y se caracteriza también en que presenta un nivel de resistencia alto, a saber, una resistencia a la tracción no inferior a 784 MPa y no superior a 950 MPa.

La composición de acero y condiciones de producción requeridas para el tubo de acero sin costura acabado en frío para que un eje de transmisión de acuerdo con la presente invención presente las características anteriormente citadas se describen ahora una a una. En la descripción que sigue la composición química se describe en base al “% en masa”.

1. Composición del acero

C: 0,30-0,47%

El C es un elemento que aumenta la resistencia del acero y mejora la resistencia a la fatiga del mismo pero presenta un efecto de reducción de la resiliencia al choque. A niveles de contenido por debajo de 0,30%, no se puede obtener resistencia suficiente. Por otro lado, a niveles de contenido que superan 0,47%, la resistencia tras procesamiento en frío comienza a ser excesivamente alta y la resiliencia al choque se reduce. Por tanto el contenido en C tiene que ser de 0,30-0,47%.

Si: 0,50% o inferior

El Si es un elemento efectivo en la desoxidación del acero y aumenta la resistencia del mismo. A niveles de contenido que superan 0,5%, sin embargo, la procesabilidad en frío no se puede asegurar. Por tanto, el contenido en Si no debería superar 0,5% para el aseguramiento de una buena procesabilidad en frío.

Mn: 0,50-2,00%

5 El Mn es un elemento efectivo en la mejora de la resistencia y la resiliencia al choque del acero. A niveles de contenido por debajo del 0,50%, no obstante, no se pueden obtener niveles suficientes de resistencia y resiliencia al choque. A niveles que superan 2,00% la procesabilidad en frío se reduce. De acuerdo con lo anterior, el contenido en Mn tiene que ser de 0,50-2,00%.

P: 0,020% o inferior

10 El P está contenido en el acero como una impureza. En el procedimiento de solidificación se concentra en la vecindad de cada sitio de solidificación final y se segrega en el contorno del grano, lo que provoca reducciones en la procesabilidad en caliente, resiliencia al choque y resistencia a la fatiga. Los niveles de contenido en P que superan 0,020% provoca la disminución en resiliencia al choque y resistencia a la fatiga debido a su segregación en el contorno del grano; por lo tanto el límite superior para el contenido del mismo como una impureza se fija en 0,020%.

S: 0,005% o inferior

15 Como el P, el S es un elemento contenido en el acero como una impureza. En el procedimiento de solidificación este se segrega en el contorno del grano y provoca reducciones en la procesabilidad en caliente y resiliencia al choque. De forma adicional, cuando el contenido en S supera el 0,005%, la cantidad de MnS en el acero aumenta y la disminución en resistencia a la fatiga comienza a ser significativa. Por tanto, el límite superior para el contenido en S como una impureza se fija en 0,005%.

Al: 0,001-0,050%

20 El Al es un elemento que sirve como un desoxidante. Para la obtención del efecto del mismo como un desoxidante es necesario un contenido de al menos 0,001%. Por otro lado, a niveles de contenido que superan 0,050%, aumenta el contenido por inclusión del tipo de alúmina, y se provoca con ello reducciones en la resistencia a la fatiga. Por tanto, el contenido en Al tiene que ser de 0,001-0,050%.

25 El tubo de acero sin costura acabado en frío para un eje de transmisión de acuerdo con la presente invención puede contener adicionalmente, además de la composición de acero anteriormente citada, uno o más elementos seleccionados entre Cr: 1,5% o inferior, Ti, 0,05% o inferior, Nb: 0,05% o inferior, V: 0,1% o inferior, Mo: 1% o inferior, Ni: 0,5% o inferior, Cu: 0,5% o inferior, B: 0,05% o inferior y Ca: 0,01% o inferior de modo que se puedan mejorar varias características además de la resistencia a la fatiga.

2. Condiciones de producción

(Condiciones de producción en la etapa de procesamiento en caliente)

30 Como un ejemplo del procedimiento de producción de un tubo de acero acabado en frío para un eje de transmisión de acuerdo con la presente invención, puede citarse el procedimiento de fabricación de tubos de Mannesmann usando una mandrinadora y una reductora por estiramiento, tal como se muestra en la figura 1 indicada más adelante.

35 En esta ocasión, la redondez de la superficie interior de tubo procesado en laminación para dimensionado en una reductora por estiramiento puede mejorarse de forma apropiada con lo que se evita que el perfil de superficie interior llegue a poligonalizarse en el procedimiento de laminación e inhiba de forma efectiva la generación y desarrollo de los pliegues en superficie interior (véase, en caso de necesidad, el documento WO 2005/092531 A1 presentado por el mismo solicitante).

40 La figura 5 es una representación gráfica de la interrelación entre el valor medio α de las relaciones de perfil de tubo (relación del radio de curvatura de superficie interior respecto al radio interno medio) en aquellos puntos del tubo hueco que se corresponden con los extremos para todas las estaciones (nº 1 a N) y la profundidad del pliegue en superficie interior generada en el tubo hueco a una tasa de reducción del diámetro exterior de 50% o más.

45 En la figura 5 se muestra la interrelación citada anteriormente como se encuentra tras someter un tubo de acero al carbono que presenta un diámetro exterior de 100 mm y un espesor de pared de 11 mm a laminación para dimensionado dando un tubo que presenta un diámetro exterior de 40 mm y un espesor de pared de 9,6 mm mientras se varía las condiciones de perfil calibrador de los rodillos de laminación calibradores 6 dispuestos en cada estación. La tasa de reducción de diámetro exterior se define con la siguiente fórmula (3):

$$\text{Tasa de reducción de diámetro exterior} = \left\{ \frac{D_i - D}{D_i} \right\} \times 100 (\%) \dots$$

(3)

donde D_i es el diámetro exterior de tubo antes de la laminación para dimensionado y D es el diámetro exterior de tubo tras laminación para dimensionado.

El valor medio α es el valor obtenido mediante medida del radio de curvatura de cada uno de los sitios de superficie interior del tubo hueco que corresponde a los extremos y el radio interno medio del tubo hueco en la parte exterior de cada estación usando un instrumento de medida de forma tridimensional (producto de Tokyo Seimitsu Co., Ltd.), y el valor de la relación de perfil de tubo calculado para cada salida de estación en base a los valores medidos así obtenidos se promedia dividiendo la suma de los mismos por el número de estaciones. Por otro lado, la profundidad de pliegue en superficie interior es la profundidad de pliegue máxima en el tubo hueco según se mide en la salida del equipo de laminación para dimensionado 6 mediante corte, como una muestra, de una parte del tubo hueco tras laminación y medida de la profundidad de pliegue de la sección transversal de la muestra mediante observación al microscopio. El procedimiento de medida de la profundidad de pliegue es como se define en la figura 3 y en la figura 4 indicadas más adelante.

A partir de la interrelación mostrada en la figura 5 se aprecia que hay un valor de frontera α de aproximadamente 0,55; la profundidad de pliegue en superficie interior aumenta rápidamente cuando el valor medio α se reduce desde ese valor, y a la inversa, cuando el valor medio α es 0,55 o superior, se puede evitar de forma eficiente la generación y/o desarrollo de pliegues que se forman en la superficie interior de tubo de acero.

La figura 6 es una representación gráfica de la interrelación entre el ángulo mínimo β_{\min} (grados) en todas las estaciones y la dimensión de tubo t/D tras laminación para dimensionado en un equipo de laminación para dimensionado, siendo el β_{\min} el mínimo entre los ángulos β (grados) obtenidos cuando cada ángulo se forma con dos líneas tangenciales trazadas en los extremos opuestos de los rodillos de laminación calibradores adyacentes en cada estación. En las relaciones mostradas en la figura 6 los datos representados con "o" son datos obtenidos cuando el valor medio α anteriormente citado del tubo hueco laminado era de 0,55, los datos representados con "•" son datos obtenidos cuando el valor medio α citado anteriormente del tubo hueco laminado era aproximadamente de 0,55, y los datos representados con "x" son datos obtenidos cuando el valor medio α anteriormente citado era menor de 0,55.

A partir de la interrelación mostrada en la figura 6, se aprecia que para el aumento del valor medio α citado anteriormente hasta un nivel de 0,55 o más, solo se requiere seleccionar el ángulo mínimo β_{\min} (grados) entre todas las estaciones a un nivel predeterminado o más para cada valor t/D . A saber, se aprecia que es efectivo aproximar los valores de β_{\min} a aquel valor medio α anteriormente citado del tubo hueco que era igual a 0,55 para los valores respectivos de t/D con una función (función logarítmica natural) con el t/D como una variable y diseñar el perfil calibrador de los rodillos de laminación 6 de modo que el β_{\min} pueda presentar un valor dado con la función de aproximación o un valor superior.

De forma más específica, cuando tras la laminación con perforación y la subsiguiente laminación con elongación, se lleve a cabo laminación para dimensionado en un equipo de laminación para dimensionado que comprende una pluralidad de estaciones tales como una reductora por estiramiento y cuando las líneas tangenciales imaginarias se tracen en los extremos opuestos de los rodillos de laminación calibradores adyacentes en cada estación y el ángulo mínimo entre los ángulos β (grados) formados por las respectivas líneas tangenciales se designa como β_{\min} (grados), es necesario usar aquellos rodillos de laminación calibradores que satisfagan la relación representada con la fórmula (1) dada a continuación. En la fórmula (1), D es el diámetro exterior de tubo (mm) tras laminación para dimensionado, t es el espesor de pared de tubo (mm) tras laminación para dimensionado y $\ln(x)$ es el logaritmo natural de x .

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

La figura 7 es un dibujo que muestra una forma de calibrador en un rodillo de laminación usado en una reductora por estirado de tipo tres rodillos. El perfil calibrador de cada rodillo de laminación calibrador 6r tiene que está dispuesto en la reductora por estiramiento presenta un arco con un radio T desde el centro del calibrador O' Offset (distancia fuera de límites: S) hacia el exterior desde el centro O del rodillo calibrador situado en la línea de paso, y este arco constituye el perfil calibrador PR de modo que el arco cruza directamente cada cara de la pared lateral F del rodillo de laminación 6r. Y el extremo E del rodillo de laminación 6r sirve como el extremo del perfil calibrador PR y se corresponde con el extremo del arco anteriormente citado con el radio R .

Debido a que, como se mencionó anteriormente en esta invención, los pliegues en superficie interior se generan en aquellos sitios del tubo que se van a laminar que corresponden con los extremos de los rodillos de laminación en la laminación para dimensionado en una reductora por estirado, el perfil calibrador se tiene que diseñar de forma apropiada y al mismo tiempo el ángulo β se tiene que dar en un valor predeterminado respecto al valor de t/D , como se muestra con la fórmula (1) anterior, a la vista del hecho de que hay una cierta interrelación entre las relaciones del perfil de tubo (relación del radio de la curvatura de superficie interior al radio interno medio, correspondiendo el

valor medio α) a sitios que corresponden con los extremos y la profundidad de pliegue en superficie interior.

La figura 8 es un dibujo que ilustra el modo de determinar el ángulo formado por dos líneas tangenciales imaginarias trazadas en los extremos de modo que definen los rodillos de laminación calibradores que se van a usar en la práctica de la presente invención. En primer lugar se traza una línea tangencial La (línea tangencial al perfil calibrador en la vecindad del extremo Ea) en un extremo Ea de un rodillo de laminación 6ra dispuesto en cada estación de la reductora de estirado, se traza una línea tangencial Lb (línea tangencial al perfil calibrador en la vecindad del extremo Eb) en Eb, uno de los extremos del rodillo de laminación adyacente 6rb, que da al extremo Ea, y se mide el ángulo β formado por ambas líneas tangenciales La y Lb.

Luego, el ángulo mínimo β_{min} se selecciona entre los ángulos β medidos para todas las estaciones y el perfil calibrador de los rodillos de laminación calibradores 6r se designa de modo que se puede satisfacer la fórmula (1) dada anteriormente. Llevando a cabo la laminación para dimensionado en la reductora por estirado usando los rodillos de laminación 6r diseñados en la forma citada anteriormente, comienza a ser posible inhibir la generación de pliegues en superficie interior en el tubo que se va a laminar y, en caso de que se formen pliegues en superficie interior, evitar de forma efectiva que se desarrollen y crezcan.

La figura 9 es un dibujo que muestra perfiles calibradores parciales en otros rodillos de laminación usados en una reductora por estirado. Los perfiles calibradores de los rodillos de laminación 6r tal como quedan cubiertos con la presente invención no se limitan a los mostrados en la figura 7 y en la figura 8 sino que es también posible usar un perfil compuesto por una pluralidad de arcos que difieren en radio y cruzan directamente la cara de pared lateral F, como se muestra en la figura 9(a), como el perfil calibrador PR de los rodillos de laminación calibradores 6r. En este caso, el extremo E del rodillo de laminación calibrador 6r corresponde al extremo del arco (radio Rn) que existe en la posición más próxima al lateral.

De forma adicional se puede usar también un perfil que presenta una "relajación" en forma de arco o una "relajación" en línea recta dispuesta entre el perfil calibrador PR y la cara de pared lateral F del rodillo de laminación calibrador 6r, como se muestra en la figura 9(b) o 9(c). En este caso el extremo E del rodillo de laminación calibrador 6r corresponde al extremo del arco que constituye el perfil calibrador PR (el extremo del arco que se da en la posición más próxima al lateral).

(Condiciones de producción en la etapa de procesamiento en frío)

Como se mencionó anteriormente en esta invención, al tubo hueco sometido a laminación para dimensionado en una reductora por estirado se aplica trabajo de laminación con los rodillos de laminación desde dos a cuatro direcciones teniendo lugar la laminación con reducción del diámetro exterior y, por lo tanto, se pueden generar pliegues en superficie interior o zonas angulares o formarse en sitios que corresponden a los extremos de los rodillos de laminación. De forma particular cuando no se usan rodillos de laminación calibradores que satisfacen la fórmula (1) dada anteriormente, la incidencia de pliegues en superficie interior y partes angulares comienza a ser significativa.

En el caso del tubo de acero acabado en frío para un eje de transmisión de acuerdo con la presente invención, no sólo se puede inhibir el crecimiento de pliegues en superficie interior sino que también puede mejorarse las zonas angulares formadas mediante trabajo de estirado tras la producción de tubo hueco mediante laminación en caliente. Adicionalmente toda la superficie interior y exterior del tubo acabado se puede suavizar también.

En el trabajo de estirado que se aplica en la práctica de la presente invención, se puede usar bien un tampón cilíndrico o bien un tampón SF (tampón semi-flotante) en tanto se haga estirado con tampón.

El trabajo de estirado que se aplica en la práctica de la presente invención no se limita a lo relativo a la reducción de área y a la tasa de reducción de espesor de pared. Sin embargo, como se mencionó en esta invención anteriormente, el perfil de superficie interna del tubo hueco laminado en caliente no es un círculo exacto sino que presenta zonas angulares o una forma poligonal y, por estas razones, y también debido a la excentricidad del espesor de pared, la tasa de reducción de espesor de pared predeterminada no se puede asegurar en la zona de espesor de pared mínimo (fondo angular) del tubo hueco, con la consecuencia de que la formación de pliegues en superficie interior tiende a ser promovida. Por tanto, es preferible que se asegure una tasa de reducción de espesor de pared en la zona de espesor de pared mínimo del tubo hueco de al menos 10%, ya que entonces puede suprimirse que se promueva la formación de pliegue en superficie interna.

De forma adicional, debido a que es necesario controlar el tubo de acero sin costura acabado en frío para un eje de transmisión de acuerdo con la presente invención a altos niveles de resistencia, a saber, niveles de resistencia a la tracción no inferiores a 784 MPa y no superiores a 950 MPa, sin someter el tubo a un tratamiento térmico tal como endurecimiento por inducción, es admisible que el tubo tras procesamiento de acabado por estirado en frío sea sometido a recocido para atenuación de tensiones a una temperatura no inferior a 450° C y no superior al punto Ac1

de modo que finalmente se ajuste la resistencia a la tracción. Las condiciones de temperatura específicas en el recocido para atenuación de tensiones se deciden tienen en cuenta las condiciones de procesamiento del estirado en frío y la composición del acero.

Ejemplos

- 5 Con el uso de cuatro tipos de tochos hechos de calidades de acero A a D que presentan las composiciones químicas respectivas mostradas en la tabla 1, se fabricaron tubos huecos para procesamiento en frío mediante el procedimiento de fabricación de tubos de Mannesmann usando una perforadora, una mandrinadora y una reductora por estiramiento.

[Tabla 1]

Tabla 1

Calidad de acero	Composición química (% en masa, el resto es Fe e impurezas)						Observaciones
	C	Si	Mn	P	S	Sol. Al	
A	0,39	0,21	0,77	0,011	0,001	0,035	Acero de la invención
B	*0,28	0,23	0,80	0,018	0,003	0,040	Acero comparativo
C	0,32	0,22	*0,40	0,014	0,002	0,030	
D	0,38	0,25	0,76	0,013	*0,012	0,028	

Nota: la marca * en la tabla indica que el valor marcado está fuera del intervalo definido de acuerdo con la presente invención

10

Cada tocho se calentó hasta una temperatura de perforación (por ejemplo de 1250° C) y luego se laminó en una armazón hueco usando la perforadora y, tras laminación por estiramiento sobre la mandrinadora, se obtuvo un tubo hueco que presenta un diámetro exterior de 50,8 mm y un espesor de pared de 8,5, 8,2 u 8,0 mm mientras que varía el ángulo de contacto de aleta mínimo β min de los rodillos de laminación calibradores dispuestos en la reductora por estiramiento.

15

En esa ocasión se midieron el espesor de pared de tubo mínimo en una dirección circunferencial y la profundidad del pliegue en superficie interior generada. Las condiciones de procesamiento (condiciones del rodillo de laminación de la reductora por estiramiento etc.) en esta etapa de procesamiento en caliente y los resultados de medidas de espesor de pared mínimo y de profundidad de pliegue en superficie interior se muestran en la tabla 2.

20

[Tabla 2]

Tabla 2 (condiciones de procesamiento en etapa de procesamiento en caliente)

Grupo de ensayo	Material de ensayo 1	Material de ensayo 2	Material de ensayo 3	Material de ensayo 4	Material de ensayo 5	Material de ensayo 6	Material de ensayo 7	Material de ensayo 8	Material de ensayo 9
Calidades de acero aplicado	Calidad de acero A								
Condiciones de fabricación de tubo hueco	Dimensión de tubo (dimensión de tubo hueco)	Diámetro exterior D: 50,8 mm Espesor de pared t: 8,5 mm t/D = 16,7%	Diámetro exterior D: 50,8 mm Espesor de pared t: 8,2 mm t/D = 16,1%	Diámetro exterior D: 50,8 mm Espesor de pared t: 8,0 mm t/D = 15,7%	Diámetro exterior D: 50,8 mm Espesor de pared t: 8,5 mm t/D = 16,7%	Diámetro exterior D: 50,8 mm Espesor de pared t: 8,5 mm t/D = 16,7%	Diámetro exterior D: 50,8 mm Espesor de pared t: 8,5 mm t/D = 16,7%	Diámetro exterior D: 50,8 mm Espesor de pared t: 8,5 mm t/D = 16,7%	Diámetro exterior D: 50,8 mm Espesor de pared t: 8,5 mm t/D = 16,7%
	Valor de la parte derecha de la fórmula (1)	169	168	168	168	168	168	168	168
Condiciones de tubo hueco	β min	175	165	175	165	175	165	175	175
	Espesor de pared mínimo	8,1 mm	8,0 mm	7,8 mm	7,6 mm	7,5 mm	7,4 mm	8,1 mm	8,1 mm
	Profundidad de pliegue en superficie interior	0,04 mm	0,14 mm	0,04 mm	0,16 mm	0,05 mm	0,16 mm	0,04 mm	0,04 mm

Notas: · La marca * en la tabla indica que la calidad de acero marcada está fuera del intervalo definido de acuerdo con la presente invención. · Las condiciones de producción de tubo mostradas son las condiciones en la reductora por estiramiento.

5 Los tubos huecos así obtenidos para procesamiento en frío se sometieron a procesamiento por estirado hasta un tamaño de acabado, a saber, un diámetro exterior de 40,0 mm y un espesor de pared de 7,0 mm. Luego, se llevó a cabo el recocido para atenuación de tensiones a una temperatura no inferior a 450° C y no mayor del punto Ac1 para ajuste de la resistencia a la tracción final y, de este modo, se fabricaron tubos de acero sin costura acabados en frío. La reducción en área y la tasa de reducción en espesor de pared se calcularon con condiciones de estirado en frío. La reducción en área es el valor definido por la siguiente fórmula (4), en la que A es el área en sección antes del procesamiento por estirado y Af es el área de sección acabada tras procesamiento por estirado:

$$\text{Reducción en área} = \{ (A - A_f) / A \} \times 100 (\%) \dots (4)$$

10 Para las tasas de reducción de espesor de pared se calcularon la tasa de reducción de espesor de pared promedio y la tasa de reducción de espesor de pared en la parte de espesor de pared mínimo para cada grupo y se da el conformador en la línea superior y el último en la línea inferior en la tabla 3. Al mismo tiempo se midieron la profundidad del pliegue en superficie interior que queda tras el estirado en frío y la resistencia a la tracción tras recocido para atenuación de tensiones. También se muestran en la tabla 3 las condiciones de procesamiento en la etapa de procesamiento en frío, la profundidad de pliegue en superficie interior y la resistencia a la tracción tras recocido de atenuación de tensiones para cada grupo.

[Tabla 3]

Tabla 3

Grupo de ensayo	Material de ensayo 1	Material de ensayo 2	Material de ensayo 3	Material de ensayo 4	Material de ensayo 5	Material de ensayo 6	Material de ensayo 7	Material de ensayo 8	Material de ensayo 9
Calidades de acero aplicadas	Calidad de acero A								
Dimensión tras estirado (dimensión de producto)	Diámetro exterior D: 40,0 mm Espesor de pared t: 0,7 mm								
Condiciones de estirado	Reducción de área	35,8%	33,9%		32,5%			35,8%	
	Procesamiento de espesor de pared (porción de espesor de pared mínimo)	(Media) 17,6%	(Media) 14,6%	(Media) 12,5%				(Media) 17,6%	
		13,6%	12,5%	10,6%	7,9%	6,7%	5,4%	13,6%	
Recocido para atenuación de tensiones (SR)	Una temperatura no inferior a 450° y no mayor de Ac1								
Condiciones finales	Profundidad de pliegue en superficie interior	0,05 mm	0,18 mm	0,07 mm	*0,25 mm	0,12 mm	*0,32 mm	0,05 mm	
	Resistencia a la tracción (MPa)	842	851	833	846	843	837	*720	*735
Nota: la marca * en la tabla indica que la especie de acero o valor marcado está fuera del intervalo definido de acuerdo con la presente invención									

(Evaluación de influencias en la profundidad de pliegue en superficie interior)

En base a los resultados mostrados en las tablas 1 a 3, se examinaron las influencias de los rodillos de laminación calibradores de la reductora por estiramiento y la tasa de reducción de espesor de pared en la porción de espesor de pared mínimo en estirado en frío sobre la profundidad del pliegue en superficie interior generada en el tubo hueco.

5 Como se muestra con los materiales de ensayo 1 y 3, la profundidad del pliegue en superficie interior que queda en el tubo tras acabado podría suprimirse hasta 0,10 mm o menos mediante laminación del tubo hueco usando los rodillos de laminación calibradores que satisfacen la fórmula (1) dada en este documento y al mismo tiempo asegurar una tasa de reducción de espesor de pared de al menos 10% en la porción de espesor de pared mínimo en estirado en frío.

10 Como se muestra con el material de ensayo 2, incluso cuando el tubo hueco se laminó sin uso de rodillos de laminación calibradores que satisfacen la fórmula (1) dada en este documento, la profundidad del pliegue en superficie interior en el tubo tras acabado podría suprimirse hasta 0,20 mm o menos asegurando una tasa de reducción espesor de pared de al menos 10% en la porción de espesor de pared mínimo en estirado en frío.

15 Además, como se muestra con el material de ensayo 5, incluso cuando la tasa de reducción de espesor de pared en la porción de espesor de pared mínimo estaba por debajo del 10% en estirado en frío, la profundidad del pliegue en superficie interior que queda en el tubo tras acabado podría suprimirse hasta 0,20 mm o por debajo mediante laminación del tubo hueco usando los rodillos de laminación calibradores que satisfacen la fórmula (1) dada en este documento.

20 Entonces, como se muestra con los materiales de ensayo 4 y 6, la profundidad de pliegue en superficie interior que queda en el tubo tras acabado llegar a ser más de 0,20 mm cuando el tubo hueco se lamina sin uso de los rodillos de laminación calibradores que satisfacen la fórmula (1) dada en este documento y, además, la tasa de reducción de espesor de pared en la porción de espesor de pared mínimo en estirado en frío está por debajo del 10%.

Para los materiales de ensayo 7 y 8, las composiciones de acero aplicadas estaban fuera del intervalo especificado de acuerdo con la presente invención y, como consecuencia no se pudo asegurar tal nivel de alta resistencia como una resistencia a la tracción de no menos de 784 MPa.

25 Como se puede apreciar a partir de los resultados obtenidos con los materiales de ensayo 1, 2 y 3, se puede inhibir el crecimiento de pliegues en superficie interior y, adicionalmente, se puede mejorar pliegues en superficie interior una vez formadas asegurando una tasa de reducción de espesor de pared de al menos 10% en la porción de espesor de pared mínimo en estirado en frío.

(Evaluación en un ensayo de fatiga bajo carga de torsión)

30 La figura 10 es una representación que ilustra la configuración de cada probeta de ensayo usada en el ensayo de fatiga bajo carga de torsión llevado a cabo en los ejemplos. Se cortó un tubo corto 7 de cada uno de los materiales de ensayo 1 a 9 y se confirmó la profundidad de pliegue en superficie interior en cada extremo de tubo. Luego, como se muestra en la figura 10, el tubo corto 7 ya muestreado de un tubo de acero se soldó por fricción a las plantillas 8 para construir una probeta de ensayo y se llevó a cabo un ensayo de fatiga bajo carga de torsión en las condiciones de máximo esfuerzo de cizalla $\zeta = \pm 145 \text{ N/mm}^2$ (completamente invertido) y se determinó el número de repeticiones (veces) de aplicación de tensión hasta fractura y se comprobó la superficie de fractura en un microscopio electrónico para confirmar el inicio de fractura.

40 El criterio usado para juzgar si la probeta pasó el ensayo fue el número de repeticiones de al menos un millón de veces. Cuando este valor era superado la muestra se evaluaba como buena (o). Los resultados obtenidos en el ensayo de fatiga bajo carga de torsión se muestran en la tabla 4.

[Tabla 4]

Tabla 4

Grupo de ensayo	Profundidad de pliegue en superficie interior (mm)	Tensión a cizalla máxima	Número de repeticiones (veces)	Punto de fractura	Evaluación	Observación
Material de ensayo 1	0,05	±145 (N/mm ²)	1.780.517	Otros distintos de pliegues	O	Ejemplo comparativo
Material de ensayo 2	0,18		1.502.638		O	Ejemplo de la invención
Material de ensayo 3	0,07		1.738.282		O	Ejemplo de la invención
Material de ensayo 4	0,25		763.832	Desde un pliegue	X	Ejemplo comparativo
Material de ensayo 5	0,12		1.673.884	Otro distinto de pliegues	O	Ejemplo de la invención
Material de ensayo 6	0,32		578.323	Desde un pliegue	X	Ejemplo comparativo
Material de ensayo 7	0,05		783.783	Otro distinto de pliegues	X	Ejemplo comparativo
Material de ensayo 8	0,05		764.327		X	Ejemplo comparativo
Material de ensayo 9	0,05		823.432		X	Ejemplo comparativo

Notas: · La profundidad de pliegue en superficie interior mostrada es la profundidad en el punto de contacto con el punto de soldadura por presión. · En todos los casos los puntos de fractura se encontraban en los puntos de soldadura por presión.

5 Como se puede apreciar a partir de los resultados mostrados en la tabla 4, el número de repeticiones era siempre superior a un millón de veces para las probetas de ensayo en las que la profundidad del pliegue en superficie interior que queda tras el estirado en frío no era de más de 0,2 mm y los puntos de fractura eran distintos de los pliegues de superficie interior en los puntos de soldadura a presión. Por el contrario, cuando la profundidad del pliegue de superficie interior que queda tras el estirado en frío era superior a 0,20 mm, la fractura tenía lugar desde el pliegue en superficie interior en el punto de soldadura por presión y el número de repeticiones era menor de un millón de veces.

10 De estos resultados se podría confirmar que la profundidad alcanzable del pliegue en superficie interior en la que el tiempo de vida a fatiga del eje de transmisión se ve afectado es de 0,20 mm.

15 Adicionalmente, cuando para la composición química del acero el número de repeticiones era inferior a un millón de veces con los materiales de ensayo 7 y 8 incapaces de asegurar el nivel de resistencia requerido, a saber, presenta una resistencia a la tracción menor de 784 MPa, debido a los contenidos insuficientes de C y Mn y con el material de ensayo 9 que era de un contenido de S en acero alto (S = 0,012%), a pesar del hecho de que la profundidad de pliegue en superficie interior que queda en el tubo de acero no era de más de 0,20 mm.

20 De estos resultados se puede apreciar que para el aseguramiento de la resistencia a la fatiga del eje de transmisión y conseguir la extensión del tiempo de vida a fatiga, es esencial aumentar la resistencia del tubo de acero y aplicar un contenido de S en acero S bajo.

Aplicabilidad industrial

5 El tubo de acero sin costura de acabado en frío para un eje de transmisión de acuerdo con la presente invención como se produce sometiendo el tubo hueco laminado en caliente mediante el procedimiento de fabricación de tubos de Mannesmann para estirar en frío se puede usar como un miembro hueco de gran resistencia y excelente resistencia a la fatiga y muy adecuado para reducir el peso de un eje de transmisión para automoción y asegurar la regularidad. Por tanto aplicando el procedimiento de producción de acuerdo con la presente invención comienza a ser posible producir un eje de transmisión para automoción a bajo coste de producción y de forma eficiente; de este modo la presente invención es muy efectiva desde el punto de vista industrial y se puede aplicar ampliamente.

10

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un tubo de acero sin costura acabado en frío para un eje de transmisión, que presenta una composición de acero que comprende, en % en masa, C: 0,30-0,47%, Si: 0,50% o inferior, Mn: 0,50-2,00%, P: 0,20% o inferior, S: 0,005% o inferior y Al: 0,001-0,050%, siendo el resto Fe e impurezas, **caracterizado porque** presenta una resistencia a la tracción no inferior a 784 MPa y no superior a 950 MPa y la profundidad de cada pliegue en superficie interior que queda en la superficie interior del mismo, tal como se aprecia en una sección transversal perpendicular a la dirección longitudinal, no es más de 0,20 mm.
- 10 2. El tubo de acero sin costura acabado en frío para un eje de transmisión de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende además, en lugar de una parte de Fe, uno o más de Cr: 1,5% o inferior, Ti: 0,05% o inferior, Nb: 0,05% o inferior, V: 0,1% o inferior, Mo: 1% o inferior, Ni: 0,5% o inferior, Cu: 0,5% o inferior, B: 0,05% o inferior y Ca: 0,01% o inferior.
- 15 3. Un procedimiento para la producción de un tubo de acero sin costura acabado en frío para un eje de transmisión, que comprende:
perforar y laminar un tocho que presenta una composición que comprende, en % en masa, C: 0,30-0,47%, Si: 0,50% o inferior, Mn: 0,50-2,00%, P: 0,020% o inferior, S: 0,005% o inferior y Al: 0,001-0,050%, siendo el resto Fe e impurezas mediante el procedimiento de fabricación de tubos de Mannesmann; laminación con elongación y laminación de conformación del tubo hueco obtenido; y
estirado en frío del tubo hueco obtenido de un modo tal que una tasa de reducción del espesor de pared en la parte de espesor de pared mínima del tubo hueco puede llegar a al menos 10%.
- 20 4. El procedimiento de producción de un tubo de acero sin costura acabado en frío para un eje de transmisión de acuerdo con la reivindicación 3, en el que
la laminación de conformación se lleva a cabo usando una máquina de laminación de conformación que comprende una pluralidad de estaciones, estando equipada cada una con al menos dos rodillos de laminación calibradores en los que el tubo hueco se lamina usando tales rodillos calibradores que cuando se estiran dos líneas tangenciales imaginarias en extremos opuestos de los rodillos calibradores adyacentes en cada estación, el ángulo β min (grados) más pequeño entre los ángulos β (grados) formados respectivamente por las dos líneas tangenciales como se encuentran en todas las estaciones satisface la relación presentada con la fórmula (1) dada a continuación, seguido además del estiramiento en frío del tubo hueco:
- $$25 \quad \beta_{\min} \geq 1,13 \times 10 \times \ln(t/D \times 100) + 1,37 \times 10^2 \dots \quad (1)$$
- 30 donde D: diámetro exterior del tubo (mm) tras laminación de conformación, t: espesor de pared de tubo (mm) tras laminación de conformación, $\ln(x)$: logaritmo natural de x.
- 35 5. El procedimiento de producción de un tubo de acero sin costura acabado en frío para un eje de transmisión de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 3 ó 4, en el que el tubo hueco laminado en caliente se somete a estirado en frío y luego a recocido para relajación de esfuerzos.
6. El procedimiento de producción de un tubo de acero sin costura acabado en frío para un eje de transmisión de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 3 a 5, en el que la composición de acero comprende además, en lugar de una parte de Fe, una o más de Cr: 1,5% o inferior, Ti: 0,05% o inferior, Nb: 0,05% o inferior, V: 0,1% o inferior, Mo: 1% o inferior, Ni: 0,5% o inferior, Cu: 0,5% o inferior, B: 0,055 o inferior y Ca: 0,01% o inferior.

FIG. 1

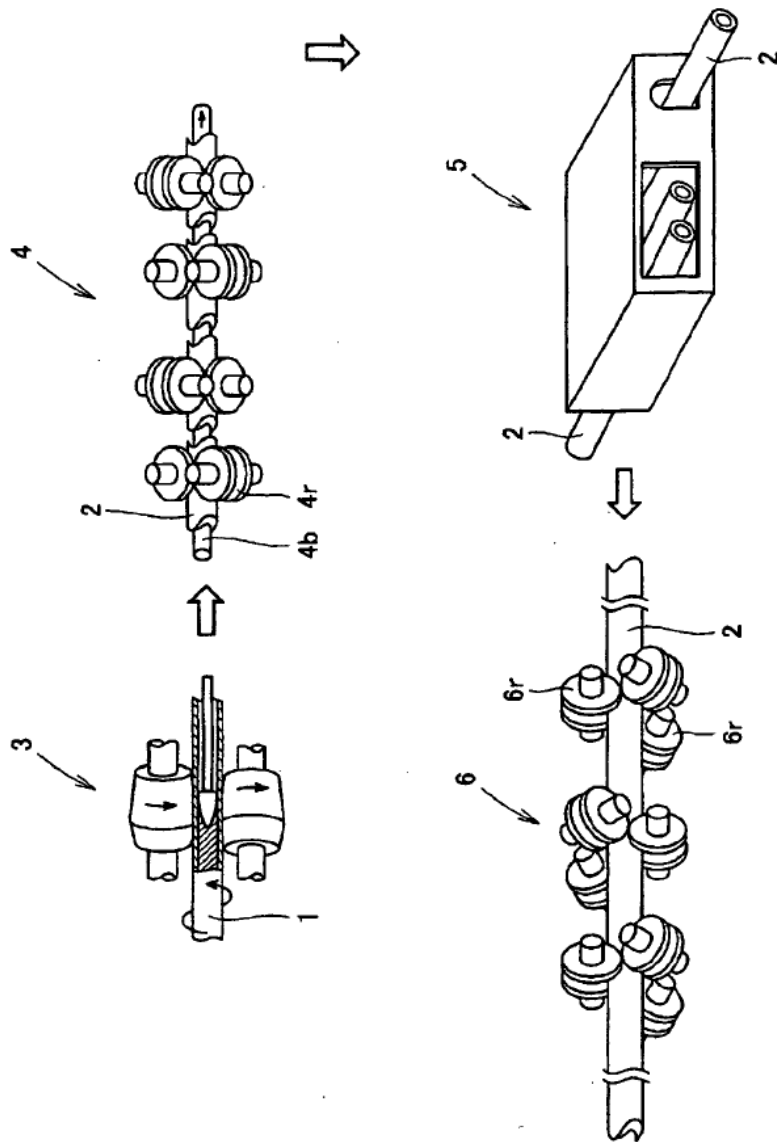


FIG. 2

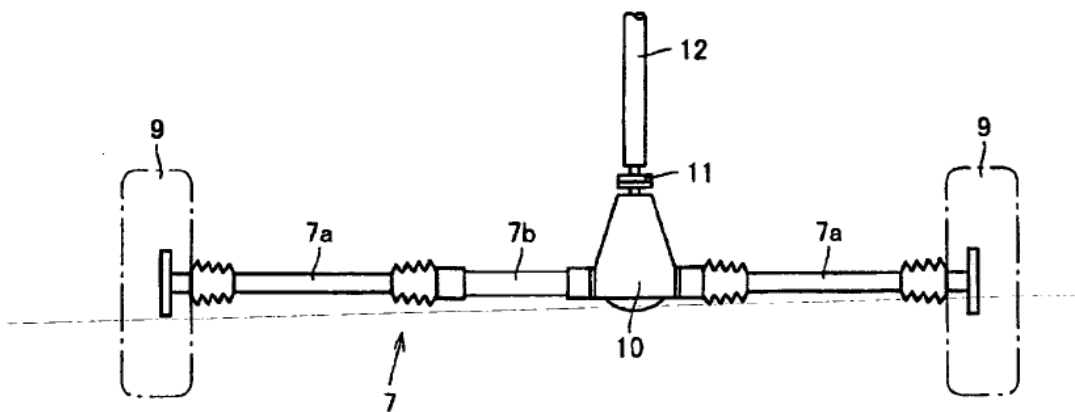
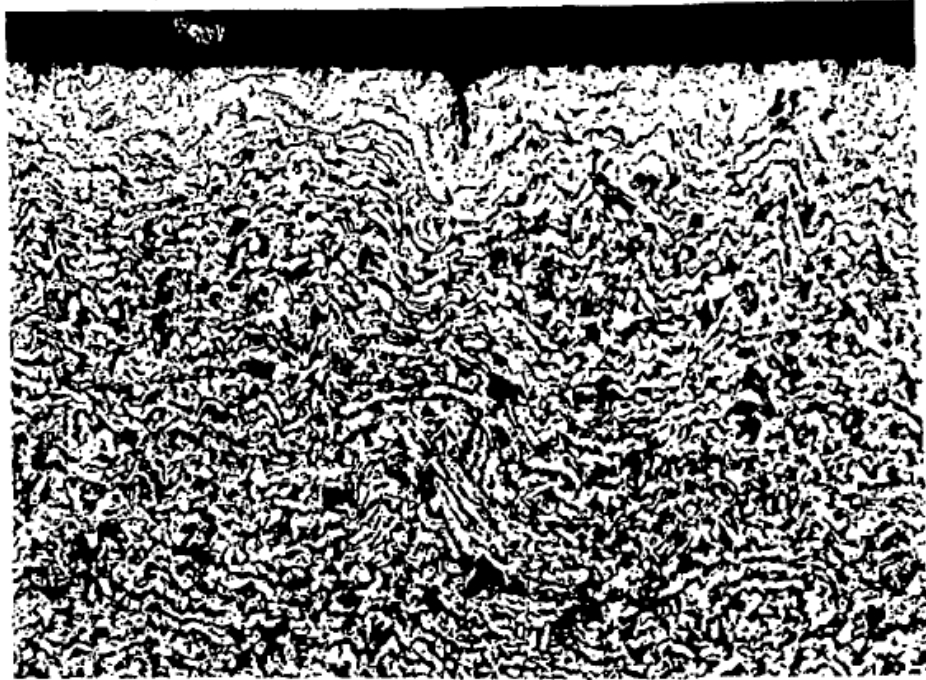
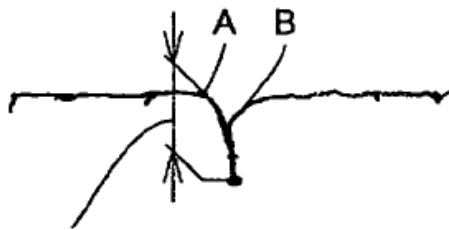


FIG. 3

(a)



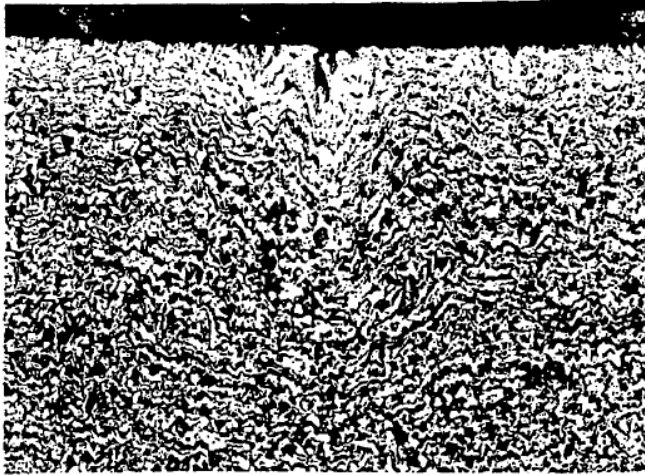
(b)



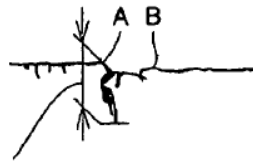
Profundidad de pliegue en superficie interior (mm)

FIG. 4

(a)



(b)



Profundidad de pliegue en superficie interior (mm)

FIG. 5

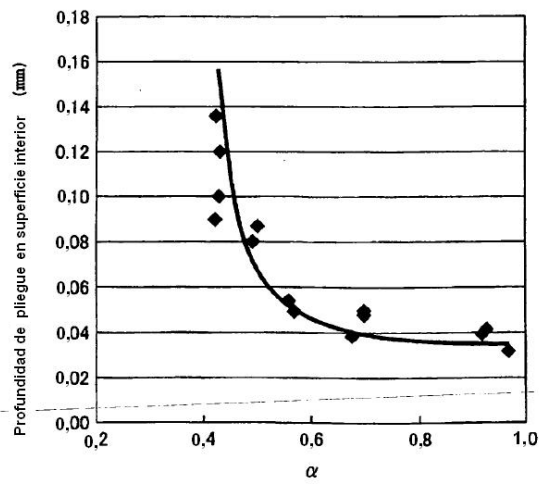


FIG. 6

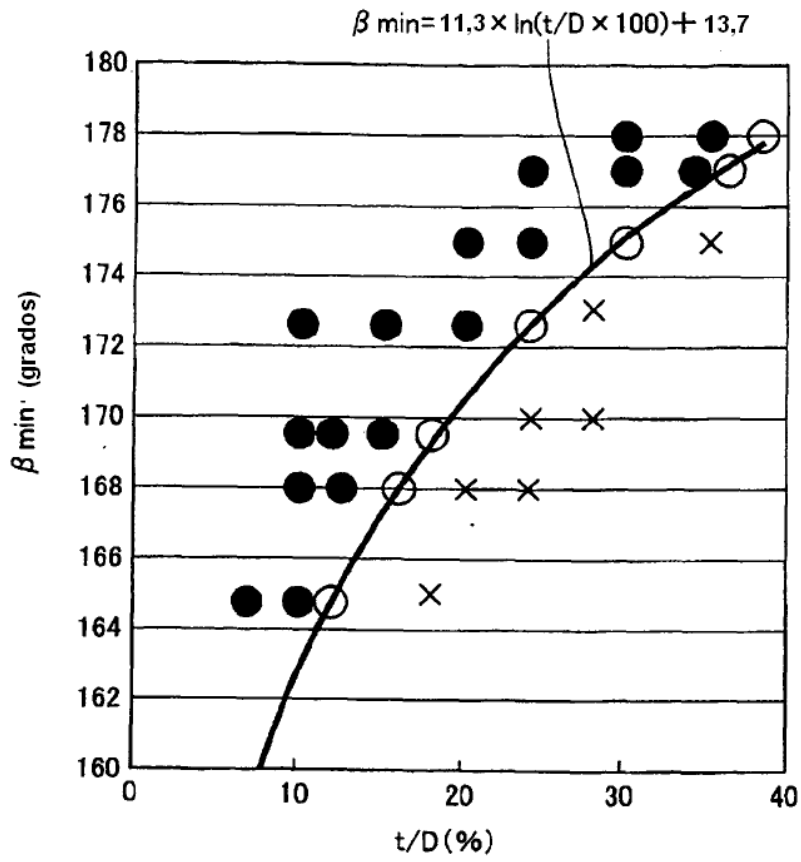


FIG. 7

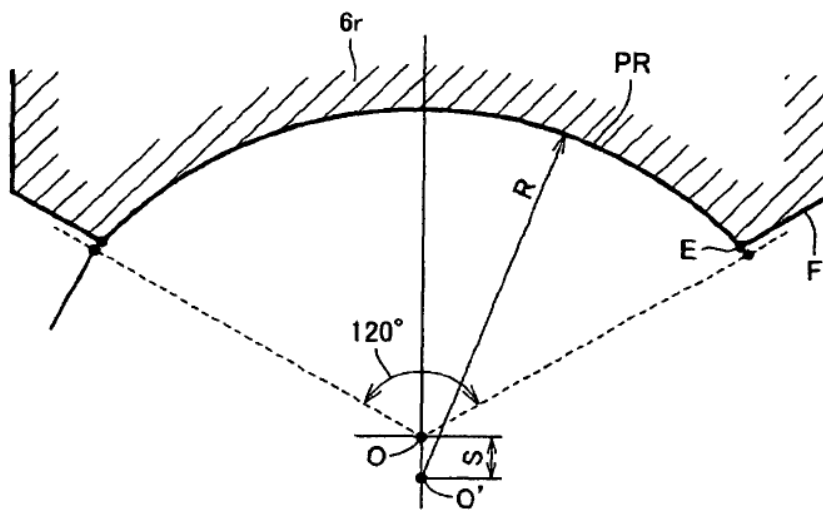


FIG. 8

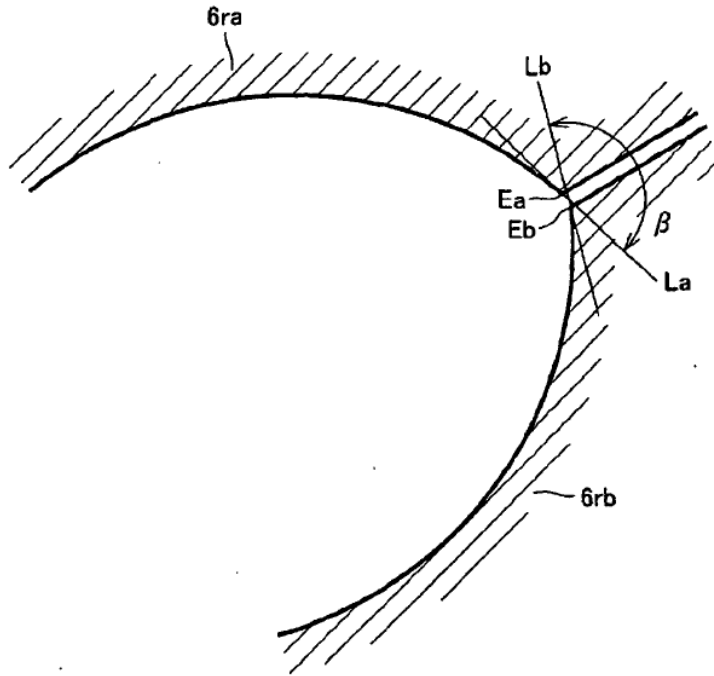


FIG. 9

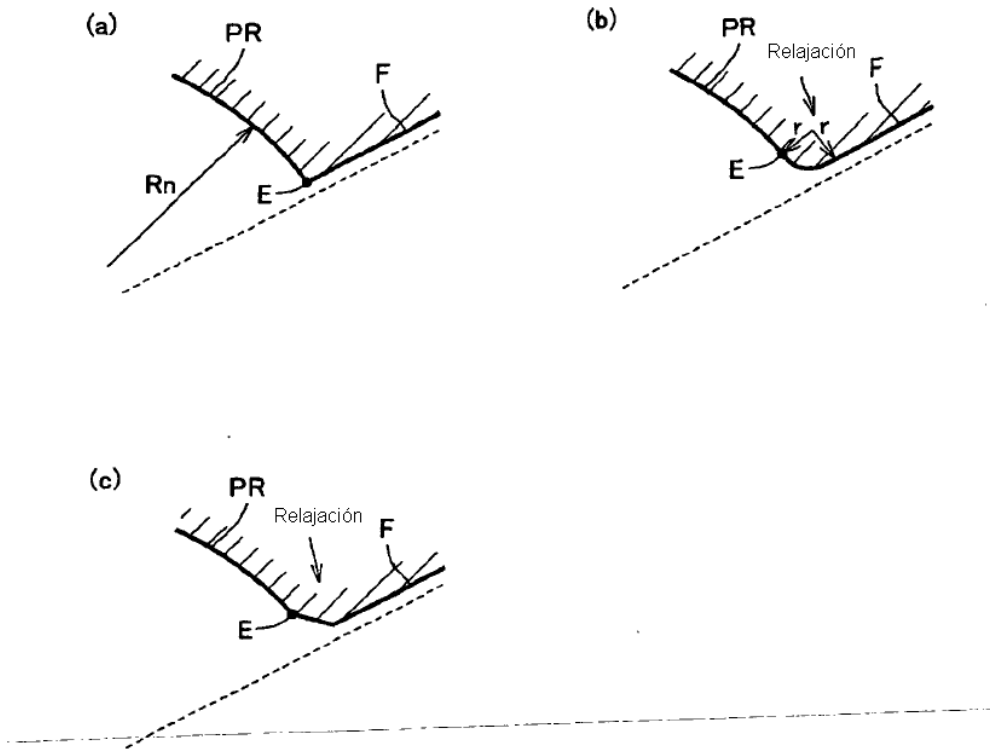


FIG. 10

