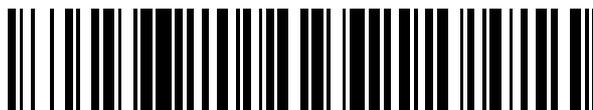


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 542 516**

51 Int. Cl.:

<b>C21D 9/30</b>	(2006.01)	<b>C22C 38/44</b>	(2006.01)
<b>C22C 38/04</b>	(2006.01)	<b>C22C 38/46</b>	(2006.01)
<b>C22C 38/12</b>	(2006.01)		
<b>B21K 1/08</b>	(2006.01)		
<b>B22D 7/00</b>	(2006.01)		
<b>B22D 7/10</b>	(2006.01)		
<b>F16C 3/06</b>	(2006.01)		
<b>C21D 7/13</b>	(2006.01)		
<b>C22C 38/02</b>	(2006.01)		
<b>C22C 38/06</b>	(2006.01)		

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.09.2009 E 09012163 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.07.2015 EP 2169082**

54 Título: **Producto forjado con una composición de acero que contiene el 0,15-0,75 % de C, Si, Mn, Ni, Cr, Mo, V y Al y el cigüeñal fabricado con el mismo**

30 Prioridad:

**30.09.2008 JP 2008255478**

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

**06.08.2015**

73 Titular/es:

**KABUSHIKI KAISHA KOBE SEIKO SHO (100.0%)  
(Kobe Steel Ltd.) 10-26 Wakinohama-cho 2-  
chome Chuo-ku Kobe-shi  
Hyogo 651-8585, JP**

72 Inventor/es:

**ABIKO, TAKASHI;  
NISHIHARA, MICHIO;  
OTSUKI, EIJI;  
HORI, SHUNSUKE;  
SHINOZAKI, TOMOYA y  
DEURA, TETSUSHI**

74 Agente/Representante:

**UNGRÍA LÓPEZ, Javier**

**ES 2 542 516 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

Producto forjado con una composición de acero que contiene el 0,15-0,75 % de C, Si, Mn, Ni, Cr, Mo, V y Al y el cigüeñal fabricado con el misma

5

**Campo de la invención**

La presente invención se refiere a un producto forjado obtenido mediante forja en caliente de un lingote de acero y a un cigüeñal obtenido usándolo, en particular a un producto forjado donde se controla el estado de dispersión de las inclusiones presentes en el acero.

10

Se usa una pieza en movimiento giratorio (un cigüeñal, por ejemplo) para maquinaria, un barco, un generador o similar, como miembro que transfiere la energía desde una fuente impulsora. La pieza en movimiento giratorio se fabrica usando, por ejemplo, un producto forjado obtenido mediante forja en caliente de un lingote de acero fabricado mediante un método de fabricación de lingotes, y son necesarias propiedades de fatiga donde apenas se produzca fallo por fatiga incluso en condiciones de uso severas.

15

Con respecto al acero de bajo contenido en aleación adoptado para un cigüeñal para un barco, "Study on fatigue strength properties of high strength crankshaft material", Journal of the JIME, 2001, Vol. 36, No. 6, p.385-390, describe que (1) una inclusión es susceptible de convertirse en el punto de partida de fallo por fatiga y dicha tendencia se vuelve visible a medida que el acero está más reforzado, (2) a medida que el tamaño de las inclusiones se hace más grande, se reducen las propiedades de fatiga, (3) el material de acero que contiene inclusiones alargadas es susceptible de presentar anisotropía de resistencia a la fatiga, y similares. También se describe que, para mejorar las propiedades de fatiga de un producto forjado, es eficaz hacer que la forma de las inclusiones sea esférica y que su tamaño sea pequeño.

20

25

Sucede que para fabricar un cigüeñal de gran tamaño usado para un barco o similar, naturalmente se requiere un lingote de gran tamaño. Cuando se fabrica un lingote de gran tamaño mediante un método de fabricación de lingotes, se forma una zona de cristal asentado en la parte inferior del lingote (que significa la parte terminal en la dirección de la gravedad). El cristal asentado significa un núcleo cristalino de acero formado sobre la superficie de acero fundido (cara límite entre el material aislante térmico y el inhibidor de la oxidación y el acero fundido) durante y después de que el acero fundido se vierta sobre un molde, se funde desde su origen mediante convección de acero fundido dentro del molde, se divide físicamente, y se asienta en el acero fundido mediante diferencia de densidad con el acero fundido. Mientras el núcleo cristalino se asienta en el acero fundido, una parte de las inclusiones quedan atrapadas en el acero fundido, y las inclusiones se separan en la parte inferior del lingote de acero. La agregación de los cristales asentados y las inclusiones así formadas es la zona de cristal asentado. La formación de la zona de cristal asentado se convierte en causa de deterioro de las propiedades de fatiga en la parte inferior del lingote de acero. La zona de cristal asentado no aparece en un lingote de acero fabricado mediante un método de colado continuo.

30

35

40

Como tecnología para reducir e inhibir la acumulación de inclusiones en la zona de cristal asentado, la solicitud de patente japonesa publicada sin examinar N° S49-35232 divulga que, en la fabricación de acero calmado mediante un método de vertido en la parte inferior o método de vertido en la parte superior, la superficie superior del acero fundido en el molde se ha de cubrir con un agente aislante térmico de alto contenido calórico de tipo combustión temprana durante el vertido del acero fundido o inmediatamente después del vertido del acero fundido.

45

En la solicitud de patente japonesa publicada sin examinar N° S59-178153, se describe que, para que las inclusiones no se concentren y permanezcan en la parte inferior de un lingote de acero, se ha de usar una pieza superior de material aislante térmico antioxidante, la temperatura de vertido del acero fundido se debe realizar en el intervalo del punto de fusión más 75-100 °C, y el 90 % o superior de la pieza superior de material aislante térmico antioxidante se ha de añadir antes de verter el acero fundido o en el 60 % o inferior del tiempo de vertido total.

50

Como se describe en las solicitudes de patente japonesa publicadas sin examinar N° S49-35232 y S 59-178153, para inhibir la formación de la zona de cristal asentado, es eficaz aislar térmicamente la parte superior del lingote de acero (que significa la parte terminal opuesta a la parte inferior); no obstante, la resistencia a la fatiga posiblemente puede variar entre la parte superior y la parte inferior del lingote de acero, y se ha dado un caso en el que no se pudo obtener un producto forjado homogéneo. Además, cuando se mide la resistencia a la fatiga de una posición axial del lingote de acero y de la parte periférica separada de la posición axial en dirección radial, se reconoce una diferencia en la resistencia a la fatiga según la posición de la medida.

55

60

La presente invención se desarrolló considerando dicha circunstancia, y su fin es proporcionar un producto forjado excelente en sus propiedades de fatiga donde la resistencia a la fatiga es alta en las dos piezas terminales del producto forjado y la variación de la resistencia a la fatiga en dirección radial del producto forjado es baja, y un cigüeñal fabricado a partir del producto forjado.

65

El producto forjado en relación con la presente invención que podría resolver los problemas descritos anteriormente es un producto forjado en forma de columna obtenido mediante forja en caliente de un lingote de acero que contiene: C: 0,15-0,75 % (significa % en peso, también de aquí en adelante), Si: 0,1-0,6 %, Mn: 0,3-1,4 %, Ni: 0,1-2 %, Cr: 0,5-2,5 %, Mo: 0,1-0,5 %, V: 0,01-0,20 %, Al: 0,015-0,04 % respectivamente, que satisface: Ti: 0,002 % o inferior, S: 0,0006 % o inferior, N: 0,01 % o inferior, O: 0,002 % o inferior, y el resto que comprende hierro con impurezas inevitables, donde la densidad ( $D_O$ ) de las inclusiones cuyo eje principal supera los 5  $\mu\text{m}$  observadas en la posición axial de una sección perpendicular a la dirección axial del producto forjado es de 70 nos/cm<sup>2</sup> o inferior, y, cuando el radio del producto forjado se hace R, la relación de la densidad ( $D_R$ ) de las inclusiones cuyo eje principal supera los 5  $\mu\text{m}$  observadas en la posición R/3 respecto a la posición axial en la dirección radial y la densidad  $D_O$  satisface la desigualdad (1) siguiente en ambas caras de producto forjado.

$$0,5 \leq D_R/D_O \leq 1,50 \dots (1)$$

Se prefiere que el producto forjado tenga forma cilíndrica circular.

La presente invención también incluye un cigüeñal fabricado a partir del producto forjado. El diámetro del eje del cigüeñal puede ser de 200 mm o superior, y el cigüeñal se puede usar para un motor diésel para la generación de energía o para un barco, por ejemplo.

De acuerdo con la presente invención, entre los factores que afectan a las propiedades de fatiga de un producto forjado, se contemplan inclusiones gruesas cuyo eje principal supera los 5  $\mu\text{m}$  y están dispersas de forma homogénea en el producto forjado; por lo tanto se puede proporcionar un producto forjado excelente en sus propiedades de fatiga, donde la resistencia a la fatiga del producto forjado es elevada, y la diferencia de la resistencia a la fatiga es baja entre la posición axial del producto forjado y la parte periférica separada de la posición axial en dirección radial. Un cigüeñal fabricado a partir del producto forjado es excelente en sus propiedades de fatiga.

La FIG. 1 es una gráfica que muestra la relación entre la relación de  $D_R$  y  $D_O$  ( $D_R/D_O$ ) y la resistencia a la fatiga en la parte superior de un lingote de acero; y

La FIG. 2 es una gráfica que muestra la relación entre la relación de  $D_R$  y  $D_O$  ( $D_R/D_O$ ) y la resistencia a la fatiga en la parte inferior de un lingote de acero.

Como se ha divulgado en las solicitudes de patente japonesa publicadas sin examinar N° S49-35232 y S59-178153, se sabía que incluso si la zona de cristal asentado formada en la parte inferior del lingote de acero se reducía mejorando el aislamiento térmico de la parte superior del lingote de acero, la resistencia a la fatiga variaba entre la parte superior y la parte inferior del lingote de acero. Por consiguiente, en el producto forjado obtenido también a partir del lingote de acero, la resistencia a la fatiga variaba entre las dos partes terminales. Además, se sabía que la resistencia a la fatiga también variaba entre la posición axial del producto forjado y la parte periférica separada de la posición axial, y que la diferencia se volvía visible a medida que el producto forjado incrementaba su tamaño.

En estas circunstancias, los presentes inventores han realizado estudios exhaustivos para proporcionar un producto forjado excelente en sus propiedades de fatiga donde la resistencia a la fatiga sea alta en ambas partes terminales del producto forjado e, incluso cuando la resistencia a la fatiga del producto forjado se mide desde la posición axial hacia la dirección radial, la variación de la resistencia a la fatiga sea baja. Como consecuencia, se ha comprobado que si se dispersaban de forma homogénea inclusiones gruesas cuyo eje principal supera los 5  $\mu\text{m}$  en el producto forjado, la resistencia a la fatiga del producto forjado se podría hacer homogénea, y así se ha desarrollado la presente invención. En otras palabras, el producto forjado de acuerdo con la presente invención satisface los requisitos de (A) y (B) descritos a continuación cuando se observa la sección perpendicular a la dirección axial.

(A) La densidad ( $D_O$ ) de las inclusiones cuyo eje principal supera los 5  $\mu\text{m}$  observadas en la posición axial es de 70 nos/cm<sup>2</sup> o inferior.

(B) Cuando el radio del producto forjado se hace R, la relación de la densidad ( $D_R$ ) de las inclusiones cuyo eje principal supera los 5  $\mu\text{m}$  observadas en la posición R/3 respecto a la posición del eje hacia dirección radial y la densidad  $D_O$  satisface la desigualdad (1) siguiente en ambas caras de producto forjado.

$$0,5 \leq D_R/D_O \leq 1,50 \dots (1)$$

Antes de describir cada uno de los requisitos, se describirá la forma del producto forjado de acuerdo que la presente invención. El producto forjado de acuerdo con la presente invención tiene forma de columna con un radio R, y, en esta memoria descriptiva, la posición axial del producto forjado se describe como "posición OR" y la superficie del producto forjado se describe como "posición R". Por consiguiente, la posición R/3 significa la posición separada de la posición axial por la distancia de R/3 hacia la superficie del producto forjado. Además, en esta memoria descriptiva, la posición O (cero) R se denomina "posición axial" y la posición R/3 se denomina "parte periférica". Además, la forma en columna no tiene por qué ser un círculo perfecto en su forma de la sección perpendicular a la dirección axial, sino que puede ser más o menos aplanada, o puede ser de forma poligonal. Se prefiere una forma cilíndrica circular.

[Acerca de (A)]

Como consecuencia del estudio por parte de los presentes inventores, se sabe que, al observar la posición axial del producto forjado, si la densidad ( $D_O$ ) de las inclusiones cuyo eje principal supera los  $5 \mu\text{m}$  era de  $70 \text{ nos/cm}^2$  o inferior, mejoraban las propiedades de fatiga del producto forjado. La razón es que, si la densidad ( $D_O$ ) de las inclusiones en la posición axial del producto forjado supera los  $70 \text{ nos/cm}^2$ , se incrementan las inclusiones gruesas separadas en la posición axial del producto forjado; por lo tanto las inclusiones gruesas se convierten en un punto de partida del fallo por fatiga, se produce el fallo por fatiga en la posición axial, y las propiedades de fatiga del producto forjado se deterioran. Por tanto, la densidad  $D_O$  de las inclusiones debe ser de  $70 \text{ nos/cm}^2$  e inferior, preferentemente de  $60 \text{ nos/cm}^2$  o inferior, y más preferentemente de  $50 \text{ nos/cm}^2$  e inferior.

Las inclusiones son susceptibles de separarse en la posición axial del producto forjado. La razón radica en el proceso de producción del producto forjado. En otras palabras, debido a que el lingote de acero antes de la forja usado en la fabricación del producto forjado se fabrica mediante colado de acero fundido, el acero fundido solidifica partiendo de la periferia, y la posición axial (parte central) del lingote de acero solidifica la última. Por tanto, la densidad de las inclusiones en la posición axial es susceptible de volverse más alta que la densidad de las inclusiones en la parte periférica debido a que existe la influencia de la separación positiva en la parte superior del lingote de acero y la formación de la zona de cristal asentada en la parte inferior. Esta tendencia se vuelve visible a medida que se incrementa el tamaño (radio) del lingote de acero.

El límite inferior de la densidad  $D_O$  de las inclusiones cuyo eje principal supera los  $5 \mu\text{m}$  en la posición axial del producto forjado puede estar en el intervalo que satisface la desigualdad (1) descrita a continuación; no obstante, si la densidad  $D_O$  en la posición axial del producto forjado se vuelve excesivamente baja y es muy inferior a  $40 \text{ nos/cm}^2$ , las inclusiones restantes se separan en la parte periférica. En consecuencia, las propiedades de fatiga se deterioran en la parte periférica. Por tanto, la densidad  $D_O$  de las inclusiones en la posición axial del producto forjado preferentemente es de  $40 \text{ nos/cm}^2$  o superior, más preferentemente de  $50 \text{ nos/cm}^2$  o superior.

[Acerca de (B)]

A pesar de que la densidad  $D_O$  de las inclusiones cuyo eje principal supera los  $5 \mu\text{m}$  en la posición axial del producto forjado está estipulada en (A) descrito anteriormente, las propiedades de fatiga de producto forjado no se pueden mejorar de forma suficiente únicamente reduciendo la densidad  $D_O$ . La razón es que, incluso cuando se restringe la densidad  $D_O$  de las inclusiones gruesas en la posición axial del producto forjado a  $70 \text{ nos/cm}^2$  e inferior, si las inclusiones gruesas están muy presentes en la parte periférica (posición R/3) del producto forjado, las inclusiones gruesas separadas en la parte periférica se convierten en el punto de partida del fallo por fatiga, se produce el fallo por fatiga, y las propiedades de fatiga del producto forjado total se deterioran. Por ejemplo, si se reduce la densidad  $D_O$  de las inclusiones gruesas en la posición axial fuera de las inclusiones gruesas cuyo eje principal supera los  $5 \mu\text{m}$  incluidas en el producto forjado, por contra se incrementa la densidad  $D_R$  de las inclusiones gruesas en la parte periférica. Por tanto, se deteriora el equilibrio de dispersión de las inclusiones gruesas en la dirección radial y se deterioran las propiedades de fatiga del producto forjado total.

En consecuencia, en el producto forjado de acuerdo con la presente invención, cuando el radio se hace R y se mide la densidad ( $D_R$ ) de las inclusiones cuyo eje principal supera los  $5 \mu\text{m}$  observadas en la posición R/3 respecto a la posición axial hacia la dirección radial, la relación de la densidad  $D_R$  y densidad  $D_O$  es necesaria para satisfacer la desigualdad (1) siguiente.

$$0,5 \leq D_R/D_O \leq 1,50 \dots (1)$$

Si el valor  $D_R/D_O$  es inferior a 0,5, las inclusiones gruesas están presentes de forma desigual en la posición axial del producto forjado, y las propiedades de fatiga en la posición axial se deterioran. Por tanto, a pesar de que las propiedades de fatiga en la parte periférica mejoran, las propiedades de fatiga del producto forjado total se deterioran. En consecuencia, el valor  $D_R/D_O$  debe ser de 0,5 o superior, preferentemente de 0,6 o superior, y más preferentemente de 0,7 o superior. Por otra parte, si el valor  $D_R/D_O$  supera 1,50, las inclusiones gruesas están presentes de forma desigual en la parte periférica del producto forjado y las propiedades de fatiga de la parte periférica se deterioran. Por tanto, a pesar de que las propiedades de fatiga en la posición axial mejoran, las propiedades de fatiga del producto forjado total se deterioran. En consecuencia, el valor  $D_R/D_O$  debe ser de 1,50 o inferior, preferentemente de 1,4 o inferior, y más preferentemente de 1,3 o inferior.

Los requisitos de (A) y (B) se satisfacen en ambas caras terminales del producto forjado. Si la densidad ( $D_O$ ) de las inclusiones cuyo eje principal supera los  $5 \mu\text{m}$  observadas en la posición axial es de  $70 \text{ nos/cm}^2$  o inferior y la relación de la densidad ( $D_R$ ) de inclusiones cuyo eje principal supera los  $5 \mu\text{m}$  observadas en la posición R/3 desde la posición axial hacia la dirección radial y la densidad  $D_O$  satisface la desigualdad (1) en las caras terminales de la parte superior y la parte inferior del producto forjado, esto indica que las inclusiones gruesas están dispersas de forma homogénea tanto en dirección vertical como en dirección radial del producto forjado; por lo tanto la variación de la resistencia a la fatiga en la posición axial y en la posición periférica es baja y las propiedades de fatiga del producto forjado total mejoran.

La densidad de las inclusiones en la posición axial y la parte periférica del producto forjado se puede medir usando, por ejemplo, un microscopio electrónico de barrido y un EPMA. La densidad de las inclusiones se puede calcular haciendo una inclusión de un objeto de observación de elementos objeto de análisis de Al, S, Mn, Ti, Si, O, N, Mg, Ca, haciendo óxido, sulfuro, nitruro de estos elementos o inclusiones de compuestos que contienen cualquiera de ellos, midiendo el número de inclusiones cuyo eje principal supera los 5  $\mu\text{m}$  fuera de las inclusiones observadas, y dividiéndolo por el área del campo de observación.

En la presente invención, el tamaño de la inclusión del objeto de observación debe ser uno cuyo eje principal supere los 5  $\mu\text{m}$ . La razón se debe a que se considera que inclusiones finas cuyo eje principal sea de 5  $\mu\text{m}$  o inferior difícilmente se convierten en el punto de partida de un fallo por fatiga; por lo tanto, incluso si se separan en la posición axial y la parte periférica, no afectan mucho a las propiedades de fatiga del producto forjado.

Para controlar adecuadamente el equilibrio de densidad de las inclusiones gruesas en la posición axial la parte periférica de producto forjado, para reducir las inclusiones en la parte inferior del lingote de acero, después de que el acero fundido se haya colado en un molde, el acero fundido se solidifica mientras que la parte superior del lingote de acero se aísla térmicamente, a continuación se corta una parte de la parte inferior del lingote de acero y se elimina, y después de determinar el estado de distribución de las inclusiones en la parte superior del lingote de acero, se puede cortar y eliminar una parte de la parte superior del lingote de acero. A medida que se incrementa la cantidad de descarte en la parte inferior del lingote de acero y la parte superior del lingote de acero, se pueden eliminar con mayor seguridad la parte de la zona de cristal asentada en la parte inferior del lingote de acero y la parte en la parte superior del lingote de acero donde las inclusiones gruesas coagulan; no obstante, a medida que se incrementa la cantidad de descarte, el rendimiento disminuye y los costes se incrementan.

Por tanto, en la presente invención, para el material forjado obtenido mediante la forja del lingote de acero fabricado mediante un método de fabricación de un lingote, la cantidad de descarte procedente de la parte terminal se puede determinar de manera que la densidad ( $D_O$ ) de las inclusiones cuyo eje principal supera los 5  $\mu\text{m}$  observadas en la posición axial sea de 70 nos/cm<sup>2</sup> o inferior y el valor  $D_R/D_O$  entre dentro del intervalo de 0,5-1,50. Más específicamente, en primer lugar, la parte terminal del material forjado se corta en varias posiciones, se mide la densidad de las inclusiones cuyo eje principal supera los 5  $\mu\text{m}$  en cada cara de corte, y se mide el peso de una parte cortada cuando el material forjado se corta de manera que la densidad de las inclusiones sea de 70 nos/cm<sup>2</sup> o inferior y el valor  $D_R/D_O$  entre dentro del intervalo de 0,5-1,50. A continuación, en el corte del material forjado, se puede determinar la posición de corte de acuerdo con el diámetro y la gravedad específica del material forjado de manera que la parte de corte del material forjado alcance el peso.

Por otra parte, para dispersar inclusiones gruesas de manera que la relación de la densidad ( $D_R$ ) de las inclusiones cuyo eje principal supera los 5  $\mu\text{m}$  observadas en la parte periférica y la densidad  $D_O$  satisfice la desigualdad (1), se puede mejorar el aislamiento térmico de la parte superior del lingote de acero (elevador) inmediatamente después de completar el colado. Esto significa que al aumentar el aislamiento térmico del elevador, se puede inhibir la formación de un cristal primario mediante solidificación rápida en la parte superior del lingote de acero. Al inhibir la formación de cristal primario, se reduce el cristal asentado, y se puede inhibir la formación de la zona de cristal asentado en la parte inferior del lingote de acero. Como consecuencia, debido a que se inhibe la formación de inclusiones gruesas en la parte inferior del lingote de acero mediante la formación de la zona de cristal asentado, las inclusiones gruesas se depositan de forma dispersa y homogénea en la parte periférica sin separarse además en la posición axial.

Para mejorar el aislamiento térmico del elevador, el espesor del material aislante térmico colocado en la parte superior del lingote de acero inmediatamente después de completar el colado se hace más grueso en aproximadamente 2-3 veces en comparación con el del caso convencional. En otras palabras, a pesar de que el espesor del material aislante térmico difiere según el tamaño del lingote de acero, el espesor del material aislante térmico que, de forma convencional, era de 60-200 mm se ha de hacer de 150-400 mm. Más específicamente, en la fabricación del lingote de acero de un nivel de 65 t, a pesar de que el espesor del material aislante térmico se hizo de forma convencional de 75 mm aproximadamente, de acuerdo con la presente invención se hace de 350 mm aproximadamente.

El tipo de material aislante térmico que se puede usar en la presente invención no está limitado en particular, y se pueden usar aquellos conocidos de forma pública. Son, por ejemplo, paja, paja carbonizada, material aislante exotérmico, material aislante térmico aislante al calor, material aislante térmico expandible, y similares.

<Composición química del acero>

Como se ha descrito anteriormente, el producto forjado de acuerdo con la presente invención se caracteriza por el control adecuado del estado de dispersión de inclusiones gruesas cuyo eje principal supera los 5  $\mu\text{m}$ , y la composición fundamental del acero no está limitada en particular. No obstante, para satisfacer la resistencia, tenacidad y propiedades de fatiga necesarias para un cigüeñal o similar, es deseable, por ejemplo, satisfacer la composición fundamental descrita a continuación en vista del nivel técnico general del material de acero.

[C: 0,15-0,75 %]

5 El C es un elemento que contribuye a la mejora de la resistencia del producto forjado, y con el fin de asegurar la suficiente resistencia, debe estar contenido en un 0,15 % o superior, preferentemente un 0,30 % o superior, y más preferentemente un 0,34 % o superior. Sin embargo, si el contenido de C es excesivo, la tenacidad del producto forjado se deteriora; por lo tanto, debe ser del 0,75 % o inferior, preferentemente del 0,6 % o inferior, y más preferentemente del 0,5 % o inferior.

[Si: 0,1-0,6 %]

10 El Si actúa como elemento que mejora la resistencia del producto forjado, y con el fin de asegurar la suficiente resistencia, debe estar contenido en un 0,1 % o superior, preferentemente un 0,15 % o superior, más preferentemente un 0,20 % o superior, y aún más preferentemente un 0,25 % o superior. Sin embargo, si el contenido de Si es excesivo, la separación en V invertida se vuelve visible y se hace difícil de obtener un lingote de acero limpio; por lo tanto, debe ser del 0,6 % o inferior, preferentemente del 0,4 % o inferior, y más preferentemente del 0,35 % o inferior.

[Mn: 0,3-1,4 %]

20 El Mn es un elemento que contribuye a la mejora de la templabilidad y el aumento de la resistencia, y con el fin de asegurar una templabilidad y una resistencia suficientes, debe ser del 0,3 % o superior, preferentemente del 0,8 % o superior, y más preferentemente del 0,9 % o superior. Sin embargo, si el contenido de Mn es excesivo, promueve la separación en V invertida; por lo tanto, debe ser del 1,4 % o inferior, preferentemente del 1,2 % o inferior, y más preferentemente del 1,1 % o inferior.

25 [Ni: 0,1-2 %]

30 El Ni es un elemento útil como elemento de mejora de la tenacidad y debe estar contenido en un 0,1 % o superior, preferentemente un 0,2 % o superior. Sin embargo, si el contenido de Ni es excesivo, el coste se incrementa; por lo tanto debe ser del 2 % o inferior, preferentemente del 1,75 % o inferior.

[Cr: 0,5-2,5 %]

35 El Cr es un elemento eficaz en la mejora de la templabilidad y el aumento de la tenacidad, y dichas actividades se pueden realizar al contener Cr en un 0,5 % o superior, preferentemente un 0,7 % o superior, más preferentemente un 1 % o superior, incluso más preferentemente un 1,75 % o superior. Sin embargo, si el Cr está contenido en exceso, se promueve la separación en V invertida y se hace difícil la fabricación de un lingote de acero limpio; por lo tanto, debe ser del 2,5 % o inferior, preferentemente del 2,0 % o inferior.

40 [Mo: 0,1-0,5 %]

45 El Mo es un elemento que actúa eficazmente para mejorar la templabilidad, la resistencia y la tenacidad, y con el fin de ejercer estas acciones, debe estar contenido en un 0,1 % o superior, preferentemente un 0,2 % o superior, y más preferentemente un 0,25 % o superior. Sin embargo, debido a que el coeficiente de distribución en equilibrio del Mo es bajo y el Mo provoca fácilmente microsegregación (segregación normal), el Mo debe ser del 0,5 % o inferior, preferentemente del 0,35 % o inferior.

[V: 0,01-0,20 %]

50 El V es un elemento útil para reforzar al mejorar el depósito y el perfeccionamiento de la estructura. Para ejercer dichas acciones, debe estar contenido en un 0,01 % o superior, preferentemente un 0,035 % o superior. Sin embargo, incluso si está contenido en exceso, las acciones descritas anteriormente se saturan, lo que resulta en una pérdida económica; por lo tanto, debe ser del 0,20 % o inferior, preferentemente del 0,17 % o inferior, y más preferentemente del 0,15 % o inferior.

55 [Al: 0,015-0,04 %]

60 El Al actúa eficazmente como elemento desoxidante en un proceso de fabricación del acero y también actúa eficazmente para la resistencia del acero al agrietamiento. Por lo tanto, el Al debe estar contenido en un 0,015 % o superior, preferentemente un 0,02 % o superior. Sin embargo, si aumenta el contenido de Al, se forma  $Al_2O_3$  como inclusiones, y las inclusiones se separan y coagulan en solidificación para formar las inclusiones gruesas, y las propiedades de fatiga del producto forjado se deterioran. Por lo tanto, el límite superior debe ser del 0,04 %, preferentemente del 0,03 % o inferior.

65

[Ti: 0,002 % o inferior]

5 El Ti es un elemento que mejora la resistencia al agrietamiento del acero por el hidrógeno mediante la formación de inclusiones finas tales como TiN, TiC, y  $Ti_4C_2S_2$  al dispersarse en acero, y absorber y retener el exceso de hidrógeno en el acero superando el límite de solubilidad en estado sólido. Sin embargo, si el contenido de Ti es excesivo, se forma nitruro grueso como inclusiones y se deteriora la resistencia a la fatiga del producto forjado. Por lo tanto, el Ti debe ser del 0,002 % o inferior.

10 El contenido de Ti se puede controlar, por ejemplo, ajustando la relación de las cantidades de uso de una aleación de Ti con una alta cantidad de impurezas (aleación de baja calidad) y una aleación de Ti con una baja cantidad de impurezas (aleación de alta calidad) en el material auxiliar.

[S: 0,0006 % o inferior]

15 El S es un elemento contenido inevitablemente, y es un elemento que reduce la resistencia a la fatiga del producto forjado al formar sulfuro que es grueso en forma de inclusiones mediante separación en la solidificación. Por lo tanto, el contenido de S debe ser del 0,0006 % o inferior, preferentemente del 0,0005 % o inferior, y más preferentemente del 0,0004 % o inferior.

20 El contenido de S se puede ajustar, por ejemplo, controlando la composición de escorias en la fusión. Más específicamente, el contenido de S en el acero fundido se puede reducir al incrementar la basicidad de las escorias (relación de la concentración de CaO y concentración  $SiO_2$  en la escoria,  $CaO/SiO_2$ , de aquí en adelante se puede hacer referencia como "C/S"). Cuando el contenido de S se ha de reducir, las escorias se pueden mezclar de forma positiva en el acero fundido con el objetivo de promover la reacción entre el acero fundido y las escorias. Por el contrario, cuando el contenido de S se ha de incrementar, la composición de escorias se puede ajustar para así reducir la C/S, y se puede disminuir la agitación del acero fundido con el fin de inhibir la reacción entre el acero fundido y las escorias. Con respecto a las medidas para mezclar las escorias en el acero fundido, es muy eficaz realizar un tratamiento de desgasificación al vacío. En particular, el tratamiento mediante un aparato de desgasificación en cucharón se convierte en un medio muy eficaz cuando el contenido de S se ha de reducir debido a que las escorias y el acero fundido se pueden agitar simultáneamente. Además, al realizar de forma apropiada este tratamiento de desgasificación al vacío más de una vez, se puede reducir adicionalmente el contenido de S.

25 Como medidas de apoyo adicionales, el contenido de S en el acero se puede reducir incrementando la relación de la concentración de CaO y la concentración de  $Al_2O_3$  ( $CaO/Al_2O_3$ , de aquí en lo sucesivo se puede hacer referencia como "C/A") de las escorias. Por el contrario, cuando se ha de incrementar el contenido de S, la composición de la escoria se puede ajustar a fin de reducir "C/S" y/o "C/A".

[N: 0,01 % o inferior]

30 El N es un elemento contenido inevitablemente y es un elemento que forma nitruro grueso por separación en la solidificación y reducción de la resistencia a la fatiga del producto forjado. Por lo tanto, el contenido de N debe ser del 0,01 % o inferior, preferentemente del 0,007 % o inferior, y más preferentemente del 0,005 % o inferior.

35 El contenido de N se puede ajustar controlando el tiempo del tratamiento de desgasificación al vacío en la fusión, y el aumento del contenido de N se puede inhibir mediante la prevención de la entrada de aire durante la fabricación del lingote.

[O: 0,002 % o inferior]

40 El O (oxígeno) es un elemento que forma inclusiones a base de óxido, tales como  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ , MgO, CaO o similares, y que reduce la resistencia a la fatiga del producto forjado. Por lo tanto, es preferible reducir el contenido de O tanto como sea posible, y la cantidad total de oxígeno debe ser del 0,002 % o inferior, preferentemente del 0,0015 % o inferior, y más preferentemente del 0,001 % o inferior.

45 La composición fundamental usada para el producto forjado de acuerdo con la presente invención es como se ha descrito anteriormente, y la composición de equilibrio es esencialmente hierro; sin embargo se permite la inclusión de cantidades ultra bajas de impurezas inevitables.

50 Además, también puede contener positivamente otros elementos adicionales en un intervalo que no influya negativamente en los efectos de acción de la presente invención. Como ejemplos de elementos adicionales sobre los que se permite la adición positiva, se puede citar el B (boro) que tiene un efecto de mejora de la templabilidad y W, Nb, Ta, Cu, Ce, Zr, Te o similares que son elementos que mejoran la solución en estado sólido o elementos que mejoran la deposición. Se pueden añadir solos o se pueden añadir de forma compuesta dos o más tipos de ellos. Es preferible añadir estos elementos aditivos, por ejemplo, con una cantidad total del 0,1 % aproximadamente o inferior.

65

El producto forjado de acuerdo con la presente invención preferentemente se usa para su utilización en la fabricación de un cigüeñal (cigüeñal de tipo integral, en particular). Preferentemente se utiliza para el cigüeñal, en particular, con 200 mm de diámetro o superior para el uso de un motor diésel para la generación de energía o para un barco. El producto forjado de acuerdo con la presente invención se utiliza eficazmente de forma generalizada en el campo industrial de la maquinaria, un barco, un generador y similares, y es adecuado en particular para piezas en las que es necesaria una alta resistencia a la fatiga tales como piezas en movimiento giratorio.

### Ejemplos

10 A pesar de que a continuación se describe la presente invención con mayor detalle en referencia a los ejemplos, la presente invención no está limitada en forma alguna por los ejemplos siguientes y se puede implementar con modificaciones añadidas convenientemente dentro del alcance adaptable a los fines descritos anteriormente y a continuación, y cualquiera de sus formas se debe incluir dentro del ámbito técnico de la presente invención.

15 [Fabricación de acero de ensayo]

Se fabricó acero de ensayo fundiendo acero con la composición química presentada en la Tabla 1 (el resto es hierro con impurezas inevitables) mediante un equipo de tratamiento de acero fundido que tiene una función de calentamiento de arco de electrodo y una función de tratamiento de desgasificación al vacío, fabricando a continuación el lingote mediante un método de vertido por la parte inferior usando el acero fundido, y forjando el lingote de acero. Más específicamente, se vertió el acero fundido, cuya composición se ha ajustado, en un molde de clase 30-64 t (2-4 m de altura total) por un método de fabricación de un lingote mediante vertido por la parte inferior y se coló. Después de completar el colado, se puso material aislante térmico sobre la parte superior del lingote de acero (elevador) y el lingote de acero se mantuvo caliente. El material aislante térmico usado contenía Al metálico como agente exotérmico, y el componente principal era  $Al_2O_3$ . El material aislante térmico era expandible, y se colocó sobre el elevador de manera que su espesor después de la expansión fuese de 80-370 mm. La masa del lingote de acero y el espesor del material aislante térmico después de su expansión se presentan en la Tabla 2 a continuación.

30 Si el espesor del material aislante térmico con respecto a la masa de lingote de acero es similar al del caso convencional, se considera que "no tiene el efecto aislante térmico (x)", y si es más espeso que el del caso convencional, se considera que "tiene el efecto aislante térmico (o)", que se presentan en la Tabla 2 a continuación. Los criterios del espesor del material aislante térmico son los siguientes.

35 {Criterios}

40 Espesor del material aislante térmico para un lingote de acero de 30 t: 150 mm aproximadamente  
 Espesor del material aislante térmico para un lingote de acero de 40 t: 180 mm aproximadamente  
 Espesor del material aislante térmico para un lingote de acero de 50 t: 200 mm aproximadamente  
 Espesor del material aislante térmico para un lingote de acero de 60 t: 300 mm aproximadamente  
 Espesor del material aislante térmico para un lingote de acero de 70 t: 400 mm aproximadamente

45 Después de que el lingote obtenido por solidificación se separase del molde, se calentó a 1200 °C aproximadamente, se forjó en caliente, y se le dio un acabado en un material forjado con una sección de 200-700 mm de diámetro. El forjado en caliente se realizó extendiendo la estructura del lingote de acero mediante una prensa y su conformación en forma de sección transversal circular usando una herramienta dedicada. Partes del material forjado se cortaron de ambos extremos del material forjado obtenido (la parte superior del lingote de acero y la parte inferior de lingote de acero) y se separaron de la parte estructural (producto).

50 La posición de corte del material forjado se presenta en la Tabla 2 a continuación. La posición de corte se presenta mediante un porcentaje de la distancia desde la cara inferior del material forjado (la cara terminal más inferior en dirección a la gravedad) cuando la longitud total del material forjado es del 100 %. En otras palabras, la cara inferior del material forjado se convierte en el 0 % y la cara más superior se convierte en el 100 %.

55 En la parte superior del lingote de acero y en la parte inferior del lingote de acero, el lingote de ensayo se tomó desde la cara de corte del material forjado que se cortó (cara de corte en el lado del producto), y se midieron la densidad de las inclusiones y la resistencia a la fatiga mediante un procedimiento descrito a continuación.

60 [Evaluación del acero de ensayo]

{Medición de la densidad de las inclusiones mediante EDS}

65 En la cara de corte del material forjado cortado de la parte superior del lingote de acero y de la parte inferior de lingote de acero, se tomaron muestras desde la posición axial (posición OR) y de la parte periférica (posición R/3), se embebieron en una resina, se sometieron a un tratamiento de pulido para su inspección microscópica, y se observaron a 400 aumentos mediante microscopio electrónico de barrido.

{Identificación de las inclusiones mediante EDS}

Se tomó una muestra de la posición central de la parte terminal del material forjado con 200-700 mm de diámetro, se embebió en una resina, y se sometió a un tratamiento de pulido para su inspección microscópica, y la sección del  
 5 acero se observó a 100-200 aumentos mediante un microscopio eléctrico de barrido. Con respecto a la inclusión cuyo eje principal supera los 5  $\mu\text{m}$  presente en la zona de observación de 10 mm  $\times$  10 mm de cada muestra, se midió la composición de los componentes usando un EPMA, y se midió el número de inclusiones. Más específicamente, se usó un espectrómetro EDS (espectrómetro de energía dispersiva de rayos X: espectrómetro de rayos X de un tipo de dispersión de energía de rayos X característico, XM-Z0043T fabricado por JEOL Ltd.)  
 10 conectado a un EPMA (JXA-8900RL fabricado por JEOL Ltd.), se fijaron las condiciones de irradiación de un haz de electrones al voltaje de aceleración: 15 kV, corriente de haz:  $1,70 \times 10^{-9}$  A, diámetro del haz: 1  $\mu\text{m}$ , y el análisis cuantitativo se realizó en la posición de gravedad de la inclusión. El tiempo de análisis objetivo (período de tiempo de irradiación de un haz) fue de 10 s por punto, y el tiempo de pausa objetivo fue del 20 %. Como se ha descrito anteriormente, se midió la composición de los componentes de la inclusión, se identificó la inclusión, se midió el  
 15 número de inclusiones, y se calculó el número de inclusiones presentes por unidad de área.

La densidad de las inclusiones cuyo eje principal superaba los 5  $\mu\text{m}$  observadas en la posición axial se hizo  $D_O$ , la densidad de las inclusiones cuyo eje principal superaba los 5  $\mu\text{m}$  observadas en la parte periférica se hizo  $D_R$ , y el resultado de la medición sobre cada una de la parte superior del lingote de acero y la parte inferior del lingote de  
 20 acero se presenta en la Tabla 3 a continuación. Además, se calculó respectivamente la relación de  $D_R$  y  $D_O$  ( $D_R/D_O$ ) en la parte superior del lingote de acero y la parte inferior del lingote de acero, y el resultado se presenta en la Tabla 3 a continuación.

{Resistencia a la fatiga}

25 En la cara de corte del material forjado cortado a partir de la parte superior del lingote de acero y la parte inferior del lingote de acero, se tomó una pieza de ensayo para medir la resistencia a la fatiga a partir de la posición axial (posición OR), y se realizó un ensayo de fatiga por flexión giratoria en las condiciones descritas a continuación.

30 Pieza de ensayo: Una pieza de ensayo lisa con un diámetro de 10 mm  
 Método de ensayo: ensayo de fatiga por flexión giratoria (relación de tensión = -1, velocidad: 3600 rpm)  
 Método de evaluación de la resistencia a la fatiga:

Método diferencial

35 Tensión diferencial:

20 MPa

40 Número de piezas de ensayo:

5 piezas cada una

Resistencia a la fatiga de cada pieza de ensayo = (tensión de ruptura) - (tensión diferencial)

45 La resistencia a la fatiga se midió usando 5 piezas de ensayo tomadas respectivamente del material forjado cortado de la parte superior del lingote de acero y la parte inferior del lingote de acero, y el valor promedio de la medición resultante se presenta en la Tabla 3 a continuación. Además, se calculó la diferencia de la resistencia a la fatiga de la parte superior del lingote de acero y la resistencia a la fatiga de la parte inferior del lingote de acero y se presenta  
 50 en la Tabla 3.

Como resulta evidente de la Tabla 3, en los números 21-29 que satisfacen los requisitos estipulados en la presente invención, la diferencia de la resistencia a la fatiga de la parte superior del lingote de acero y la parte inferior del lingote de acero es baja, la cual se encuentra dentro de 50 MPa. Por otra parte, en los números 1, 4-7, 9-12, 14, 15,  
 55 18-20 que no satisfacen los requisitos estipulados en la presente invención, la diferencia de la resistencia a la fatiga de la parte superior del lingote de acero y la parte inferior del lingote de acero es grande. Además, a pesar de que los números 2, 3, 8, 13, 16, 17 son los ejemplos que no satisfacen los requisitos estipulados en la presente invención, la diferencia de la resistencia a la fatiga de la parte superior del lingote de acero y la parte inferior del lingote de acero es pequeña, la cual se encuentra dentro de 50 MPa. Sin embargo, en los números 2, 3, 16, 17, se forman muchas inclusiones gruesas en la posición axial ( $D_O$ ) en la parte superior del lingote de acero; por lo tanto, la propia  
 60 resistencia a la fatiga es baja. En los números 8 y 13, el valor de  $D_R/D_O$  en la parte inferior del lingote de acero no se pudo controlar de forma adecuada; por lo tanto, la resistencia a la fatiga en la parte inferior del lingote de acero es baja.

65 A continuación, en la FIG. 1 se presenta la relación entre la relación de  $D_R$  y  $D_O$  ( $D_R/D_O$ ) en la parte superior del lingote de acero y la resistencia a la fatiga en la parte superior del lingote de acero. En la FIG. 1,  $\blacklozenge$  representa los

## ES 2 542 516 T3

resultados de los números 1-20 de la Tabla 3 y □ representa los resultados de los números 21-29 de la Tabla 3, respectivamente. Como se desprende de la Tabla 3 y la FIG. 1, se sabe que apenas se puede reconocer la relación correlativa entre la relación de  $D_R$  y  $D_O$  ( $D_R/D_O$ ) y la resistencia a la fatiga en la parte superior del lingote de acero.

- 5 A continuación, en la FIG. 2 se presenta la relación entre la relación de  $D_R$  y  $D_O$  ( $D_R/D_O$ ) en la parte inferior del lingote de acero y la resistencia a la fatiga en la parte inferior del lingote de acero. En la FIG. 2, ◆ representa los resultados de los números 1-20 de la Tabla 3 y □ representa los resultados de los números 21-29 de la Tabla 3, respectivamente. Como se desprende de la Tabla 3 y la FIG. 2, se sabe que la resistencia a la fatiga se puede mejorar controlando la relación de  $D_R$  y  $D_O$  ( $D_R/D_O$ ) en el intervalo de 0,5-1,50 en la parte inferior del lingote de acero.

10

No.	Composición de los componentes (% en peso)											
	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	V	Al	Ti	S	N	O
1	0,41	0,24	1,00	0,22	2,03	0,25	0,06	0,02	0,0011	0,0006	0,0060	0,0007
2	0,45	0,32	1,08	0,23	2,07	0,29	0,06	0,02	0,0009	0,0006	0,0072	0,0007
3	0,32	0,29	0,60	1,61	1,60	0,24	0,15	0,03	0,0006	0,0006	0,0067	0,0006
4	0,45	0,26	0,65	1,65	1,83	0,31	0,18	0,02	0,0007	0,0005	0,0072	0,0007
5	0,43	0,24	0,63	1,62	1,65	0,28	0,17	0,03	0,0005	0,0006	0,0058	0,0006
6	0,48	0,30	0,67	1,65	1,70	0,31	0,19	0,02	0,0014	0,0006	0,0072	0,0005
7	0,41	0,25	0,94	0,41	2,13	0,33	0,09	0,03	0,0005	0,0005	0,0050	0,0005
8	0,44	0,25	0,65	1,65	1,70	0,31	0,18	0,02	0,0006	0,0005	0,0076	0,0005
9	0,40	0,27	0,91	0,22	2,14	0,28	0,13	0,03	0,0007	0,0005	0,0055	0,0005
10	0,44	0,27	0,67	1,62	1,69	0,29	0,18	0,02	0,0005	0,0005	0,0060	0,0006
11	0,44	0,25	1,01	0,22	2,02	0,27	0,11	0,03	0,0006	0,0005	0,0084	0,0005
12	0,42	0,24	1,02	0,22	2,05	0,26	0,10	0,03	0,0005	0,0005	0,0073	0,0005
13	0,46	0,33	1,08	0,23	2,07	0,30	0,06	0,02	0,0005	0,0005	0,0066	0,0006
14	0,46	0,27	0,97	0,43	2,09	0,33	0,10	0,02	0,0007	0,0005	0,0062	0,0005
15	0,53	0,28	0,94	0,41	2,13	0,33	0,09	0,03	0,0010	0,0006	0,0050	0,0005
16	0,48	0,25	0,97	0,42	2,08	0,33	0,09	0,02	0,0006	0,0007	0,0062	0,0005
17	0,42	0,22	0,95	0,42	2,08	0,31	0,09	0,02	0,0005	0,0005	0,0075	0,0005
18	0,41	0,23	0,65	1,65	1,71	0,29	0,18	0,02	0,0007	0,0005	0,0501	0,0005
19	0,43	0,25	0,63	1,59	1,66	0,30	0,17	0,02	0,0006	0,0006	0,0052	0,0005
20	0,46	0,27	0,95	0,43	2,12	0,34	0,09	0,04	0,0008	0,0009	0,0058	0,0005
21	0,45	0,24	0,91	0,39	2,00	0,29	0,08	0,03	0,0005	0,0006	0,0062	0,0005
22	0,42	0,27	0,88	0,41	1,95	0,29	0,08	0,04	0,0005	0,0006	0,0044	0,0007
23	0,45	0,26	0,90	0,40	2,01	0,32	0,09	0,03	0,0007	0,0005	0,0045	0,0005
24	0,40	0,22	0,93	0,36	1,98	0,29	0,08	0,04	0,0005	0,0005	0,0048	0,0005
25	0,43	0,23	0,92	0,38	2,01	0,30	0,08	0,03	0,0005	0,0005	0,0058	0,0006
26	0,45	0,25	0,58	1,61	1,61	0,38	0,15	0,03	0,0006	0,0005	0,0069	0,0006
27	0,42	0,24	1,01	1,62	2,05	0,40	0,07	0,02	0,0005	0,0005	0,0067	0,0005
28	0,45	0,25	0,92	0,37	1,99	0,29	0,08	0,03	0,0006	0,0006	0,0045	0,0005
29	0,37	0,27	0,61	1,61	1,61	0,26	0,16	0,03	0,0009	0,0004	0,0039	0,0004

[Tabla 2]

No.	Masa de lingote de acero (ton)	Espesor del material aislante térmico (mm)	Efecto aislante térmico	Posición de corte	
				Parte superior	Parte inferior
1	45	90	X	92 %	8 %
2	60	160	X	92 %	12 %
3	32	80	X	90 %	14 %
4	65	180	X	81 %	5 %
5	65	170	X	76 %	8 %
6	65	180	X	78 %	10 %

ES 2 542 516 T3

No.	Masa de lingote de acero (ton)	Espesor del material aislante térmico (mm)	Efecto aislante térmico	Posición de corte	
				Parte superior	Parte inferior
7	65	200	X	85 %	4 %
8	53	120	X	75 %	21 %
9	57	150	X	71 %	16 %
10	65	200	X	80 %	15 %
11	60	150	X	85 %	5 %
12	65	180	X	88 %	8 %
13	42	90	X	88 %	16 %
14	47	100	X	88 %	12 %
15	65	180	X	85 %	17 %
16	47	90	○	91 %	10 %
17	65	160	○	86 %	10 %
18	60	140	○	87 %	2 %
19	47	110	○	84 %	4 %
20	53	110	○	81 %	1 %
21	47	180	○	90 %	7 %
22	65	370	○	88 %	2 %
23	47	200	○	82 %	5 %
24	65	380	○	79 %	5 %
25	60	320	○	83 %	1 %
26	60	290	○	78 %	8 %
27	65	360	○	82 %	12 %
28	60	270	○	80 %	13 %
29	30	160	○	84 %	13 %

[Tabla 3]

Nos.	Densidad de inclusiones (nos/cm <sup>2</sup> )				D <sub>R</sub> /D <sub>O</sub>		Resistencia a la fatiga (MPa)		
	D <sub>O</sub>		D <sub>R</sub>		Parte superior	Parte inferior	Parte superior	Parte inferior	Diferencia entre la parte superior y la parte inferior
	Parte superior	Parte inferior	Parte superior	Parte inferior					
1	56	89	0	0	0	0	484	404	80
2	80	77	0	0	0	0	452	408	44
3	72	58	0	0	0	0	456	424	32
4	67	79	0	0	0	0	472	408	64
5	57	80	0	0	0	0	488	404	84
6	48	76	0	0	0	0	484	420	64
7	60	105	0	0	0	0	488	400	88
8	67	57	77	91	1,15	1,60	452	424	28
9	47	65	55	116	1,17	1,78	468	408	60
10	50	44	65	83	1,30	1,89	492	428	64
11	55	68	74	105	1,35	1,54	472	412	60
12	52	62	28	101	0,54	1,63	476	424	52
13	60	50	79	88	1,32	1,76	480	432	48
14	65	51	48	78	0,74	1,53	484	432	52

ES 2 542 516 T3

Nos.	Densidad de inclusiones (nos/cm <sup>2</sup> )				D <sub>R</sub> /D <sub>O</sub>		Resistencia a la fatiga (MPa)		
	D <sub>O</sub>		D <sub>R</sub>		Parte superior	Parte inferior	Parte superior	Parte inferior	Diferencia entre la parte superior y la parte inferior
	Parte superior	Parte inferior	Parte superior	Parte inferior					
15	58	70	52	111	0,90	1,59	472	404	68
16	105	62	0	0	0	0	456	424	32
17	79	49	0	0	0	0	448	444	4
18	71	93	0	0	0	0	480	416	64
19	63	84	0	0	0	0	476	412	64
20	64	81	0	0	0	0	488	420	68
21	69	66	49	81	0,71	1,22	480	444	36
22	69	66	37	70	0,54	1,06	468	464	4
23	56	50	61	56	1,09	1,12	488	468	20
24	57	61	83	91	1,46	1,49	480	440	40
25	56	61	56	79	1,00	1,30	488	452	36
26	61	44	50	35	0,82	0,80	492	456	36
27	50	44	67	43	1,34	0,98	484	460	24
28	51	50	29	73	0,57	1,46	488	464	24
29	52	67	65	88	1,26	1,31	484	436	48

**REIVINDICACIONES**

1. Un producto forjado en forma de columna obtenido mediante la forja en caliente de un lingote de acero que contiene:

5 C: 0,15-0,75 % (significa % en peso, también de aquí en adelante);  
 Si: 0,1-0,6 %;  
 Mn: 0,3-1,4 %;  
 Ni: 0,1-2 %;  
 10 Cr: 0,5-2,5 %,  
 Mo: 0,1-0,5 %;  
 V: 0,01-0,20 %; y  
 Al: 0,015-0,04 %, que satisface:  
 15 Ti: 0,002 % o inferior;  
 S: 0,0006 % o inferior;  
 N: 0,01 % o inferior; y  
 O: 0,002 % o inferior,  
 20 y el resto que comprende hierro con impurezas inevitables,  
 donde la densidad ( $D_O$ ) de las inclusiones cuyo eje principal supera los 5  $\mu\text{m}$  observadas en la posición axial de una sección perpendicular a la dirección axial del producto forjado es de 70 nos/cm<sup>2</sup> o inferior, y, cuando el radio del producto forjado es R, la relación de la densidad ( $D_R$ ) de las inclusiones cuyo eje principal supera los 5  $\mu\text{m}$  observadas en la posición R/3 respecto a la posición axial hacia la dirección radial y la densidad  $D_O$  satisface la desigualdad (1) siguiente en ambas caras del producto forjado.

25 
$$0,5 \leq D_R/D_O \leq 1,50 \dots (1)$$

2. El producto forjado en forma de columna de acuerdo con la reivindicación 1, que tiene forma cilíndrica circular.

30 3. Un cigüeñal fabricado a partir del producto forjado en forma de columna de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2.

4. El cigüeñal de acuerdo con la reivindicación 3 usado para un motor diésel para la generación de energía o para un barco, donde el diámetro del eje es de 200 mm o superior.

35

FIG. 1

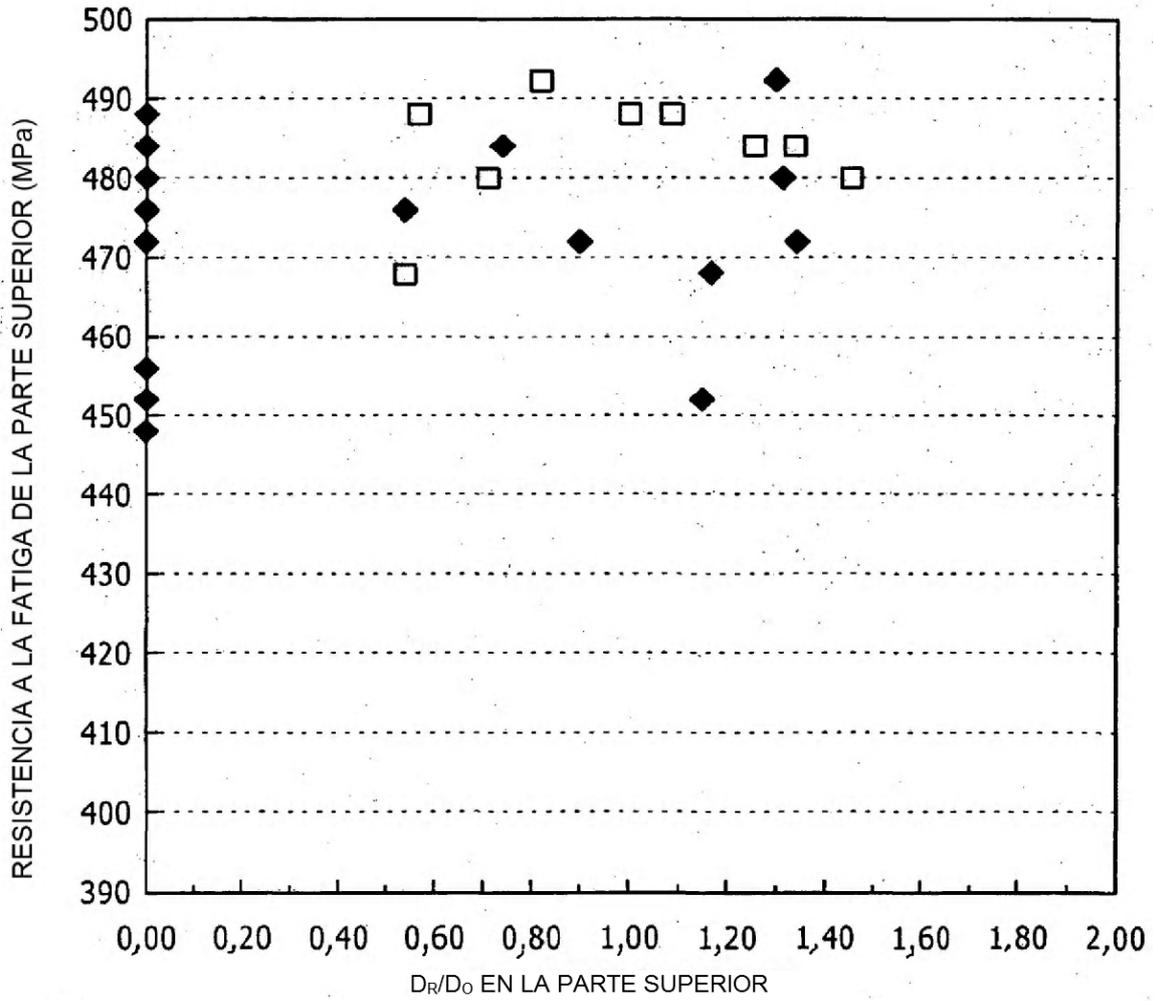


FIG. 2

