

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 723 498**

51 Int. Cl.:

F02M 55/02	(2006.01)	C22C 38/14	(2006.01)
C21D 7/10	(2006.01)	C22C 38/16	(2006.01)
C21D 9/08	(2006.01)	C22C 38/22	(2006.01)
C21D 8/10	(2006.01)	C22C 38/26	(2006.01)
C21D 9/14	(2006.01)	C22C 38/28	(2006.01)
C22C 38/02	(2006.01)	C22C 38/42	(2006.01)
C22C 38/04	(2006.01)	C22C 38/44	(2006.01)
C22C 38/06	(2006.01)	C22C 38/46	(2006.01)
C22C 38/08	(2006.01)	C22C 38/48	(2006.01)
C22C 38/12	(2006.01)	C22C 38/50	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **23.02.2015 PCT/JP2015/055018**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **03.09.2015 WO15129617**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.02.2015 E 15755540 (0)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.01.2019 EP 3112490**

54 Título: **Tubo de acero para tubería de inyección de combustible, y tubería de inyección de combustible que emplea el mismo**

30 Prioridad:

25.02.2014 JP 2014034416

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
28.08.2019

73 Titular/es:

**USUI KOKUSAI SANGYO KAISHA LTD. (50.0%)
131-2, Nagasawa, Shimizu-cho, Sunto-gun
Shizuoka 411-8610, JP y
NIPPON STEEL CORPORATION (50.0%)**

72 Inventor/es:

**MASUDA, TATSUYA;
YAMAZAKI, TSUGUMI;
MAKINO, TAIZO;
NAGAO, KATSUNORI y
OKUYAMA, TSUTOMU**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 723 498 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 para tubería de inyección de combustible, y tubería de inyección de combustible que emplea el mismo

5 CAMPO TÉCNICO
 La presente invención se refiere a un tubo de acero para una tubería de inyección de combustible y una tubería de inyección de combustible que utiliza el mismo. En particular, la presente invención se refiere a un tubo de acero para una tubería de inyección de combustible que tiene una resistencia a la tracción de 800 MPa o más, preferiblemente de 900 MPa o más y excelente resistencia a la fatiga por presión interna, y a una tubería de inyección de combustible que utiliza el mismo.

TÉCNICA ANTECEDENTE

15 Como contramedidas contra el agotamiento energético en el futuro, el movimiento para promover el ahorro de energía, el movimiento para el reciclaje de los recursos y el desarrollo de tecnologías para lograr estos objetivos han cobrado impulso. En los últimos años, en particular, ha habido fuertes demandas para la reducción de emisiones de CO₂ por la combustión de combustibles para prevenir el calentamiento global, como esfuerzos a nivel mundial.

20 Los motores de combustión interna con bajas emisiones de CO₂ incluyen motores diesel que se utilizan en automóviles o similares. Sin embargo, aunque emiten menos CO₂, los motores diesel sufren un problema de generación de humo negro. El humo negro es generado por falta de oxígeno con respecto al combustible inyectado. Específicamente, algo del combustible se descompone térmicamente, lo que hace que la deshidrogenación genere un precursor del humo negro, y este precursor se descompone térmicamente nuevamente y se aglomera y combina para formar humo negro. El humo negro generado de esta manera provoca la contaminación del aire, y existe una preocupación por su efecto adverso en los cuerpos humanos.

25 La cantidad de humo negro generado que se ha descrito más arriba se puede reducir aumentando la presión de inyección de combustible a las cámaras de combustión de un motor diesel. Sin embargo, para este propósito, se requiere que el tubo de acero que se utiliza para la inyección de combustible tenga una alta resistencia a la fatiga. Para una tubería de inyección de combustible de este tipo o un tubo de acero para la tubería de inyección de combustible, se han descrito las técnicas que siguen.

35 El Documento de Patente 1 describe un método para producir un tubo de acero que se utiliza para la inyección de combustible en un motor diesel, en el que la superficie interna de un material de partida de tubo de acero sin soldadura sometido a laminación en caliente es pulida y raspada por chorreo con granalla, y el material de partida a continuación es sometido a estirado en frío. El Documento de Patente 1 describe que, al emplear este método de producción, es posible hacer que las profundidades de las fallas en la superficie interna del tubo de acero (por ejemplo, irregularidades, fracturas, grietas finas o similares) sean de 0,10 mm o inferiores, logrando una alta resistencia de un tubo de acero que se utiliza para la inyección de combustible.

40 El Documento de Patente 2 describe un tubo de acero para la tubería de inyección de combustible en el que el diámetro máximo de las inclusiones no metálicas existentes hasta una profundidad de 20 μm desde la superficie interna del tubo de acero es de 20 μm o menos, teniendo el tubo de acero una resistencia a la tracción de 500 MPa o más.

45 El Documento de Patente 3 describe un tubo de acero para la tubería de inyección de combustible que tiene una resistencia a la tracción de 900 N / mm² o más, en la que el diámetro máximo de las inclusiones no metálicas existentes hasta una profundidad de 20 μm desde la superficie interna del tubo de acero es de 20 μm o menos.

50 La invención del Documento de Patente 3 logra una resistencia a la tracción de 900 MPa o más al producir un tubo de material de acero utilizando materiales de acero de los cuales las inclusiones gruesas de tipo A, de tipo B y de tipo C se eliminan mediante la reducción del S (azufre), ideando un método de colada, reduciendo el Ca (calcio), y similares, ajustando el diámetro del tubo de acero del material a un diámetro previsto mediante laminación en frío y, posteriormente, realizando el templado y el revenido. En ejemplos, se logran presiones internas críticas de 260 a 285 MPa.

55 El documento WO2013/094179A1 describe un tubo de acero sin soldadura de alta resistencia, con excelente resistencia al agrietamiento por tensión de sulfuro para pozos petroleros.

LISTA DE DOCUMENTOS DE LA TÉCNICA ANTERIOR**DOCUMENTOS DE PATENTE**

Documento de Patente 1: JP9 - 57329A
 Documento de Patente 2: WO 2007/119734

Documento de Patente 3: WO 2009/008281

DOCUMENTO NO DE PATENTE

Documento no de patente 1: Y. Murakami, "Kinzoku Hirou - Bishou Kekkan a Kaizaibutsu no Eikyou (en japonés)" ("Fatiga del metal - El efecto de defectos e inclusiones minúsculas"), Primera Edición (1993), Yokendo, pag.18

EXPOSICIÓN DE LA INVENCION

PROBLEMAS A RESOLVER POR LA INVENCION

Un tubo de acero que se utiliza para la inyección de combustible producido por el método que se describe en el Documento de Patente 1 tiene una alta resistencia, pero no puede ofrecer una resistencia a la fatiga apropiada a la resistencia del material del tubo de acero de la misma. Por supuesto, una mayor resistencia del material de tubo de acero permite que se aplique una mayor presión en el interior del tubo de acero. Sin embargo, en el caso de aplicar una presión en el interior de un tubo de acero, la presión interna debe ser un límite dentro del cual no se produce ninguna fractura debido a la fatiga en la superficie interna de un tubo de acero (en adelante, denominada presión interna crítica) no depende solo de la resistencia del material del tubo de acero. En otras palabras, incluso si se incrementa la resistencia del material del tubo de acero, no se puede obtener una presión interna crítica más a la esperada. Teniendo en cuenta la fiabilidad de un producto final y similares, cuanto más larga es la resistencia a la fatiga, más preferible es, pero cuanto más baja es la presión interna crítica, más corta es la resistencia a la fatiga porque el tubo de acero es propenso a fatigarse con el uso con altas presiones internas.

Los tubos de acero para tuberías de inyección de combustible que se han descrito en los Documentos de Patente 2 y 3 se caracterizan por una gran resistencia a la fatiga y una alta fiabilidad. Sin embargo, la presión interna crítica del tubo de acero que se describe en el Documento de Patente 2 es de 255 MPa o menos, y de 260 a 285 MPa en el Documento de Patente 3. En particular, en la industria del automóvil, las tendencias recientes exigen presiones internas aún mayores, y hay un deseo de un desarrollo de tuberías de inyección de combustible que tengan resistencias a la tracción de 800 MPa o superiores y presiones internas críticas superiores a 270 MPa, y particularmente deseable es el desarrollo de tuberías de inyección de combustible que tengan resistencias a la tracción de 900 MPa o superiores y presiones internas críticas superiores a 300 MPa. Se hace notar que, en general, la presión interna crítica tiende a aumentar ligeramente dependiendo de la resistencia a la tracción de una tubería de inyección de combustible, pero se considera que está influenciada por varios factores, y no es necesariamente fácil asegurar una alta presión interna crítica de manera estable para una tubería de inyección de combustible de alta resistencia de 800 MPa o más.

Un objetivo de la presente invención es proporcionar un tubo de acero para una tubería de inyección de combustible de alta fiabilidad que tenga una resistencia a la tracción (TS) de 800 MPa o más, preferiblemente de 900 MPa o más, y tales propiedades de presión interna crítica alta de manera que su presión interna crítica sea $0,3 \times TS \times \alpha$ o más, y una tubería de inyección de combustible que incluye el tubo de acero. Se hace notar que α , como se describirá más adelante, es un coeficiente para corregir cambios en la relación entre la presión interna y la tensión que se produce en la superficie interna de una tubería de acuerdo con la relación de diámetro interno de la tubería, y α es de 0,97 a 1,02, es decir, aproximadamente 1 cuando D / d , que es una relación del diámetro externo D al diámetro interno d de la tubería, se encuentra dentro del rango de 2 a 2,2,

MEDIOS PARA RESOLVER LOS PROBLEMAS.

Los inventores de la presente invención han creado prototipos de tubos de acero para tuberías de inyección de combustible que utilizan tubos de acero de alta resistencia en diversas condiciones de tratamiento térmico y examinaron las presiones internas críticas y los modos de rotura de los tubos de acero, obteniendo como resultado los siguientes hallazgos.

(a) Cuando se realiza un ensayo de fatiga por presión interna en una muestra, se desarrolla una grieta de fatiga y se propaga desde la superficie interna de la muestra, teniendo una elevada tensión como punto de origen, y se produce una fractura cuando la grieta de fatiga alcanza la superficie externa. de la muestra. En este momento, se encuentran presentes inclusiones en algunos casos en la porción de origen y están ausentes en otros casos.

(b) Cuando las inclusiones están ausentes en la porción de origen, se reconoce allí un modo de superficie de fractura plana, llamada superficie de fractura de faceta. Esta se forma por la propagación de una grieta, iniciada en base a granos, sobre varios granos a su alrededor en un modo de cizalladura denominado Modo II. Cuando esta superficie de fractura de faceta crece a su nivel crítico, el modo de propagación de la misma cambia a un modo de apertura llamado Modo I, lo que resulta en una rotura. El crecimiento de la superficie de fractura de faceta depende de un diámetro de grano de austenita anterior (en adelante, denominado diámetro de grano γ anterior), que es una unidad de dimensión del desarrollo de la grieta inicial, y el crecimiento se promueve cuando el diámetro de grano γ anterior es grande, es decir, cuando el número de tamaño de grano de los granos γ anteriores es pequeño. Esto significa que un gran diámetro de grano γ anterior conduce a una

disminución en la resistencia a la fatiga de una estructura matricial incluso cuando las inclusiones no sirven como punto de origen.

(c) Específicamente, con los granos y anteriores que tienen un número de tamaño de grano aumentado a 10,0 o más, no se produjo ninguna rotura en un ensayo de fatiga por presión interna en la que se puede aplicar una presión interna de hasta 300 MPa, incluso cuando el número de repeticiones alcanzó 10^7 . Por el contrario, con un tubo de acero que había sido sometida a un refinamiento de grano insuficiente para tener un número de grano menos a 10,0, se reconoció una situación en la que se redujo la presión interna crítica incluso cuando las inclusiones no sirvieron como punto de origen debido a que la resistencia a la fatiga de la micro - estructura metálica había disminuido.

(d) Con el fin de obtener de manera estable en la producción industrial una micro - estructura de metal de grano fino que incluya granos y anteriores con un número de tamaño de grano de 10,0 o más, es importante establecer el contenido de Ti y Nb en el acero en ciertas cantidades o más.

(e) Con el fin de suprimir de forma estable las inclusiones basadas en sulfuro (Grupo A en JIS G 0555) de una manera industrial, es adecuado usar Al (aluminio) como desoxidante y una solución de control de Al en el acero dentro de un rango apropiado.

(f) Aunque la supresión de las inclusiones se puede hacer de manera relativamente estable, cuando el contenido de Ti excede el 0,15%, se observaron inclusiones compuestas por medio de la observación de la superficie de la fractura en un tubo de acero que se sometió al ensayo de fatiga por presión interna, incluyendo las inclusiones compuestas una pluralidad de inclusiones basadas en Al_2O_3 que tienen diámetros de 20 μm o inferiores que están unidas por capas delgadas en forma de película, que contienen Ti como componente principal (en la presente memoria descriptiva y en lo que sigue, denominadas inclusiones compuestas de Ti - Al). A partir de esta observación, se clarificó que establecer el contenido de Ti en un cierto valor o menos permite suprimir la formación de inclusiones compuestas de Ti - Al, para aliviar la fatiga por presión interna.

Se hace notar que los problemas que se han descrito más arriba debido a las inclusiones en el acero que contiene Ti se aclararon a partir de los resultados de los siguientes experimentos de referencia.

<Experimento de referencia 1>

En primer lugar, como ensayo preliminar, se realizó un ensayo de fatiga por presión interna utilizando un acero que tenía una resistencia relativamente baja. Se fabricaron tres tipos de materiales de partida A, B y C con las composiciones químicas que se muestran en la Tabla 1, con un convertidor y colada continua. En la colada continua, la velocidad de colada en la colada se fijó en el 0,5 m/min y el área de la sección transversal de una pieza colada se fijó en 200.000 mm^2 o más. La placa obtenida se sometió a desbastado para formar una palanquilla para la fabricación de tuberías, y se produjo un tubo de material sometiendo la palanquilla a una laminación penetrante y una laminación de alargamiento en el proceso de fabricación de tuberías con mandril de Mannesmann y con una laminadora de ajuste del diámetro del laminado por estiramiento de la laminación. A continuación, se repitieron varias veces el recocido y el estirado en frío para someter el tubo de material a una contracción radial a un tamaño de acabado predeterminado, y posteriormente se realizó el tratamiento de normalización. En este momento, el tratamiento de normalización se llevó a cabo bajo la condición de enfriamiento por aire después de un mantenimiento a 980°C x 60 min. A continuación, el tubo de material se cortó en una longitud predeterminada, se sometió a un trabajo del extremo del tubo y se convirtió en una muestra de producto de tubo de inyección para el ensayo de fatiga por presión interna. La resistencia a la tracción del acero A fue de 718 MPa, la del acero B de 685 MPa y la del acero C de 723 MPa.

Tabla 1

acero	Composición química (en masa, %; resto Fe e impurezas)															
	C	Si	Mn	Al	N	Ti	Nb	Cr	Mo	Cu	Ni	V	Ca	P	S	O
A	0,15	0,22	0,51	0,015	0,0030	0,008	0,022	0,76	0,30	-	-	-	0,0001	0,011	0,0012	0,0012
B	0,20	0,31	1,42	0,037	0,0032	0,010	0,031	0,06	0,18	0,02	0,02	0,06	0,0001	0,014	0,030	0,0010
C	0,21	0,33	1,43	0,017	0,0044	0,020*	0,035	0,05	0,18	0,02	0,03	0,06	0,0001	0,014	0,0040	0,0012

* indica que las condiciones no satisfacen las definidas por la presente invención

Las dimensiones de las muestras fueron un diámetro externo de 6,35 mm, un diámetro interno de 3,00 mm y una longitud de 200 mm. Para cada muestra, se usaron 30 muestras en el ensayo de fatiga por presión interna. Las condiciones del ensayo de fatiga son que una cara extrema de una muestra se sella, el interior de la muestra se llena desde la otra cara extrema, con un fluido hidráulico como medio de presión, y la presión interna de una porción
 5 llena fluctuó repetidamente dentro del rango de un máximo de 300 MPa a un mínimo de 18 MPa. La frecuencia de las fluctuaciones de la presión interna se estableció en 8 Hz.

Como resultado del ensayo de fatiga por presión interna con una presión interna máxima de 300 MPa, en todas las muestras se produjo una grieta y se propagó en una superficie interna antes de que el número de repeticiones alcanzara 2×10^6 ciclos, y se produjo una rotura al alcanzar la grieta a una superficie externa para fugar.
 10

En todas las muestras rotas, se expuso una superficie de fractura de una porción de la muestra en la que se produjo una fuga, y se observó la porción originaria de la porción en la que se produjo la fuga utilizando un SEM, y se identificó la presencia / ausencia de inclusiones y las dimensiones de las inclusiones. se midieron. Las dimensiones de las inclusiones se calcularon en términos de $\sqrt{\text{área}}$ midiendo, por medio de procesamiento de imágenes, un área de las inclusiones y una anchura máxima c desde la superficie interior en una dirección de profundidad (una dirección radial de la tubería). Se hace notar que, como $\sqrt{\text{área}}$, se adopta el valor numérico más pequeño de la raíz cuadrada del área y $(\sqrt{10}) \cdot c$. Esta definición se basa en un concepto que se describe en el Documento No de Patente 1,
 15
 20

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 2. En el ejemplo que utiliza el acero C que tiene un alto contenido de Ti, en 14 de las 30 muestras las inclusiones justo debajo de la superficie interior sirven como punto de origen, y la mayoría de las dimensiones de las mismas fueron 60 μm o menos en términos de $\sqrt{\text{área}}$, excepto una en la que la dimensión fue de 111 μm en términos de $\sqrt{\text{área}}$. Estas inclusiones fueron inclusiones compuestas de Ti - Al. Por el contrario, en los ejemplos que utilizan los aceros A y B que tienen bajos contenidos de Ti en todas las muestras, no hubo inclusiones en el punto de origen de la grieta, y una estructura de matriz en la superficie interna sirvió como punto de origen en todos los casos. En este sentido, la vida útil más corta fue de $3,78 \times 10^5$ ciclos de la muestra del acero C en la que se detectaron las inclusiones máximas, mientras que fue de $4,7$ a $8,0 \times 10^5$ ciclos en las otras 29 muestras. Por el contrario, no hubo una gran diferencia en la vida de rotura entre los aceros A y B, que fue de $6,8$ a $17,7 \times 10^5$ ciclos, y por lo tanto, obviamente se reconoce la influencia de las inclusiones compuestas de Ti - Al en la fatiga por presión interna. Por lo tanto, se puede estimar que un aumento en el contenido de Ti provoca la precipitación de inclusiones gruesas compuestas de Ti - Al, lo que conduce a una disminución de la fatiga por presión interna.
 25
 30

Tabla 2

Inclusiones de tamaño $\sqrt{\text{área}}$ (μm)	Número de muestras		
	A	B	C*
Ninguna	30	30	16
Menos de 10	0	0	0
10 o más y menos de 20	0	0	0
20 o más y menos de 30	0	0	4
30 o más y menos de 40	0	0	6
40 o más y menos de 50	0	0	2
50 o más y menos de 60	0	0	1
60 o más y menos de 70	0	0	0
70 o más y menos de 80	0	0	0
80 o más y menos de 90	0	0	0
90 o más y menos de 100	0	0	0
100 o más y menos de 110	0	0	0
110 o más y menos de 120	0	0	1
120 o más	0	0	0
* indica que las condiciones no satisfacen las definidas por la presente invención.			

<Experimento de referencia 2>

A continuación, se realizó un ensayo de fatiga con una presión interna máxima de 340 MPa utilizando un acero con una resistencia a la tracción de 900 MPa o más. Tres muestras de los materiales de partida B y C que tenían los componentes químicos que se muestran en la Tabla 1 que se ha descrito más arriba se fabricaron utilizando un convertidor y una colada continua. En la colada continua, la velocidad de colada en la colada se fijó en el 0,5 m/min, y el área de la sección transversal de una pieza colada se fijó en 200.000 mm² o más. Se fabricó una palanquilla para la fabricación de tuberías a partir del material de partida de acero que se ha descrito más arriba, se sometió a una laminación penetrante y una laminación de alargamiento en el proceso de fabricación de tuberías con mandril de Mannesmann, y se sometió a un proceso de laminación en caliente mediante estiramiento reduciendo el diámetro del laminador de ajuste de laminación, para tener dimensiones de un diámetro externo de 34 mm, y un grosor de pared de 4,5 mm. Para estirar este tubo de material con acabado en caliente, en primer lugar se realizó una formación de nariz en un extremo frontal de la tubería de material y se aplicó lubricante. Posteriormente, el estirado se realizó utilizando un troquel y un tapón, se realizó un recocido de suavizado de acuerdo con lo necesario y el diámetro de la tubería se redujo gradualmente para terminar el tubo de material como un tubo de acero con un diámetro externo de 6,35 mm y un diámetro interno de 3,0 mm. A continuación, el tubo de acero se sometió a templado de alta frecuencia a 1000°C y enfriamiento por agua, a continuación se sometió a un revenido de mantenimiento a 640°C durante 10 min y se permitió el enfriamiento, y se realizó un proceso de descalcificación y alisado sobre las superficies exterior e interior del tubo de acero.

Posteriormente, cada muestra se cortó para que tuviese una longitud de 200 mm, se sometió al trabajo el extremo del tubo y se sometió a ensayo de fatiga por presión interna como una muestra de tubería de inyección para el ensayo de fatiga por presión interna. El ensayo de fatiga es un ensayo que se realiza llenando desde una cara extrema de una muestra, el interior de la muestra con un aceite hidráulico, como medio de presión, estando sellada la otra cara extrema, y fluctuando repetidamente la presión interna de la porción llena en el rango de un máximo de 340 MPa a un mínimo de 18 MPa, de manera que la presión interna sigue una onda sinusoidal a lo largo del tiempo. La frecuencia de las fluctuaciones de la presión interna se estableció en el 8 Hz. Los resultados se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3

acero	Muestra	Número de repeticiones.	Resultado
B	B - 1	5,0 × 10 ⁶	Sin fractura
	B - 2	5,0 × 10 ⁶	Sin fractura
	B - 3	5,0 × 10 ⁶	Sin fractura
C *	C - 1	3,63 × 10 ⁵	Fractura por fatiga desde la superficie interna de la tubería.
	C - 2	5,0 × 10 ⁶	Sin fractura
	C - 3	5,0 × 10 ⁶	Sin fractura

* indica que las condiciones no satisfacen las definidas por la presente invención.

Como se muestra en la Tabla 3, en el ejemplo en el que el acero B tiene un bajo contenido de Ti, en las tres muestras no se produjo ninguna rotura (fuga) incluso cuando el número de repeticiones alcanzó 5,0 × 10⁶ ciclos. Por el contrario, en el ejemplo en el que el acero C tiene un alto contenido de Ti, en una de las tres muestras se produjo una fractura por fatiga en la superficie interna de un tubo cuando el número de repeticiones alcanzó 3,63 × 10⁵ ciclos. Como resultado de observar una porción originadora en la muestra en la que se produjo la fractura por fatiga utilizando un SEM, se reconocieron las inclusiones compuestas de Ti - Al, cuya dimensión fue de 33 µm en términos de área. También a partir de los resultados experimentales que se han descritos más arriba, se entiende que hay tendencias a causar que se precipiten inclusiones compuestas gruesas de Ti - Al y que sean propensas a causar fractura por fatiga cuando se utiliza una muestra que tiene un alto contenido de Ti.

La presente invención se realiza en base a los hallazgos que se han descrito más arriba e involucra el siguiente tubo de acero para la tubería de inyección de combustible y una tubería de inyección de combustible que utiliza el mismo.

(1) Un tubo de acero para una tubería de inyección de combustible que tiene una composición química que consiste, en porcentaje en masa, en

C: 0,12 a 0,27%,

ES 2 723 498 T3

Si: 0,05 a 0,40%,
Mn: 0,3 a 2,0%,
Al: 0,005 a 0,060%,
N: 0,0020 a 0,0080%,
Ti: 0,005 a 0,015%,
Nb: 0,015 a 0,045%,
Cr: 0 a 1,0%,
Mo: 0 a 1,0%,
Cu: 0 a 0,5%,
Ni: 0 a 0,5%,
V: 0 a 0,15%, y
B: 0 a 0,005%,

siendo el resto Fe e impurezas, y los contenidos de Ca, P, S y O en las impurezas, que son.

Ca: 0,001% o menos,
P: 0,02% o menos,
S: 0,01% o menos, y
O: 0,0040% o menos,

y que tiene una micro - estructura metálica que consiste en una estructura martensítica revenida, o una estructura mixta de martensita revenida y bainita revenida, en la que un número de tamaño de grano de austenita anterior determinado de conformidad con ASTM E112 es 10,0 o más, en el que el tubo de acero tiene una resistencia a la tracción de 800 MPa o más, preferiblemente 900 MPa o más, y una presión interna crítica que satisface la siguiente fórmula (i):

$$IP \geq 0.3 \times TS \times \alpha \quad \dots (i)$$
$$\alpha = [(D/d)^2 - 1] / [0.776 \times (D/d)^2] \quad \dots (ii)$$

en la que, en la fórmula anterior (i), IP indica una presión interna crítica (MPa), TS indica una resistencia a la tracción (MPa), y α es un valor representado por la fórmula (ii) anterior, y en la que, en la fórmula anterior (ii), D indica un diámetro externo (mm) del tubo de acero para la tubería de inyección de combustible, y d indica un diámetro interno (mm) del tubo de acero para la tubería de inyección de combustible, y la presión interna crítica es una presión interna máxima (MPa) dentro de la cual no se produce ninguna rotura o fuga después de 10^7 ciclos de fluctuaciones de presión internas repetitivas que siguen una onda sinusoidal a lo largo del tiempo en un ensayo de fatiga por presión interna con una presión mínima establecida en 18 MPa.

(2) El tubo de acero para la tubería de inyección de combustible de acuerdo con lo anterior (1), en el que la composición química contiene, en porcentaje en masa, uno o más elementos seleccionados de entre:

Cr: 0,2 a 1,0%,
Mo: 0,03 a 1,0%,
Cu: 0,03 a 0,5%,
Ni: 0,03 a 0,5%,
V: 0,02 a 0,15%, y
B: 0,0003 a 0,005%.

(3) El tubo de acero para la tubería de inyección de combustible de acuerdo con los apartados anteriores (1) o (2), en el que

el diámetro externo y el diámetro interno del tubo de acero satisfacen la siguiente fórmula (iii):

$$D/d \geq 1.5 \quad (iii)$$

en la que, en la fórmula anterior (iii), D indica el diámetro externo (mm) del tubo de acero para la tubería de inyección de combustible, y d indica el diámetro interno (mm) del tubo de acero para la tubería de inyección de combustible.

(4) Una tubería de inyección de combustible que utiliza como material de partida, el tubo de acero para la tubería de inyección de combustible de acuerdo con cualquiera de los apartados anteriores (1) a (3).

EFFECTOS VENTAJOSOS DE LA INVENCION

De acuerdo con la presente invención, es posible obtener un tubo de acero para una tubería de inyección de combustible que tenga una resistencia a la tracción de 800 MPa o más, preferiblemente de 900 MPa o más, y que sea excelente en resistencia a la fatiga por presión interna. Por lo tanto, el tubo de acero para la tubería de inyección de combustible de acuerdo con la presente invención es aplicable adecuadamente especialmente a una tubería de inyección de combustible para automóviles.

MANERA PARA LLEVAR A CABO LA INVENCION

En la presente memoria descriptiva y en lo que sigue, cada requisito de la presente invención se describirá en detalle.

1. Composición química

Las razones para restringir los elementos son como se describe a continuación. En la siguiente explicación, el símbolo "%" para el contenido de cada elemento significa "% en masa".

C: 0,12 a 0,27%

El C (carbono) es un elemento que es eficaz para aumentar la resistencia del acero con un bajo costo. Para garantizar una resistencia a la tracción deseada, es necesario establecer el contenido de C en 0,12% o más. Sin embargo, el contenido de C de más del 0,27% conduce a una disminución en la trabajabilidad. Por lo tanto, el contenido de C se establece en el 0,12 a 0,27%. El contenido de C preferiblemente es de 0,13% o más, más preferiblemente de 0,14% o más. Además, el contenido de C preferiblemente es de 0,25% o menos, más preferiblemente de 0,23% o menos.

Si: 0,05 a 0,40%

El Si (silicio) es un elemento que no solo tiene una función de desoxidación, sino también la función de aumentar la capacidad de endurecimiento del acero para mejorar la resistencia del acero. Para garantizar estos efectos, es necesario establecer el contenido de Si en un 0,05% o más. Sin embargo, el contenido de Si de más del 0,40% conduce a una disminución en la tenacidad. Por lo tanto, el contenido de Si se establece en el 0,05 a 0,40%. El contenido de Si preferiblemente es de 0,15% o más y preferiblemente es de 0,35% o menos.

Mn: 0,3 a 2,0%

El Mn (manganeso) es un elemento que no solo tiene una función de desoxidación sino que también es eficaz para aumentar la capacidad de endurecimiento del acero para mejorar la resistencia y tenacidad del acero. Sin embargo, el contenido de Mn menos al 0,3% no puede proporcionar una resistencia suficiente y, por otro lado, el contenido de Mn más al 2,0% hace que un MnS se engrose y se alargue y expanda a veces en la laminación en caliente, lo que por otro lado da como resultado una disminución en la tenacidad. Por esta razón, el contenido de Mn se establece en el 0,3 a 2,0%. El contenido de Mn preferiblemente es el 0,4% o más, más preferiblemente del 0,5% o más. Además, el contenido de Mn preferiblemente es el 1,7% o menos, más preferiblemente el 1,5% o menos.

Al: 0,005 a 0,060%

El Al (aluminio) es un elemento que es eficaz en la desoxidación del acero y tiene la función de aumentar la tenacidad y la trabajabilidad del acero. Para obtener estos efectos, es necesario que contenga el 0,005% o más de Al. Por otro lado, cuando el contenido de Al llega a ser más del 0,060%, las inclusiones se producen fácilmente y, en particular, en el caso de un acero que contiene Ti, aumenta el riesgo de que se produzcan inclusiones compuestas de Ti - Al. Por lo tanto, el contenido de Al se establece en el 0,005 a 0,060%. El contenido de Al preferiblemente es de 0,008% o más, más preferiblemente de 0,010% o más. Además, el contenido de Al preferiblemente es de 0,050% o menos, más preferiblemente de 0,040% o menos. En la presente invención, el contenido de Al significa el contenido de Al soluble en ácido (Al sol.).

N: 0,0020 a 0,0080%

El N (nitrógeno) es un elemento que inevitablemente existe en el acero como una impureza. Sin embargo, en la presente invención, es necesario hacer que el N sea de un 0,0020% o más con el fin de evitar que los granos se engrosen por el efecto de fijación del TiN. Por el contrario, el contenido de N de más de 0,0080% aumenta el riesgo de que se produzcan grandes inclusiones compuestas de Ti - Al. Por lo tanto, el contenido de N se establece en el 0,0020 a 0,0080%. El contenido de N preferiblemente es de 0,0025% o más, más preferiblemente de 0,0027% o más. Además, el contenido de N preferiblemente es 0,0065% o menos, más preferiblemente de 0,0050% o menos.

Ti: 0,005 a 0,015%

El Ti (titanio) es un elemento esencial en la presente invención porque el Ti contribuye a evitar que los granos se engrosen precipitando finamente en forma de TiN y similares. Para obtener el efecto, es necesario establecer el contenido de Ti en el 0,005% o más. Por el contrario, cuando el contenido de Ti llega a ser más del 0,015%, el efecto de refinamiento del grano en los granos tiende a saturarse y, en algunos casos, pueden producirse grandes inclusiones compuestas de Ti - Al. Las grandes inclusiones compuestas de Ti - Al pueden provocar una disminución de la vida útil a la rotura en condiciones en las que la presión interna es muy alta, y la supresión de la aparición de

las grandes inclusiones compuestas de Ti - Al se considera importante especialmente en una tubería de inyección de combustible que tiene una resistencia a la tracción de 900 MPa o más y propiedades de presión interna crítica tan altas que su presión interna crítica es de $0,3 \times TS \times \alpha$ o más. Por lo tanto, el contenido de Ti se establece en el 0,005 a 0,015%. El contenido de Ti preferiblemente es de 0,006% o más, más preferiblemente de 0,007% o más. Además, el contenido de Ti preferiblemente es de 0,013% o menos, más preferiblemente de 0,012% o menos.

Nb: 0,015 a 0,045%

El Nb (niobio) es un elemento que es esencial en la presente invención para obtener una micro - estructura de grano fino como se desea porque el Nb se dispersa finamente en acero como carburo o carbo - nitruro y tiene el efecto de fijar firmemente los límites de grano de cristal. Además, la fina dispersión de carburo de Nb o carbo - nitruro de Nb mejora la resistencia y la tenacidad del acero. A los efectos de lo anterior, es necesario que contenga el 0,015% o más de Nb. Por el contrario, el contenido de Nb de más del 0,045% hace que el carburo y el carbo - nitruro se engrosen, lo que resulta en una disminución de la tenacidad. Por lo tanto, el contenido de Nb se establece en el 0,015 a 0,045%. El contenido de Nb preferiblemente es de 0,018% o más, más preferiblemente de 0,020% o más. Además, el contenido de Nb preferiblemente es de 0,040% o menos, más preferiblemente de 0,035% o menos.

Cr: 0 a 1,0%

El Cr (cromo) es un elemento que tiene el efecto de mejorar la capacidad de endurecimiento y la resistencia al desgaste, y el Cr puede estar contenido de acuerdo con lo que sea necesario. Sin embargo, el contenido de Cr se establece en el 1,0% o menos si está contenido puesto el contenido de Cr de más del 1,0% disminuye la tenacidad y la capacidad de laminación en frío. El contenido de Cr preferiblemente es de 0,8% o menos. Para obtener el efecto anterior, el contenido de Cr se establece preferiblemente en el 0,2% o más, más preferiblemente en el 0,3% o más.

Mo: 0 a 1,0%

El Mo (molibdeno) es un elemento que contribuye a asegurar una alta resistencia debido a que el Mo mejora la capacidad de endurecimiento y aumenta la resistencia al ablandamiento del revenido. Por esta razón, el Mo puede ser contenido tal como sea necesario. Sin embargo, si el contenido de Mo es más del 1,0%, el efecto de Mo se satura, lo que resulta en un aumento en el costo de la aleación. Por lo tanto, el contenido de Mo se establece en el 1,0% o menos si está contenido. El contenido de Mo preferiblemente es de 0,45% o menos. Para obtener el efecto anterior, el contenido de Mo se establece preferiblemente en el 0,03% o más, más preferiblemente 0,08% o más.

Cu: 0 a 0,5%

El Cu (cobre) es un elemento que tiene el efecto de aumentar la capacidad de endurecimiento del acero para mejorar la resistencia y tenacidad del acero. Por esta razón, el Cu puede estar contenido de acuerdo con lo que sea necesario. Sin embargo, si el contenido de Cu es más al 0,5%, el efecto del Cu se satura lo que como resultado un aumento en el costo de la aleación. Por lo tanto, el contenido de Cu se establece en el 0,5% o menos si está contenido. El contenido de Cu se establece preferiblemente en el 0,40% o menos, más preferiblemente 0,35% o menos. Para obtener el efecto anterior, el contenido de Cu se establece preferiblemente en el 0,03% o más, más preferiblemente en el 0,05% o más.

Ni: 0 a 0,5%

El Ni (níquel) es un elemento que tiene el efecto de aumentar la capacidad de endurecimiento para mejorar la resistencia y tenacidad del acero. Por esta razón, el Ni puede estar contenido de acuerdo con lo que sea necesario. Sin embargo, si el contenido de Ni es más del 0,5%, el efecto de Ni se satura, lo que lleva a un aumento en el costo de la aleación como resultado. Por lo tanto, el contenido de Ni se establece en el 0,5% o menos si está contenido. El contenido de Ni se establece preferiblemente en el 0,40% o menos, más preferiblemente 0,35% o menos. Para obtener el efecto anterior, el contenido de Ni se establece preferiblemente en el 0,03% o más, más preferiblemente en el 0,08% o más.

V: 0 a 0,15%

El V (vanadio) es un elemento que precipita como carburo fino (VC) en el revenido para aumentar la resistencia al ablandamiento del temple, permitiendo el revenido a altas temperaturas, lo que a su vez contribuye a aumentar la resistencia y la tenacidad del acero. Por esta razón, el V puede estar contenido de acuerdo con lo que sea necesario. Sin embargo, el contenido de V se establece en el 0,15% o menos si está contenido porque por el contrario, el contenido de V de más del 0,15% conduce a una disminución en la resistencia. El contenido de V se establece preferiblemente en el 0,12% o menos, más preferiblemente en el 0,10% o menos. Para obtener el efecto anterior, el contenido de V se establece preferiblemente en el 0,02% o más, más preferiblemente en el 0,04% o más.

B: 0 a 0,005%

El B (boro) es un elemento que tiene la función de aumentar la capacidad de endurecimiento. Por esta razón, el B puede estar contenido de acuerdo con lo que sea necesario. Sin embargo, el contenido de B de más del 0,005% hace que la tenacidad disminuya. Por lo tanto, el contenido de B se establece en el 0,005% o menos si está contenido. El contenido de B se establece preferiblemente en el 0,002% o menos. La función de mejora de la capacidad de endurecimiento debida a la contención de B puede obtenerse en el contenido de un nivel de impureza,

pero para obtener el efecto de manera más prominente, el contenido de B se establece preferiblemente en el 0,0003% o más. Se hace notar que, para utilizar de manera efectiva el efecto del B, el N en el acero es inmovilizado preferiblemente por Ti.

- 5 El tubo de acero para la tubería de inyección de combustible de acuerdo con la presente invención tiene la composición química que consiste en los elementos anteriores de C a B, y el resto es Fe e impurezas.

10 El término "impurezas" en la presente memoria descriptiva significa componentes que se mezclan en el acero para producir el acero industrialmente, debido a diversos factores que incluyen materias primas tales como minerales y chatarra, y un proceso de producción, y se les permite mezclarse en el acero dentro de los rangos en los cuales las impurezas no tienen efecto adverso sobre la presente invención.

A continuación se describirá el Ca, P, S y O en las impurezas.

- 15 Ca: 0,001% o menos

20 El Ca (calcio) tiene una función de aglomeración de inclusiones basada en silicato (Grupo C en JIS G 0555), y el contenido de Ca de más del 0,001% resulta en una disminución de la presión interna crítica debido a que se generan inclusiones de tipo C gruesas. Por lo tanto, el contenido de Ca se estableció en el 0,001% o menos. El contenido de Ca se establece preferiblemente en el 0,0007% o menos, más preferiblemente en el 0,0003% o menos. Se hace notar que si no se realiza ningún tratamiento de Ca en una instalación relacionada con la producción y el refinado de acero a largo plazo, se puede eliminar la contaminación de Ca de la instalación y, por lo tanto, es posible que el contenido de Ca en el acero sea sustancialmente del 0%.

P: 0,02% o menos

25 El P es un elemento que inevitablemente existe en el acero como impureza. Un contenido de P de más del 0,02% no solo conduce a una disminución en la trabajabilidad en caliente, sino que también provoca una segregación en el límite del grano para disminuir significativamente la tenacidad. Por lo tanto, es necesario establecer el contenido de P en el 0,02% o menos. Cuanto más bajo sea el contenido de P, más deseable será, y el contenido de P se establece preferiblemente en el 0,015% o menos, más preferiblemente en el 0,012% o menos. Sin embargo, el límite menos del contenido de P se establece preferiblemente en el 0,005% porque una disminución excesiva en el contenido de P conduce a un aumento en el costo de producción.

S: 0,01% o menos

35 El S (azufre) es un elemento que, como con el P, existe inevitablemente en el acero como impureza. El contenido de S de más del 0,01% hace que el S se segregue en los límites de los granos y hace que se produzcan inclusiones con base en sulfuros, y es probable que provoque una disminución en la resistencia a la fatiga. Por lo tanto, es necesario establecer el contenido de S en el 0,01% o menos. Cuanto más bajo sea el contenido de S, más deseable será, y el contenido de S se establece preferiblemente en el 0,005% o menos, más preferiblemente en el 0,0035% o menos. Sin embargo, el límite menos del contenido de S se fija preferiblemente en el 0,0005% porque una disminución excesiva en el contenido de S conduce a un aumento en el costo de producción.

O: 0,0040% o menos

45 El O forma óxidos ásperos, siendo propenso a causar una disminución de la presión interna crítica debido a esa formación. Desde ese punto de vista, es necesario establecer el contenido de O en el 0,0040% o menos. Cuanto más bajo sea el contenido de O, más deseable será, y el contenido de O se establece preferiblemente en el 0,0035% o menos, más preferiblemente en el 0,0025% o menos, aún más preferiblemente en el 0,0015% o menos. Sin embargo, el límite menos del contenido de O se establece preferiblemente en el 0,0005% porque una disminución excesiva en el contenido de O conduce a un aumento en el costo de producción.

- 50 2. Micro - estructura metálica

La micro - estructura metálica del tubo de acero para la tubería de inyección de combustible de acuerdo con la presente invención consiste en una estructura martensítica revenida, o una estructura mixta de una martensita revenida y una bainita revenida. La presencia de una micro - estructura de ferrita - perlita en la micro - estructura metálica provoca una rotura en una fase ferrítica que tiene una dureza baja que sirve localmente como punto de origen, incluso cuando se elimina una rotura en el punto de origen de las inclusiones, y por lo tanto no se puede obtener una presión interna crítica basada en una dureza macroscópica y una resistencia a la tracción. Además, con una micro - estructura de metal que no contiene martensita revenida o una micro - estructura de ferrita - perlita, es difícil asegurar una resistencia a la tracción de 800 MPa o más, en particular una resistencia a la tracción de 900 MPa o más.

60 Además, como se ha descrito más arriba, con el fin de mejorar la resistencia a la fatiga de un tubo de acero, es necesario establecer un número de tamaño de grano de la austenita anterior en 10,0 o más. Esto se debe a que en un tubo de acero que haya sido sometido a un refinamiento de grano insuficiente para tener un número de grano menos a 10,0, la resistencia a la fatiga de una micro - estructura de metal disminuye, y por lo tanto la presión interna

crítica del acero, incluso cuando las inclusiones no sirven como punto de origen. Se hace notar que los Números. de tamaño de grano que se han descrito en la presente memoria descriptiva están definidos en ASTM E112,

3. Propiedad mecánica

5 El tubo de acero para la tubería de inyección de combustible de acuerdo con la presente invención tiene una resistencia a la tracción de 800 MPa o más, y la presión interna crítica del mismo satisface la siguiente fórmula (i):

$$IP \geq 0.3 \times TS \times \alpha \quad \dots (i)$$

$$\alpha = [(D/d)^2 - 1] / [0.776 \times (D/d)^2] \quad \dots (ii)$$

10 en la que, en la fórmula anterior (i), IP indica una presión interna crítica (MPa), TS indica una resistencia a la tracción (MPa), y α indica un valor expresado por la fórmula anterior (ii). Además, D en la fórmula anterior (ii) indica el diámetro externo (mm) del tubo de acero para la tubería de inyección de combustible, y d indica el diámetro interno (mm) del tubo de acero para la tubería de inyección de combustible. α es un coeficiente para corregir cambios en la relación entre una presión interna y una tensión que se produce en la superficie interna de una tubería de acuerdo con una relación de diámetro interno de la tubería.

15 La razón para establecer la resistencia a la tracción a 800 MPa o más es que una resistencia a la tracción de menos de 800 MPa no puede asegurar un rendimiento de resistencia al estallido contra una presión excesiva que se aplica individualmente. Además, una presión interna crítica que satisface la fórmula anterior (i) permite asegurar la seguridad contra la fatiga por fractura. El término "presión interna crítica" en la presente memoria descriptiva significa la presión interna máxima (MPa) dentro de la cual no se produce ninguna rotura (fuga) después de 10^7 ciclos de fluctuaciones repetitivas de presión interna que siguen una onda sinusoidal a lo largo del tiempo en un ensayo de fatiga por presión interna con una presión interna mínima establecida en 18 MPa. La resistencia a la tracción se establece preferiblemente en el 900 MPa o más.

4. Tamaño

20 El tubo de acero para la tubería de inyección de combustible de acuerdo con la presente invención no está especialmente limitado en tamaños. Sin embargo, una tubería de inyección de combustible generalmente necesita tener una cierta cantidad de volumen para reducir las fluctuaciones de la presión interna en uso. Por esta razón, el tubo de acero para la tubería de inyección de combustible de acuerdo con la presente invención tiene deseablemente un diámetro interno de 2,5 mm o más, más deseablemente 3 mm o más. Además, una tubería de inyección de combustible debe soportar una alta presión interna, y el grosor de la pared del tubo de acero es deseablemente de 1,5 mm o más, más deseablemente de 2 mm o más. Por el contrario, un diámetro externo excesivamente grande del tubo de acero dificulta el trabajo de doblado o similar. Por esta razón, el diámetro externo del tubo de acero es deseablemente de 20 mm o menos, más deseablemente 10 mm o menos.

25 Además, para soportar una alta presión interna, es deseable hacer que el grosor de la pared sea más grande para un diámetro interno mayor del tubo de acero. Con el diámetro interno del tubo de acero constante, el diámetro externo del tubo de acero se hace más grande con un aumento en el grosor de la pared. En otras palabras, para soportar una elevada presión interna, es deseable hacer el diámetro externo del tubo de acero con un incremento del diámetro interno del tubo de acero. Para obtener una presión interna crítica suficiente para un tubo de acero para la tubería de inyección de combustible, es deseable que el diámetro externo y el diámetro interno del tubo de acero satisfagan la siguiente fórmula (iii):

$$D/d \geq 1.5 \quad \dots (iii)$$

30 en la que en la fórmula (iii) anterior, D indica el diámetro externo (mm) del tubo de acero para la tubería de inyección de combustible, y d indica el diámetro interno (mm) del tubo de acero para la tubería de inyección de combustible.

35 D / d, que es la relación del diámetro externo al diámetro interno del tubo de acero anterior, más deseablemente es de 2,0 o más. Por el contrario, el límite más de D / d no se proporciona especialmente, pero deseablemente es de 3,0 o menos, más deseablemente de 2,8 o menos porque un valor excesivamente grande de D / d dificulta el trabajo de doblado.

5. Método de producción

40 No hay limitaciones especiales en los métodos para producir el tubo de acero para la tubería de inyección de combustible de acuerdo con la presente invención, y por ejemplo, en el caso de usar un tubo de acero sin soldadura para la producción, es posible producir el tubo de acero preparando un lingote en el que las inclusiones se eliminan de antemano mediante el método que sigue, que produce un tubo de material a partir del lingote mediante una técnica tal como la fabricación de tuberías de Mannesmann, que confiere el tamaño deseado y la forma deseada al tubo de material mediante laminación en frío, y posteriormente se realiza un tratamiento térmico.

Con el fin de suprimir la formación de inclusiones, es preferible ajustar la composición química como se ha descrito más arriba, así como aumentar el área de la sección transversal de una pieza colada en la colada. Esto se debe a que, después de la colada, flotan grandes inclusiones hasta que se solidifican. El área de la sección transversal de una pieza colada en la colada es deseablemente 200,000 mm² o más. Además, es posible disminuir directamente las inclusiones no metálicas en el acero al disminuir la velocidad de colada para hacer que las inclusiones no metálicas ligeras floten como escoria. Por ejemplo, la colada continua puede llevarse a cabo a una velocidad de colada de 0,5 m/min.

Sobre la base del método anterior, se eliminan las inclusiones gruesas perjudiciales, pero las inclusiones compuestas de Ti - Al pueden formarse dependiendo del contenido de Ti en el acero. Se presume que las inclusiones compuestas de Ti - Al se forman en el curso de la solidificación. En la presente invención, es posible prevenir la formación de inclusiones compuestas gruesas mediante el control apropiado del contenido de Ti.

A partir de la pieza colada obtenida de esta manera, se prepara, por ejemplo, una palanquilla para la fabricación de tuberías mediante un método como el desbastado. A continuación, por ejemplo, la palanquilla se somete a una laminación penetrante y una laminación de alargamiento en el proceso de fabricación de tuberías por laminado con un mandril de Mannesmann, y se termina en un tamaño laminado en caliente predeterminado por laminación de ajuste de diámetro usando un laminador reductor de estiramiento o similar. Posteriormente, el estirado en frío se repite varias veces para dar un tamaño de acabado en frío predeterminado. El estirado en frío se puede realizar con facilidad realizando un recocido de alivio de tensión antes o en medio del estirado en frío. Además, es posible emplear otros procesos de fabricación de tuberías, tales como un proceso de fabricación de tuberías en un laminador de tapón.

Después de realizar el estirado en frío final de esa manera, con el fin satisfacer las características mecánicas previstas de una tubería de inyección de combustible, se realizan tratamientos térmicos de templado y revenido, que pueden asegurar una resistencia a la tracción de 800 MPa o más, preferiblemente de 900 MPa o más.

En el tratamiento de templado, es preferible realizar el calentamiento hasta al menos una temperatura del punto de transformación Ac₃ o más, y un enfriamiento rápido. Esto se debe a que una temperatura de calentamiento menos al punto de transformación Ac₃ conduce a una austenización incompleta y da como resultado una formación de martensita insuficiente después del templado, lo que puede hacer que falle la resistencia a la tracción deseada. Por el contrario, es preferible ajustar la temperatura de calentamiento a 1050°C o menos. Esto se debe a que una temperatura de calentamiento de más del 1050°C hace que los granos engrosen los granos y fácilmente. La temperatura de calentamiento se fija más preferiblemente en el punto de transformación Ac₃ + 30°C, o más.

Un método de calentamiento en templado no está especialmente limitado, pero el calentamiento a alta temperatura y durante mucho tiempo hace que, a menos que se realice en una atmósfera protectora, se generen muchas escamas en la superficie de un tubo de acero, lo que conduce a una disminución de la precisión dimensional, y de la textura superficial. Por lo tanto, es preferible tener un tiempo de mantenimiento tan corto como de 10 a 20 minutos en el caso del calentamiento del horno utilizando un horno de viga deslizante o similar. Desde el punto de vista de las escamas supresoras, es preferible utilizar, como atmósfera de calentamiento, una atmósfera que tenga un bajo potencial de oxígeno o una atmósfera reductora, que no es oxidante.

Es preferible emplear un método de calentamiento por inducción de alta frecuencia o un método de calentamiento por resistencia directa como método de calentamiento puesto que de este modo se logra el calentamiento con un mantenimiento de breve duración, lo que permite la supresión de las escamas generadas en la superficie de un tubo de acero al mínimo. Además, un método de calentamiento de este tipo proporciona una ventaja porque facilita el refinamiento del grano de los granos y anteriores al aumentar la velocidad de calentamiento. La velocidad de calentamiento se establece preferiblemente en 25°C/s o más, más preferiblemente en 50°C/s o más, aún más preferiblemente en 100°C/s o más.

Con respecto al enfriamiento en el templado, para obtener una resistencia a la tracción deseada de 800 MPa o más, preferiblemente de 900 MPa o más de forma estable y fiable, una velocidad de enfriamiento en un rango de temperatura de 500 a 800°C se establece preferiblemente en 50°C/s o más, más preferiblemente en 100°C/s o más, aún más preferiblemente en 125°C/s o más. Como método de enfriamiento, se usa preferiblemente un tratamiento de enfriamiento tal como enfriamiento con agua.

Un tubo de acero que ha sido sometida a un enfriamiento para ser enfriado a una temperatura normal es duro y quebradizo, y por lo tanto es preferible revenir el tubo de acero a una temperatura del punto de transformación Ac₁ o menos. Una temperatura de revenido superior a la del punto de transformación Ac₁ provoca una transformación inversa, lo que dificulta la obtención de las características deseadas de forma estable y fiable. Por el contrario, una temperatura de revenido inferior a 450°C es propensa a hacer que el revenido sea insuficiente, lo que puede conducir a una tenacidad y una trabajabilidad insuficientes. Una temperatura de revenido preferible es de 600 a 650°C. El tiempo de mantenimiento a una temperatura de revenido no está especialmente limitada y normalmente es

de aproximadamente 10 a 120 min. Después del revenido, las curvas se pueden enderezar utilizando un enderezador, tal como sea apropiado.

5 Además, con el fin de obtener una presión interna crítica más elevada, se puede realizar un tratamiento de auto - zunchado después del templado y el revenido que se han descrito más arriba. El tratamiento de auto - zunchado es un tratamiento para generar una tensión residual de compresión aplicando una presión interna excesiva para someter la proximidad de una superficie interna parcialmente a deformación plástica. Este tratamiento suprime la propagación de una grieta por fatiga, y se puede obtener una presión interna crítica aún mayor. Se recomienda establecer la presión en el tratamiento de auto - zunchado para que sea una presión menor a la presión de estallido
10 y una presión interna mayor que el valor límite menor de la presión interna crítica, $0,3 \times TS \times \alpha$, que se ha descrito más arriba. Se hace notar que, en particular, cuando se asegura una resistencia a la tracción de 900 MPa o más, se puede obtener una elevada presión de estallido en consecuencia, y la presión en el tratamiento de auto - zunchado también se puede aumentar, lo que produce un gran efecto en la mejora de una presión interna crítica por medio del tratamiento de auto - zunchado.

15 El tubo de acero para la tubería de inyección de combustible de acuerdo con la presente invención se puede convertir en una tubería de inyección de combustible a alta presión, por ejemplo, formando cabezales de conexión en sus dos porciones extremas.

20 En la presente memoria descriptiva y a continuación, la presente invención se explica más específicamente con referencia a ejemplos; sin embargo, la presente invención no está limitada a estos ejemplos.

EJEMPLO

25 Se fabricaron 13 tipos de materiales de partida para acero usando un convertidor y colada continua, los materiales de partida para acero tenían composiciones químicas que se muestran en la Tabla 4. Para los aceros Números. 1 a 8, se usaron aceros que satisfacen la definición con respecto a la composición química del acero de acuerdo con la presente invención. Por el contrario, para los aceros Números. 9 a 13, los aceros que tienen cantidades de Ti y / o Nb fuera del rango definido en la presente invención se usaron para comparación. En la colada continua, para cada acero, la velocidad de colada en la colada se fijó en el 0,5 m/min, y el área de la sección transversal de una pieza
30 colada se fijó en 200.000 mm² o más.

[Tabla 4]

Tabla 4

Composición química (en% en masa, resto: Fe e impurezas)

Acero número	C	Si	Mn	Al	N	Ti	Nb	Cr	Mo	Cu	Ni	V	B	Ca	P	S	O
1	0,15	0,22	0,51	0,015	0,0030	0,008	0,022	0,76	0,30	-	-	-	-	0,0001	0,011	0,0012	0,0012
2	0,23	0,23	1,55	0,025	0,0028	0,013	0,034	-	-	-	-	-	-	0,0002	0,009	0,0015	0,0014
3	0,21	0,28	1,39	0,022	0,0038	0,012	0,029	-	0,24	-	-	0,07	-	0,0002	0,010	0,0025	0,0011
4	0,20	0,31	1,42	0,023	0,0032	0,010	0,031	0,06	0,18	-	-	0,06	-	-	0,014	0,0030	0,0010
5	0,20	0,31	1,42	0,023	0,0032	0,010	0,031	0,06	0,18	-	-	0,06	-	-	0,014	0,0030	0,0012
6	0,18	0,23	1,33	0,024	0,0033	0,013	0,025	0,25	-	-	-	-	-	-	0,011	0,0015	0,0013
7	0,20	0,29	1,40	0,020	0,0046	0,011	0,030	-	-	0,28	0,33	-	-	0,0002	0,012	0,0030	0,0015
8	0,22	0,21	1,45	0,022	0,0034	0,010	0,031	-	-	-	-	-	0,0014	0,0001	0,011	0,0018	0,0012
9	0,21	0,33	1,43	0,017	0,0044	0,020*	0,035	0,05	0,18	-	-	0,06	-	0,0001	0,014	0,0040	0,0012
10	0,17	0,31	1,38	0,025	0,0041	-*	-*	-	-	-	-	-	-	0,0001	0,014	0,0050	0,0012
11	0,21	0,26	1,40	0,025	0,0030	0,003*	0,013*	0,11	0,12	-	-	0,05	-	-	0,013	0,0012	0,0017
12	0,18	0,30	1,40	0,026	0,0045	0,007	-*	0,08	0,02	-	-	0,08	-	0,0001	0,013	0,0060	0,0010
13	0,19	0,32	1,36	0,024	0,0040	0,018*	0,033	0,05	0,19	-	-	0,06	-	0,0001	0,016	0,0060	0,0012

* indica que las condiciones no satisfacen las definidas por la presente invención.

5 Se fabricó una palanquilla para la fabricación de tuberías a partir del material de partida de acero que se ha descrito más arriba, se sometió a una laminación penetrante y una laminación de alargamiento en el proceso de fabricación de tuberías con mandril de Mannesmann, y se sometió a un proceso de laminación en caliente mediante estiramiento reduciendo el diámetro del laminador de ajuste de laminación, para que tuviese unas dimensiones de un diámetro externo de 34 mm, y un grosor de pared de 4,5 mm. Para estirar este tubo de material con acabado en caliente, en primer lugar se realizó la una formación de nariz en un extremo frontal del tubo de material y se aplicó lubricante. Posteriormente, el estirado se realizó con un troquel y un tapón, se realizó un recocido de ablandamiento de acuerdo con lo que fuese necesario y el diámetro de la tubería se redujo gradualmente para terminar en las dimensiones predeterminadas. En este momento, en los ensayos Números. 10, 12 y 13, las tuberías de acero se terminaron de manera que tuviesen un diámetro externo de 8,0 mm y un diámetro interno de 4,0 mm, y en los otros Números. de ensayo, las tuberías de acero se terminaron para que tuviesen un diámetro externo de 6,35 mm y un diámetro interno de 3,0 mm. A continuación, el templado y el revenido se realizaron en las condiciones que se muestran en la Tabla 5, y los procesos de desincrustación y suavizado se realizaron en las superficies externas e internas de las tuberías de acero. En este momento, el templado se realizó en las condiciones de, en los ensayos Números.. 1 a 4, 6 a 9, 11 y 12 en la Tabla 5, calentamiento por alta frecuencia hasta 1000°C a una velocidad de aumento de temperatura de 100°C/s, y enfriamiento (durante un tiempo de mantenimiento de 5 s o menos), y en los ensayos Números. 5, 10 y 13, mantenimiento a 1000°C durante 10 minutos y enfriamiento con agua. El revenido se realizó bajo las condiciones de mantenimiento de 550 a 640°C x 10 min y se dejó enfriar. Las temperaturas de revenido específicas también se muestran en la Tabla 5,

20 [Tabla 5]

Tabla 5

Núm. Ensayo	Núm. Acero	Enfriamiento rápido		Templado		Número de tamaño de grano y anterior	Resistencia a la tracción (MPa)	Presión interna crítica (MPa)	0,3 TS _{0.2} (MPa)	Características de fractura	Ejemplo de la invención
		Temperatura (°C)	Método † calentam.	Temperatura (°C)	Tiempo (min)						
1	1	1000	(H)→WQ	640	10	10,7	972	>300	292	Sin fractura	Ejemplo de la invención
2	2	1000	(H)→WQ	600	10	11,0	960	>300	288	Sin fractura	Ejemplo de la invención
3	3	1000	(H)→WQ	640	10	11,4	968	>300	291	Sin fractura	Ejemplo de la invención
4	4	1000	(H)→WQ	640	10	11,2	975	>300	293	Sin fractura	Ejemplo de la invención
5	5	1000	(Horno)→WQ	550	10	9,6 *	955	272	287	Fractura por fatiga desde la superficie interna del tubo	Comp. ex.
6	6	1000	(H)→WQ	640	10	11,2	966	>300	290	Sin fractura	Ejemplo de la invención
7	7	1000	(H)→WQ	600	10	11,0	983	>300	295	Sin fractura	Ejemplo de la invención
8	8	1000	(H)→WQ	600	10	10,9	963	>300	289	Sin fractura	Ejemplo de la invención
9	9 *	1000	(H)→WQ	640	10	11,5	978	>300	294	Sin fractura	Ref. ex.

(continuación)

Núm. Ensayo	Núm. Acero	Enfriamiento rápido		Templado		Número de tamaño de grano y anterior	Resistencia a la tracción (MPa)	Presión interna crítica (MPa)	0,3TS _x (MPa)	Características de fractura
		Temperatura (°C)	Método de calentamiento †	Temperatura (°C)	Tiempo (min)					
10	10 *	1000	(Horno) → WQ	550	10	8,5 *	945	265	274	Fractura por fatiga desde la superficie interna del tubo
11	11 *	1000	(H) → WQ	600	10	9,7 *	955	270	287	Fractura por fatiga desde la superficie interna del tubo
12	12 *	1000	(H) → WQ	625	10	9,7 *	923	240	268	Fractura por fatiga desde la superficie interna del tubo
13	13 *	1000	(Horno) → WQ	550	10	9,4 *	994	265	288	Fractura por fatiga desde la superficie interna del tubo

* indica que las condiciones no satisfacen aquellas definidas por la presente invención

† "(H) → WQ" indica un enfriamiento rápido después del calentamiento a alta frecuencia, y "(Horno) → WQ" indica enfriamiento rápido después de 10 min. de mantenimiento en el horno.

En las tuberías de acero obtenidas, se realizó un ensayo de tensión utilizando la pieza de ensayo Número 11 definida en JIS Z 2241 (2011) para determinar las resistencias a la tracción. Además, se tomó una muestra para la observación de micro - estructuras de metal de cada tubo de acero y una sección transversal perpendicular a la dirección del eje de la tubería se sometió a un pulido mecánico. Después de pulir con esmeril y pulidor, se confirmó usando el grabador Nital que la muestra tenía una martensita revenida, o una estructura mixta formada por martensita revenida y bainita revenida. A continuación, después de pulir nuevamente, usando un grabador picral, se hicieron aparecer los límites de grano de cristal y anteriores en una superficie de observación. Posteriormente, el número de tamaño de grano de cristal de austenita anterior en la superficie de observación se determinó de conformidad con la norma ASTM E112,

En un ensayo de fatiga por presión interna, cada tubo de acero se cortó para que tuviese una longitud de 200 mm, se sometió a un trabajo de extremo de tubería para convertirlo en una muestra de tubería de inyección para el ensayo de fatiga por presión interna. El ensayo de fatiga es un ensayo que se realiza llenando, desde una cara extrema de una muestra, el interior de la muestra con un aceite hidráulico, como medio de presión, con la otra cara extrema sellada, y fluctuando repetidamente la presión interna de una porción llena en el rango de una presión interna máxima a una mínima de 18 MPa, de manera que la presión interna sigue una onda sinusoidal a lo largo del tiempo. La frecuencia de las fluctuaciones de la presión interna se estableció en 8 Hz. La presión interna crítica se evaluó como la presión interna máxima dentro de la cual no se produce ninguna rotura (fuga) incluso cuando el número de repeticiones alcanza los 10^7 ciclos como resultado del ensayo de fatiga por presión interna.

Los resultados de la evaluación de las granularidades y anteriores, las resistencias a la tracción y las presiones internas críticas, y los valores de cálculo de $0,3 \times TS \times \alpha$ también se muestran en la Tabla 5. En la Tabla 5, los ensayos Números. 1 a 4 y 6 a 8 son realizaciones ejemplares de la presente invención que satisfacen la definición en la presente invención. Por el contrario, el ensayo Número 5 es un ejemplo comparativo en el que la composición química del acero satisface la definición en la presente invención, pero el número de tamaño de grano de austenita anterior del acero cae fuera del rango definido en la presente invención. Además, los ensayos Números. 9 a 13 son un ejemplo de referencia o ejemplos comparativos en los que las composiciones químicas de los aceros se encuentran fuera del rango definido en la presente invención.

De la Tabla 5, en los ensayos Números. 5 y 10 a 13 que son ejemplos comparativos en los que las granularidades y anteriores fueron menores que 10,0, se produjo una fractura por fatiga en la superficie interna de la tubería y, por lo tanto, las presiones internas críticas estuvieron en niveles menores a $0,3\alpha$ veces la resistencia a la tracción. Esto indica que una granularidad y previa pequeña, es decir, los granos gruesos, causan una disminución en la resistencia a la fatiga de una estructura matricial, lo que disminuye una presión interna crítica incluso cuando las inclusiones no sirven como un punto de origen. Por el contrario, en todos los ensayos Números 1 a 4 y 6 a 8 que son ejemplos de realización de la presente invención y en el ensayo Número 9 que es un ejemplo de referencia, no se produjo ninguna fractura incluso después de 10^7 ciclos a una presión máxima de 300 MPa, y por lo tanto las presiones máximas fueron de 300 MPa o superiores. Estas se encuentran en niveles más de $0,3\alpha$ veces la resistencia a la tracción.

En lo que respecta al Número 9, es un ejemplo de referencia, puesto que tiene una composición similar a la del acero C en la Tabla 1, existen inclusiones gruesas como se muestra en la Tabla 2 en el Experimento de Referencia 1, aunque su probabilidad es baja. Por esta razón, aunque no se produjo ninguna ruptura en el ensayo de fatiga por presión interna que se ha descrito más arriba, si el ensayo de fatiga por presión interna se realiza en un gran número de muestras a presiones aún mayores, las muestras pueden romperse en tiempos más cortos que en las realizaciones de ejemplo de la presente invención. Esto es evidente a partir de los resultados del experimento de referencia 2 que se ha mencionado más arriba.

APLICABILIDAD INDUSTRIAL

De acuerdo con la presente invención, es posible obtener un tubo de acero para una tubería de inyección de combustible que tenga una resistencia a la tracción de 800 MPa o más, preferiblemente 900 MPa o más, y que sea excelente en resistencia a la fatiga por presión interna. Por lo tanto, el tubo de acero para la tubería de inyección de combustible de acuerdo con la presente invención es adecuadamente aplicable especialmente a una tubería de inyección de combustible para automóviles.

REIVINDICACIONES

1. Un tubo de acero para una tubería de inyección de combustible que tiene una composición química que consiste, en porcentaje en masa, de

- 5 C: 0,12 a 0,27%,
Si: 0,05 a 0,40%,
Mn: 0,3 a 2,0%,
Al: 0,005 a 0,060%,
N: 0,0020 a 0,0080%,
10 Ti: 0,005 a 0,015%,
Nb: 0,015 a 0,045%,
Cr: 0 a 1,0%,
Mo: 0 a 1,0%,
Cu: 0 a 0,5%,
15 Ni: 0 a 0,5%,
V: 0 a 0,15%, y
B: 0 a 0,005%,

siendo el resto Fe e impurezas, y
20 siendo el contenido de Ca, P, S y O en las impurezas.

- Ca: 0,001% o menos,
P: 0,02% o menos,
S: 0,01% o menos, y
25 O: 0,0040% o menos,

y teniendo una micro - estructura metálica que consiste en una estructura martensítica revenida, o una estructura mixta de martensita revenida y bainita revenida, en la que un número de tamaño de grano de austenita anterior determinado de conformidad con ASTM E112 es 10,0 o más, en el que el tubo de acero tiene una resistencia a la tracción de 800 MPa o más, y una presión interna crítica que cumple con la siguiente fórmula (i):

$$IP \geq 0.3 \times TS \times \alpha \quad \dots (i)$$

$$\alpha = [(D/d)^2 - 1] / [0.776 \times (D/d)^2] \quad \dots (ii)$$

35 en la que, en la fórmula anterior (i), IP indica una presión interna crítica (MPa), TS indica una resistencia a la tracción (MPa), y α es un valor representado por la fórmula (ii) anterior, y en la que, en la fórmula anterior (ii), D indica un diámetro externo (mm) del tubo de acero para la tubería de inyección de combustible, y d indica un diámetro interno (mm) del tubo de acero para la tubería de inyección de combustible, y la presión interna crítica es una presión interna máxima (MPa) dentro de la cual no se producen roturas ni fugas después de 10^7 ciclos de fluctuaciones repetitivas de presión interna que siguen una onda sinusoidal a lo largo del tiempo en un ensayo de fatiga por presión interna con una presión interna mínima establecida en 18 MPa.

2. El tubo de acero para la tubería de inyección de combustible de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la composición química contiene, en porcentaje en masa,
45 uno o más elementos seleccionados de entre

- Cr: 0,2 a 1,0%,
Mo: 0,03 a 1,0%,
Cu: 0,03 a 0,5%,
50 Ni: 0,03 a 0,5%,
V: 0,02 a 0,15%, y
B: 0,0003 a 0,005%.

3. El tubo de acero para tubería de inyección de combustible de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que
55 el diámetro externo y el diámetro interno del tubo de acero satisfacen la siguiente fórmula (iii):

$$D/d \geq 1.5 \quad (iii)$$

60 en la que, en la fórmula anterior (iii), D indica el diámetro externo (mm) del tubo de acero para la tubería de inyección de combustible, y d indica el diámetro interno (mm) del tubo de acero para la tubería de inyección de combustible.

4. El tubo de acero para tubería de inyección de combustible de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el contenido de Ti es 0,006% o más, preferiblemente 0,007% o más.
- 5 5. El tubo de acero para tubería de inyección de combustible de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el contenido de Ti es de 0,013% o menos, preferiblemente de 0,012% o menos.
- 10 6. El tubo de acero para tubería de inyección de combustible de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que tiene al menos uno de un diámetro interno de 2,5 mm o más, un grosor de pared de 1,5 mm o más, y un grosor de pared de 20 mm o menos.
- 15 7. El tubo de acero para la tubería de inyección de combustible de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que es un tubo de acero sin soldadura.
8. Una tubería de inyección de combustible que utiliza, como material de partida, el tubo de acero para la tubería de inyección de combustible de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7.
- 20 9. La tubería de inyección de combustible de acuerdo con la reivindicación 8, que tiene cabezales de conexión formados en sus dos porciones extremas.
10. Uso del tubo de acero para la tubería de inyección de combustible de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7 como una tubería de inyección de combustible, preferiblemente para un automóvil.