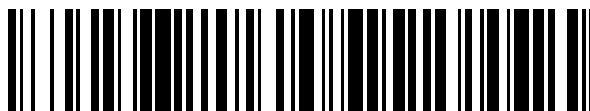


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 674 870**

51 Int. Cl.:

C22C 38/00	(2006.01)	C22C 38/38	(2006.01)
C22C 38/06	(2006.01)		
C22C 38/60	(2006.01)		
C21C 7/04	(2006.01)		
C21C 7/06	(2006.01)		
C22C 38/08	(2006.01)		
C22C 38/02	(2006.01)		
C22C 38/04	(2006.01)		
C22C 38/22	(2006.01)		
C22C 38/34	(2006.01)		

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **24.04.2014 PCT/JP2014/061551**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **30.10.2014 WO14175377**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.04.2014 E 14787606 (4)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.06.2018 EP 2990497**

54 Título: **Acero limpio con bajo contenido de oxígeno y producto de acero limpio con bajo contenido de oxígeno**

30 Prioridad:

24.04.2013 JP 2013091725

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
04.07.2018

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**AONO MICHIMASA;
MIYAMOTO KENICHIRO y
SUZUKI MASANOBU**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 674 870 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

Acero limpio con bajo contenido de oxígeno y producto de acero limpio con bajo contenido de oxígeno

5 Campo técnico de la invención

La presente invención se refiere a acero limpio con bajo contenido en oxígeno y a un producto de acero producido a partir de acero limpio con bajo contenido en oxígeno y, particularmente, a acero limpio con bajo contenido en oxígeno obtenido mediante el moldeo por colada de acero fundido limpio con bajo contenido en oxígeno desoxidado con Al o Al-Si, y un producto de acero limpio con bajo contenido en oxígeno producido a partir de acero limpio con bajo contenido en oxígeno.

Se reivindica la prioridad en la solicitud de patente japonesa nº 2013-091725, presentada el 24 de abril de 2013, cuyo contenido se incorpora en la presente memoria como referencia.

15 Técnica relacionada

Convencionalmente, se ha requerido acero que tenga excelentes características mecánicas como acero para una varilla de acero o un alambón. Por lo general, en el acero disponible para estos usos, la rotura y la rotura por fatiga resultantes de inclusiones no metálicas se producen fácilmente con un aumento de la resistencia. Las inclusiones no metálicas son principalmente inclusiones que contienen Al_2O_3 generadas en el curso de la desoxidación.

En cuanto a las inclusiones que contienen Al_2O_3 , las partículas de las inclusiones basadas en Al_2O_3 forman agrupaciones, o se incorporan componentes tal como CaO, y por lo tanto se reduce el punto de fusión de las partículas de inclusiones. Por consiguiente, las partículas se juntan entre sí y aumentan fácilmente de tamaño. Las inclusiones que tienen un tamaño aumentado debido a la agrupación causan un deterioro en el rendimiento de un acero. En consecuencia, se han examinado diversos métodos para evitar el aumento de tamaño de las inclusiones. Se han propuesto muchos métodos para disminuir el tamaño de las inclusiones mediante la supresión de la formación de agrupaciones debido a la unión de partículas de las inclusiones.

Por ejemplo, los documentos de patente 1 a 6 describen un método para reducir los aglutinantes de FeO de las agrupaciones de alúmina añadiendo una cantidad diminuta de ETR (elemento de tierras raras) a un acero. Este método es eficaz en la reducción de los aglutinantes de FeO, sin embargo, la generación de inclusiones gruesas basadas en CaO- Al_2O_3 causadas por una cantidad diminuta de Ca o CaO inevitablemente mezclada en el acero no se puede evitar solamente mediante la adición de ETR.

El documento de patente 7 describe un método para reducir los aglutinantes de FeO de las agrupaciones de alúmina mediante la adición de Mg. Sin embargo, en este método, de manera similar al método descrito en los documentos de patente 1 a 6, se generan inclusiones gruesas basadas en CaO- Al_2O_3 -MgO por una cantidad diminuta de Ca o CaO y una cantidad diminuta de Mg o MgO que se incorporan inevitablemente procedentes de un material refractario para la afinación.

El documento de patente 8 describe un método para evitar la generación de inclusiones gruesas por desoxidación adicional de acero, en el que "O" (oxígeno disuelto) en el acero se controla y elimina con Al, en orden de Ti y ETR. Sin embargo, en este método, dado que se permite intencionadamente que "O" permanezca en el acero, no se puede evitar un aumento en el grado de oxidación de la escoria en un procedimiento de refinación secundario, y por lo tanto este método no se aplica a la producción de acero limpio con bajo contenido en oxígeno.

El documento de patente 9 describe un método para evitar la generación de inclusiones en forma de agrupaciones que causan grietas por presión mediante desoxidación compleja con Al + Ti + ETR. Sin embargo, en el método descrito en el documento de patente 9, la desoxidación con Ti es esencialmente similar al método descrito en el documento de patente 8 y, por lo tanto, el método descrito en el documento de patente 9 no se puede aplicar a la producción de acero bajo en Ti. Además, el método descrito en el documento de patente 9 no se puede aplicar a la producción de acero de alta limpieza ya que es difícil formar inclusiones intencionadamente que tengan 50% o más de Al_2O_3 bajo un fuerte afinado de desoxidación.

El documento de patente 10 describe un acero que contiene inclusiones de estiramiento basadas en SiO_2 y en el que se agrega ETR como agente desoxidante para disminuir T.O (contenido total de oxígeno en el acero). Sin embargo, en los aceros, que incluye el acero para producir un muelle de suspensión y un cojinete, se agrega esencialmente Al para proporcionar granos cristalinos finos. Por lo tanto, la base de la composición de las inclusiones cambia de SiO_2 a Al_2O_3 debido a la desoxidación con Al. Por consiguiente, la tecnología descrita en el documento de patente 10 no se puede aplicar al acero con Al añadido.

El documento de patente 11 describe un método para mejorar, cuando se moldea por colada acero fundido que contiene ETR, la productividad tras la colada mediante la adición de ETR de acuerdo con "O" y "S" en el acero fundido. Sin embargo, este método es un método para prevenir la generación de sulfuro de ETR cuando se agrega

el ETR, y su objeto no es la modificación de las inclusiones. En consecuencia, el valor esperado de ETR es significativamente alto.

5 El documento de patente 12 describe acero de alta limpieza que tiene excelentes propiedades de resistencia a la fatiga y trabajabilidad en frío. Sin embargo, las características del documento de patente 12 se refieren al ajuste de la composición de inclusiones basadas en óxido en acero desoxidado con Si, y no se refieren a la modificación de inclusiones basadas en Al_2O_3 mediante la adición de ETR.

10 El documento de patente JP 2007 063589A describe una barra de acero o alambón que tiene una composición química que contiene de 0,15 a 0,6% de C, de 0,05 a 0,8% de Si, de 0,2 a 1,5% de Mn, de 0,02 a 0,05% de S, de 0,1 a 2,0% de Cr, de 0,01 a 0,05% de Al, y de 0,004 a 0,025% de N, en donde el resto es Fe e impurezas. P, Ti y O entre las impurezas se producen a $\leq 0,025\%$, $\leq 0,003\%$ y $\leq 0,0015\%$, respectivamente. Se dice que el acero tiene una capacidad superior de forjado en frío y también una excelente maquinabilidad.

15 El documento de patente EP 1 312 689 A1 proporciona un acero para uso estructural de la máquina que es excelente en maquinabilidad, que comprende, en porcentaje en masa, C: 0,1-0,6%, Si: 0,01-2,0%, Mn: 0,2-2,0%, S: 0,005- 0,2%, Al: no más de 0,009%, Ti: no menos de 0,001% pero menos de 0,04%, Ca: 0,0001-0,01%, O (oxígeno): 0,001-0,01%, y N: no más de 0,02%.

20 Documento de Patente

Documento de patente 1, solicitud de patente japonesa no examinada, primera publicación n° 2004-052076
 Documento de patente 2, solicitud de patente japonesa no examinada, primera publicación n° 2004-052077
 Documento de patente 3, solicitud de patente japonesa no examinada, primera publicación n° 2005-002420
 25 Documento de patente 4, solicitud de patente japonesa no examinada, primera publicación n° 2005-002421
 Documento de patente 5, solicitud de patente japonesa no examinada, primera publicación n° 2005-002422
 Documento de patente 6, solicitud de patente japonesa no examinada, primera publicación n° 2005-002425
 Documento de patente 7, solicitud de patente japonesa no examinada, primera publicación n° 2005-002419
 Documento de patente 8, solicitud de patente japonesa no examinada, primera publicación n° 2007-186744
 30 Documento de patente 9, solicitud de patente japonesa no examinada, primera publicación n° 2006-097110
 Documento de patente 10, solicitud de patente japonesa no examinada, primera publicación n° S63-140068
 Documento de patente 11, solicitud de patente japonesa no examinada, primera publicación n° 2005-060739
 Documento de patente 12, solicitud de patente japonesa no examinada, primera publicación n° 2005-029888

35 Descripción de los problemas de la invención a resolver por la invención

Como se describió antes, convencionalmente, se han propuesto diversos métodos para mejorar las características mecánicas de un acero para producir una varilla de acero o un alambón. Sin embargo, básicamente, todos estos métodos son métodos para suprimir la generación de inclusiones o disminuir el tamaño de las inclusiones.

40 En los últimos años, se ha requerido que un acero para producir una varilla de acero o un alambón mejore aún más sus características mecánicas. Con el fin de cumplir con este requisito, es necesario examinar medidas de mejora basadas en un punto de vista diferente al de los métodos convencionales.

45 Con el fin de mejorar las características mecánicas, particularmente, las propiedades de resistencia a la fatiga de un acero para producir una varilla de acero o un alambón, los autores de la invención han llevado a cabo estudios intensivos que se centran en "la modificación de inclusiones", que no se han considerado en los métodos convencionales.

50 La invención está ideada a la vista de las circunstancias descritas anteriormente. Un objeto de la invención es mejorar las características mecánicas suprimiendo la generación de inclusiones y modificando las inclusiones. Específicamente, el objeto es mejorar las características mecánicas, particularmente, las propiedades de resistencia a la fatiga, suprimiendo la generación de inclusiones basadas en $CaO-Al_2O_3$ que se juntan entre sí fácilmente y aumentan de tamaño en el acero desoxidado con Al y en el acero desoxidado con Al-Si que contiene inclusiones de Al_2O_3 , modificando las inclusiones, y controlando la forma de las inclusiones. Además, un objeto de la invención es proporcionar acero en el que se ha resuelto el problema descrito anteriormente, y un producto de acero formado por el acero.

60 Medios para resolver el problema

Los autores de la invención han pensado que para suprimir la generación y engrosamiento de las inclusiones basadas en $CaO-Al_2O_3$ que aumentan fácilmente de tamaño, es eficaz disminuir previamente la cantidad de inclusiones basadas en $CaO-Al_2O_3$ que se generarán suprimiendo la incorporación de Ca o un material que contiene Ca en el acero fundido, y también es eficaz para modificar las inclusiones residuales basadas en $CaO-Al_2O_3$ para formar inclusiones que tengan otra composición de componentes mediante la adición de algunos materiales modificadores de inclusiones. Los autores de la invención han analizado los cambios en las propiedades de las

inclusiones y en las características del acero mediante la adición de diversas sustancias como material de modificación de las inclusiones. Como resultado, han obtenido el siguiente conocimiento.

5 Es decir, se ha descubierto que las inclusiones se pueden modificar añadiendo, al acero fundido en donde T.O (cantidad total de oxígeno) ha disminuido suficientemente por desoxidación con Al o desoxidación con Al-Si mientras se suprime la incorporación de Ca o un material que contiene Ca en el acero fundido, una cantidad mínima de ETR (elementos de tierras raras) tales como La, Ce, Pr, y Nd antes del final de la desoxidación.

10 En la presente memoria, T.O es una cantidad total del oxígeno disuelto en el acero y el oxígeno no disuelto presente en las inclusiones, etc.

15 Específicamente, la generación de inclusiones basadas en $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3$ se suprime al añadir ETR como se describió anteriormente. Además, se ha encontrado que el CaO de las inclusiones basadas en $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3$ generadas en una pequeña cantidad se reduce mediante ETR, y por lo tanto las inclusiones de $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3$ se modifican formando inclusiones basadas en Al_2O_3 y/o basadas en ETR_2O_3 o inclusiones de material compuesto que incluyen estas inclusiones.

La invención se basa en el conocimiento descrito anteriormente y su esencia es como se describe a continuación.

20 (1) De acuerdo con un aspecto de la invención, se proporciona acero limpio con bajo contenido en oxígeno que consiste en los siguientes componentes químicos, en % en masa: 1,20% o menos de C, 3,00% o menos de Si, 16,0% o menos de Mn, 0,05% o menos de P, 0,05% o menos de S, de 0,005% a 0,20% de Al, más de 0% a 0,0005% de Ca, de 0,00005% a 0,0004% de ETR, y más de 0% a 0,003% de T.O; y opcionalmente uno o dos o más de los siguientes componentes químicos: 3,50% o menos de Cr, 0,85% o menos de Mo, 4,50% o menos de Ni, 25
25 0,20% o menos de Nb, 0,45% o menos de V, 0,30% o menos de W, 0,006% o menos de B, 0,06% o menos de N, 0,25% o menos de Ti, 0,50% o menos de Cu, 0,45% o menos de Pb, 0,20% o menos de Bi, 0,01% o menos de Te, 0,20% o menos de Sb, y 0,01% o menos de Mg; siendo el resto Fe e impurezas, en donde el contenido de ETR, el contenido de Ca y el contenido de T.O satisfacen las siguientes expresiones 1 y 2, inclusiones no metálicas que tienen un diámetro máximo predicho de 1 μm a 30 μm medido usando un método estadístico de valores extremos con la condición de que el área de predicción sea de 30.000 mm^2 , y contengan Al_2O_3 y óxido ETR dispersos en el acero, una proporción media del Al_2O_3 en las inclusiones no metálicas que sea mayor que 50%, que el ETR sea uno o dos o más de los elementos de tierras raras La, Ce, Pr, y Nd, y que el acero sea acero desoxidado con Al o acero desoxidado con Al-Si.

35
$$0,15 \leq \text{ETR}/\text{Ca} \leq 4,00 \dots \text{Expresión 1}$$

$$\text{Ca}/\text{T.O} \leq 0,50 \dots \text{Expresión 2}$$

40 (2) El acero limpio con bajo contenido en oxígeno de acuerdo con (1) puede satisfacer además la siguiente Expresión 3.

$$0,05 \leq \text{ETR}/\text{T.O} \leq 0,50 \dots \text{Expresión 3}$$

45 (3) De acuerdo con otro aspecto de la invención, se proporciona un producto de acero limpio con bajo contenido en oxígeno formado a partir del acero limpio con bajo contenido en oxígeno de acuerdo con (1) o (2).

Efectos de la invención

50 De acuerdo con el aspecto de la invención descrito anteriormente, es posible proporcionar acero limpio con bajo contenido en oxígeno que tiene excelentes propiedades de resistencia a la fatiga y en el que las inclusiones no metálicas que contienen Al_2O_3 y óxido de ETR que tienen un punto de fusión elevado y que apenas se unen entre sí se dispersan en el acero. Las inclusiones no metálicas pueden contener sulfuro de ETR, MgO, o tanto sulfuro de ETR como MgO.

Breve descripción de los dibujos

60 La Figura 1 es un diagrama que muestra la vinculación entre un diámetro máximo de grano ($\sqrt{\text{área}} (\mu\text{m})$) de inclusiones no metálicas y resistencia a la fatiga (MPa) (documento no de patente de Yukitaka Murakami, "Metal Fatigue, Effects of Micro-Defects and Inclusions").

La Figura 2 es un diagrama que muestra la vinculación entre un contenido de ETR (ppm) y las estadísticas de valores extremos de piezas de acero (diámetro máximo predicho) (μm).

65 La Figura 3 es un diagrama que muestra la vinculación entre una relación de ETR a Ca y las estadísticas de valores extremos de piezas de acero (μm).

La Figura 4 es un diagrama que muestra la vinculación entre una relación de ETR a T.O y las estadísticas de valores extremos de piezas de acero (μm).

5 La Figura 5 es un diagrama que muestra la vinculación entre la relación de Ca a T.O y las estadísticas de valores extremos de piezas de acero (μm) analizada cuando se añade ETR apropiadamente (0,00005% a 0,0004%), cuando se añade ETR en exceso (mayor que 0,0004%) y cuando no se añade ETR (el contenido de ETR es menor que 0,00005%).

10 La Figura 6 muestra diagramas que indican formas (imágenes electrónicas reflejadas por SEM) de inclusiones no metálicas existentes en el acero. Las figuras 6 (a) y 6 (b) muestran formas de inclusiones no metálicas de los ejemplos de la invención ("nº 2-1" en las tablas 2-1 y 2-2 que se mostrarán más adelante), y las figuras 6 (c) y 6 (d) muestran formas de inclusiones no metálicas de los ejemplos comparativos ("nº 2-2" en las tablas 2-1 y 2-2 que se mostrarán más adelante).

15 La Figura 7 muestra un aspecto de la producción de una pieza de ensayo de fatiga por rodadura radial. La Figura 7 (a) muestra una forma del material de la pieza de ensayo de fatiga por rodadura radial. La Figura 7 (b) muestra un aspecto de la recogida de la pieza de ensayo de fatiga por rodadura radial, y la Figura 7 (c) muestra una forma final de la pieza de ensayo de fatiga por rodadura radial recogida.

20 La Figura 8 es un diagrama que muestra la relación entre las estadísticas de valores extremos de las piezas de acero (diámetro máximo predicho) obtenidas a través de un método estadístico de valores extremos y la vida de rotura más corta obtenida a través de un ensayo de fatiga radial.

25 La Figura 9 es un diagrama que muestra la forma de una pieza de ensayo producida para la evaluación de las propiedades de resistencia a la fatiga por flexión rotativa.

La Figura 10 es un diagrama que muestra la relación entre el esfuerzo máximo y el número de ciclos de esfuerzo a la fatiga, obtenida a través de un ensayo de flexión rotativa de tipo Ono.

30 Descripción de las realizaciones

A continuación, se describirá con detalle el acero limpio con bajo contenido en oxígeno de acuerdo con una realización de la invención (en lo sucesivo, se puede citar como acero limpio con bajo contenido en oxígeno de acuerdo con esta realización).

35 El acero limpio con bajo contenido en oxígeno de acuerdo con esta realización contiene C, Si, Mn, P, y S como elementos fundamentales, además contiene, en % en masa, de 0,005% a 0,20% de Al, más de 0% a 0,0005% de Ca, de 0,00005% a 0,0004% de ETR, y más de 0% a 0,003% de T.O, y si es necesario, contiene otros elementos.

40 En el acero limpio con bajo contenido en oxígeno de acuerdo con esta realización, el contenido de ETR, el contenido de Ca, y el contenido T.O satisfacen las siguientes expresiones 1 y 2, y preferiblemente satisfacen la siguiente Expresión 3. En el acero, las inclusiones no metálicas que tienen un diámetro máximo predicho de $1\ \mu\text{m}$ a $30\ \mu\text{m}$ medido usando un método estadístico de valores extremos con la condición de que el área de predicción sea de $30.000\ \text{mm}^2$, y contenga Al_2O_3 y óxido de ETR dispersos. La relación media de Al_2O_3 en las inclusiones no metálicas es mayor que 50%. El acero limpio con bajo contenido en oxígeno de acuerdo con esta realización es acero desoxidado con Al o acero desoxidado con Al-Si.

$$0,15 \leq \text{ETR}/\text{Ca} \leq 4,00 \dots \text{Expresión 1}$$

50
$$\text{Ca}/\text{T.O} \leq 0,50 \dots \text{Expresión 2}$$

$$0,05 \leq \text{ETR}/\text{T.O} \leq 0,50 \dots \text{Expresión 3}$$

55 En la presente memoria, ETR es uno o dos o más elementos de tierras raras La, Ce, Pr y Nd.

Como se describió anteriormente, en el acero limpio con bajo contenido en oxígeno de acuerdo con esta realización, las inclusiones no metálicas que contienen Al_2O_3 fino y óxido de ETR se dispersan mediante la "supresión de la generación de las inclusiones" y la "modificación de las inclusiones generadas".

60 El efecto de la "supresión de la generación de las inclusiones" se obtiene al controlar el contenido de Al, el contenido de Ca, y el contenido T.O dentro de intervalos predeterminados.

65 El efecto de la "modificación de las inclusiones generadas" se obtiene mediante una cantidad diminuta de ETR de 0,00005% en masa a 0,0004% en masa (que se describirá más adelante con detalle). El efecto de modificación de las inclusiones de ETR se obtiene a través de una acción reductora por ETR con respecto a CaO o CaO de CaO- Al_2O_3 .

Es decir, en el acero limpio con bajo contenido en oxígeno de acuerdo con esta realización, es importante controlar las cantidades de Al, Ca, y T.O a una cantidad de 0,005% en masa a 0,20% en masa, a más de 0% en masa a 0,0005% en masa, y a más de 0% en masa a 0,003% en masa, respectivamente, desde el punto de vista de la supresión de la generación de las inclusiones, y es importante controlar la cantidad de ETR a una cantidad de 0,00005% en masa a 0,0004% en masa desde el punto de vista de la modificación de las inclusiones generadas.

Por lo general, el acero contiene C, Si, Mn, P, S, y, si es necesario, otros elementos con el Fe e impurezas remanentes. En el acero limpio con bajo contenido en oxígeno de acuerdo con esta realización, el efecto de modificación de las inclusiones por ETR descrito anteriormente se muestra sin ser afectado por componentes de acero fundido tales como C, Si, y Mn distintos de Al, Ca, ETR, y T.O. Es decir, no es necesario restringir los contenidos de elementos distintos de Al, Ca, ETR, y T.O. Los autores de la invención han confirmado este hecho por medio de experimentos en una operación real. Las razones para la restricción de los respectivos contenidos se describirán más adelante.

Además, los autores de la invención han descubierto que es importante que Al, Ca, ETR, y T.O existentes en una cantidad diminuta en el acero fundido se controlen no sólo en el contenido de cada elemento, sino también en la relación de contenido con el fin de mantener apropiadamente la acción y reacción mutua entre los elementos y maximizar el efecto de modificación de las inclusiones por ETR. Específicamente, han descubierto que es eficaz controlar la relación de ETR a Ca, la relación de ETR a T.O, y la relación de Ca a T.O como índices de las relaciones de contenido. Las razones para la restricción de estas relaciones de contenido se describirán más adelante.

Primero, se describirán los motivos de la restricción de la composición de componentes (componentes químicos). En lo sucesivo, % significa % en masa. En el acero limpio con bajo contenido en oxígeno de acuerdo con esta realización, los componentes químicos están preferiblemente dentro de los siguientes intervalos en la probeta de acero muestreado de acero fundido antes del moldeo por colada basado en JIS G 0417 o probeta de acero después del moldeo por colada.

Al: de 0,005% a 0,20%

Al es un elemento desoxidante y es un elemento que hace que los granos cristalinos del acero sean más finos. Con el fin de obtener estos efectos, el límite inferior del contenido de Al es de 0,005%. El límite inferior del contenido de Al es preferiblemente de 0,010%.

Cuando Al está presente en el acero fundido, el acero fundido se convierte inevitablemente en acero fundido desoxidado con Al y las inclusiones que contienen Al_2O_3 se generan en el acero fundido. Cuando el contenido de Al en el acero fundido es mayor que 0,20%, las inclusiones se generan en una gran cantidad y permanecen en el acero y se deterioran las propiedades de resistencia a la fatiga del acero. Por lo tanto, el límite superior del contenido de Al es de 0,20%. El límite superior del contenido de Al es preferiblemente de 0,10%.

Ca: mayor que 0% a 0,0005%

El Ca es un elemento desoxidante y es un elemento que forma inclusiones basadas en $CaO-Al_2O_3$ que se unen entre sí fácilmente y tienen un bajo punto de fusión a través de una reacción de desoxidación. Cuando el contenido de Ca en el acero fundido es mayor que 0,0005%, las inclusiones basadas en Al_2O_3 se convierten en inclusiones de material compuesto basados en $CaO-Al_2O_3$ que tienen un bajo punto de fusión y son gruesas. Las inclusiones basadas en $CaO-Al_2O_3$ que se endurecen y permanecen en el acero no se licúan a una temperatura de laminación y permanecen en un estado sólido en el acero. La cantidad de Ca es preferiblemente tan pequeña como sea posible, pero se permite 0,0005% o menos de Ca. En consecuencia, el límite superior del contenido de Ca es de 0,0005%. El límite superior del contenido de Ca es preferiblemente de 0,0003%, y más preferiblemente de 0,00025%.

En el método actual de fabricación de acero en el que se realiza el afino poniendo la escoria que contiene CaO en contacto con una porción superior de acero fundido en una cuchara, el Ca se incorpora inevitablemente en el acero fundido, y por lo tanto el Ca no se puede eliminar completamente del acero. En consecuencia, el límite inferior del contenido de Ca es mayor que 0%.

En el acero limpio con bajo contenido en oxígeno de acuerdo con esta realización, la generación de inclusiones basadas en $CaO-Al_2O_3$ se puede suprimir con la condición de que existe una cantidad diminuta de Ca incorporada inevitablemente en el acero fundido.

En esta realización, el contenido de Ca se ajusta antes de la adición de ETR. El método para suprimir el contenido de Ca a 0,0005% o menos en el curso de la afinación se describirá más adelante.

ETR: de 0,00005% a 0,0004%

El ETR es un elemento importante que modifica las inclusiones basadas en $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3$ al reducir CaO en el acero fundido y CaO en las inclusiones. El acero fundido suficientemente desoxidado con Al o Al-Si contiene de 0,00005% a 0,0004% de ETR (elemento de tierras raras, uno o dos o más de La , Ce , Pr , y Nd) con el fin de obtener el efecto de modificación de las inclusiones. El efecto de modificación de las inclusiones no se puede obtener cuando el contenido de ETR es de 0,00005% o menos.

Cuando el acero fundido contiene más de 0,0004% de ETR, las inclusiones aumentan de tamaño. El mecanismo detallado de esto no está claro, pero se cree que cuando el acero fundido contiene más de 0,0004% de ETR, aparece una fase compuesta que tiene un bajo punto de fusión y una alta concentración de ETR en las inclusiones y potencia la unión de las inclusiones, y por lo tanto las inclusiones aumentan de tamaño. Por consiguiente, el límite superior del contenido de ETR es de 0,0004%. El límite superior del contenido de ETR es preferiblemente de 0,0003%, y más preferiblemente de 0,0002%.

El intervalo del contenido de ETR se basa en el resultado de la evaluación de la relación entre las estadísticas de valores extremos de piezas de acero (diámetro máximo predicho) de las inclusiones no metálicas en el acero limpio con bajo contenido en oxígeno de acuerdo con esta realización calculada a través de un método estadístico de valores extremos y la resistencia a la fatiga.

La Figura 1 es un diagrama que muestra la relación entre un diámetro máximo ($\sqrt{\text{área}} \text{ (}\mu\text{m)}$) de las inclusiones no metálicas y la resistencia a la fatiga (MPa). A partir de la Figura 1, se descubre que la resistencia a la fatiga se mejora con una disminución en el diámetro del grano ($\sqrt{\text{área}} \text{ (}\mu\text{m)}$) de las inclusiones no metálicas.

La composición de componentes y la forma (dimensiones, forma) de las inclusiones no metálicas tienen una gran influencia sobre la resistencia a la fatiga del acero. La composición de componentes y la forma (dimensiones, forma) de las inclusiones no metálicas se describirán más adelante.

La Figura 2 muestra la relación entre un contenido de ETR (ppm) y las estadísticas de valores extremos de piezas de acero (μm). Las estadísticas de valores extremos de piezas de acero (μm) proporcionan un valor estimado (diámetro máximo predicho) del diámetro máximo de las inclusiones existentes en una cantidad de ensayo predeterminada (área de predicción) de un acero, que se obtiene mediante un método estadístico de valores extremos. En esta realización, las estadísticas de valores extremos de piezas de acero se calculan a través de un método estadístico de valores extremos con un área de predicción de 30.000 mm^2 .

De la Figura 2, se descubre que el contenido de ETR en el que las estadísticas de valores extremos de piezas de acero (μm) son de $30 \mu\text{m}$ o menos y es de 4 ppm (0,0004%) o menos. En cualquier análisis de acero esperado, el T.O fue de 5 ppm a 20 ppm y estuvo dentro de un intervalo preferible de esta realización. En el acero limpio con bajo contenido en oxígeno de acuerdo con esta realización, como se describió anteriormente, el límite superior del contenido de ETR es de 0,0004% basándose en la descripción anterior.

Además, de acuerdo con la Figura 2, se muestra el efecto de la modificación de las inclusiones por ETR cuando el contenido de ETR es de 0,5 ppm o mayor. En consecuencia, el límite inferior del contenido de ETR es de 0,00005%. Es decir, el contenido de ETR es de 0,00005% a 0,0004%. El contenido de ETR es preferiblemente de 0,00005% a 0,0003%, y más preferiblemente de 0,00005% a 0,0002%.

T.O: mayor que 0% a 0,003%

El O es un elemento que existe en el acero fundido y forma un óxido. En consecuencia, en la producción de acero que tiene excelentes características mecánicas y en el que una pequeña cantidad de inclusiones están finamente dispersas, se requiere controlar el contenido T.O Además, también es importante controlar el contenido de T.O en la relación con los contenidos de Ca y ETR, que son elementos constituyentes de las inclusiones de óxido, en el acero fundido.

Cuando el contenido T.O del acero fundido es mayor que 0,003%, las inclusiones de óxido se generan en una gran cantidad y permanecen en el acero, y como consecuencia se deterioran las características mecánicas, particularmente, las propiedades de resistencia a la fatiga del acero. Por lo tanto, el contenido T.O es de 0,003% o menos. El contenido T.O es preferiblemente de 0,002% o menos, y más preferiblemente de 0,001% o menos.

Aunque la cantidad T.O es preferiblemente tan pequeña como sea posible, el límite inferior de la misma es mayor que 0% ya que es difícil ajustar la cantidad T.O a 0%.

A continuación, se describirán las razones por las cuales la relación de ETR a Ca y la relación de Ca a T.O están restringidas a 0,15 a 4,00 y a 0,50 o menos, respectivamente, y las razones por las cuales la relación de ETR a T.O es preferiblemente de 0,05 a 0,50 en el acero limpio con bajo contenido en oxígeno de acuerdo con esta realización.

ETR/Ca: de 0,15 a 4,00 ($0,15 \leq \text{ETR/Ca} \leq 4,00$)

El ETR es un elemento que reduce el CaO en las inclusiones que actúa para la modificación de las inclusiones y la supresión del engrosamiento. Por lo tanto, la relación de ETR a Ca, que es una relación del contenido de ETR con respecto al contenido de Ca, es un índice importante para maximizar el efecto de modificación de las inclusiones por ETR.

5 La Figura 3 muestra la vinculación entre la relación de ETR a Ca y las estadísticas de valores extremos de piezas de acero (μm).

10 A partir de la Figura 3, se descubre que las estadísticas de valores extremos de piezas de acero (μm) son de 30 μm o menos cuando la relación de ETR a Ca es de 0,15 a 4,00. Cuando la relación de ETR a Ca es inferior a 0,15, las inclusiones que contienen $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3$ como componente principal no se modifican suficientemente. Como resultado, las inclusiones tienen un diámetro de grano (estadísticas de valores extremos de pieza de acero) superior a 30 μm , y por lo tanto se engrosan y permanecen en el acero, y por lo tanto no mejoran sus características mecánicas.

15 Cuando la relación de ETR a Ca es mayor que 4,00, las estadísticas de valores extremos de piezas de acero (μm) son mayores que 30 μm . Se supone que esto se debe a que, dado que el acero fundido tiene un contenido de ETR excesivamente alto, la concentración de óxido de ETR en las inclusiones que se generan aumenta excesivamente, y por lo tanto la composición de las inclusiones está fuera de un intervalo apropiado. El mecanismo detallado de esto no está claro, pero se presume que cuando la concentración de ETR en las inclusiones aumenta excesivamente, las inclusiones se unen entre sí debido a la generación de una fase de bajo punto de fusión en las inclusiones, y como resultado, las estadísticas de valores extremos de piezas de acero (μm) aumentan.

20 A partir de la descripción anterior, la relación de ETR a Ca es de 0,15 a 4,00, La relación de ETR a Ca es preferiblemente de 0,20 a 3,00, y más preferiblemente de 1,00 a 3,00,

25 $\text{Ca/T.O: } 0,50 \text{ o menos } (\text{Ca/T.O} \leq 0,50)$

30 La relación de Ca a T.O que es una relación del contenido de Ca con respecto al contenido T.O es un índice importante para suprimir la generación y engrosamiento de las inclusiones basadas en $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3$ y para maximizar el efecto de modificación de las inclusiones por ETR.

35 La Figura 5 muestra la vinculación entre la relación de Ca a T.O y las estadísticas de valores extremos de piezas de acero (μm) analizada cuando se agrega ETR apropiadamente (acero con un contenido de ETR de 0,00005% a 0,0004%) cuando se agrega ETR en exceso (acero con ETR contenido mayor que 0,0004%), y cuando no se agrega ETR (el contenido ETR es menor que 0,00005%).

40 A partir de la Figura 5, se descubrió que en el caso de la adición apropiada de ETR indicada por \diamond en la Figura 5, las estadísticas de valores extremos de piezas de acero son de 30 μm o menos cuando la relación de Ca a T.O es de 0,50 o menos. Se presume que el motivo de esto es que cuando la relación de Ca a T.O es de 0,50 o menos, la actividad de CaO de las inclusiones se mantiene en un nivel alto, la reacción de reducción de CaO debidas al ETR se produce fácilmente, y por lo tanto se suprime el engrosamiento de las inclusiones no metálicas.

45 En consecuencia, la relación de Ca a T.O es de 0,50 o menos. La relación de Ca a T.O es preferiblemente de 0,10 a 0,40. Cuando el contenido de Ca es de 0,00025% o menos, la relación de Ca a T.O es preferiblemente de 0,20 o menos con el fin de suprimir el engrosamiento de las inclusiones debida al Ca.

$\text{ETR/T.O: de } 0,05 \text{ a } 0,50 \text{ } (0,05 \leq \text{ETR/T.O} \leq 0,50)$

50 La relación de ETR a T.O es un índice eficaz para mostrar suficientemente el efecto de modificación de las inclusiones debidas a ETR. Por consiguiente, además de la relación de ETR a Ca y la relación de Ca a T.O que se han descrito anteriormente, la relación de ETR a T.O es preferiblemente de 0,05 a 0,50 con el fin de mostrar de forma destacada el efecto de modificación de las inclusiones de ETR.

55 Cuando la relación de ETR a T.O es mayor que 0,50, el CaO que contribuye como agente de unión a la agrupación de las inclusiones y el CaO procedente del $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3$ se reducen inmediatamente después de la adición de ETR, pero una gran cantidad de ETR sin reaccionar (el ETR en sí, es un fuerte elemento desoxidante) permanece y reduce excesivamente el Al_2O_3 . Como resultado, las inclusiones de $\text{ETR}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$ se generan en una gran cantidad y se engrosan. Por lo tanto, no hay una contribución a la mejora en las características mecánicas.

60 Cuando la relación de ETR a T.O es inferior a 0,05, no hay una contribución suficiente a la reducción de CaO y CaO de $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3$ que contribuyen como agente de unión de las inclusiones, y por lo tanto el efecto de modificación de las inclusiones no se muestra suficientemente. En consecuencia, no se obtiene el efecto de dispersar finamente las inclusiones no metálicas en el acero, y por consiguiente no hay contribución a una mejora en las características mecánicas. Por lo tanto, la relación de ETR a T.O es preferiblemente de 0,05 a 0,50, y más preferiblemente de 0,10 a 0,40.

65

La Figura 4 muestra la vinculación entre la relación de ETR a T.O y las estadísticas de valores extremos de piezas de acero en acero que tienen 0,003% o menos de T.O. En la Figura 4, todo el contenido de ETR, la relación de ETR a Ca, la relación de Ca a T.O, etc., están dentro de los intervalos del acero limpio con bajo contenido en oxígeno de acuerdo con esta realización.

5 Cuando el ETR que satisface la relación de ETR a T.O de 0,05 a 0,50, y preferiblemente de 0,10 a 0,40 está presente en el acero fundido limpio con 0,003% o menos de T.O, el ETR reduce suficientemente el CaO que contribuye como agente aglutinante a la agrupación de las inclusiones y el CaO procedente del $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3$ (es decir, el efecto de modificación de las inclusiones se muestra suficientemente). Como resultado, las inclusiones no se agrupan y las inclusiones no metálicas están más finamente dispersas.

15 A continuación, se describirán los contenidos preferidos de C, Si, y Mn, que son elementos fundamentales del acero fundido, y P y S, que son elementos de impureza. Como se describió anteriormente, en el acero limpio con bajo contenido en oxígeno con esta realización, el efecto de modificación de las inclusiones por ETR se muestra sin ser afectado por componentes de acero tales como C, Si, y Mn distintos de Al, Ca, ETR, y T.O. Por lo tanto, no es necesario restringir el contenido de elementos que no sean Al, Ca, ETR, y T.O cuando se obtiene el efecto de esta realización. Sin embargo, en el acero práctico, los contenidos de C, Si, Mn, etc., se controlan preferiblemente para asegurar características predeterminadas. De aquí en adelante, se describirá una composición de componentes preferible (componentes químicos) basándose en la composición de componentes del acero práctico.

20 C: 1,20% o menos

25 El C es un elemento eficaz para asegurar la resistencia o dureza del acero después del endurecimiento. Los tipos de aceros que no requieren tener dicha resistencia o dureza no se requiere esencialmente que contengan C. En consecuencia, el límite inferior del contenido de C no está particularmente restringido. Sin embargo, como C es un elemento fundamental del acero y es difícil ajustar su contenido al 0%, el contenido de C no puede ser del 0%.

30 En el caso de aumentar la resistencia o la dureza, el contenido de C es preferiblemente de 0,001% o mayor. Sin embargo, cuando el contenido de C es mayor que 1,20%, se generan grietas al endurecerse o el acero se vuelve demasiado duro, por lo cual se acorta la vida útil de una herramienta de corte. Por lo tanto, el límite superior del contenido de C es preferiblemente del 1,20%. El límite superior del contenido de C es más preferiblemente del 1,00%.

35 Si: 3,00% o menos

40 El Si es un elemento eficaz para asegurar la resistencia o la dureza al mejorar templabilidad del acero. Los tipos de aceros que no se requiere que tengan dicha resistencia o dureza no se requiere esencialmente que contengan Si. En consecuencia, el límite inferior del contenido de Si no está particularmente restringido. Sin embargo, dado que el Si es un elemento fundamental del acero y es difícil ajustar el contenido del mismo al 0%, el contenido de Si no puede ser del 0%.

45 En el caso de aumentar la resistencia o la dureza del acero, el contenido de Si es preferiblemente del 0,001% o mayor. Sin embargo, cuando el contenido de Si es mayor que 3,00%, el efecto es saturación y la dureza del acero aumenta excesivamente, por lo cual se acorta la vida útil de una herramienta de corte. Por lo tanto, el límite superior del contenido de Si es preferiblemente del 3,00%. El límite superior del contenido de Si es más preferiblemente del 2,50%.

50 Mn: 16,0% o menos

55 El Mn es un elemento eficaz para asegurar la resistencia o la dureza al mejorar la templabilidad del acero. Los tipos de aceros que no requieren tener dicha resistencia o dureza no se requiere esencialmente que contengan Mn. En consecuencia, el límite inferior del contenido de Mn no está particularmente restringido. Sin embargo, como Mn es un elemento fundamental del acero y es difícil ajustar su contenido al 0%, el contenido de Mn no puede ser del 0%.

60 En el caso de aumentar la resistencia o la dureza, el contenido de Mn es preferiblemente de 0,001% o mayor. Sin embargo, cuando el contenido de Mn es mayor que 16,0%, se generan grietas por templado al endurecerse o el acero se vuelve demasiado duro, por lo cual se acorta la vida útil de una herramienta de corte. Por lo tanto, el límite superior del contenido de Mn es preferiblemente del 16,0%. El límite superior del contenido de Mn es más preferiblemente del 12,0%. Cuando está presente una cierta cantidad de C (por ejemplo, del 0,1% o más), la resistencia del acero práctico se puede asegurar incluso cuando el contenido de Mn es del 2,0% o menos.

P: 0,05% o menos

65 El P es un elemento de impureza, y cuando el contenido de P es demasiado grande, se deteriora la tenacidad del acero. Por lo tanto, el contenido de P se restringe preferiblemente a 0,05% o menos, y más preferiblemente a 0,03%

o menos. Sin embargo, se requiere un gran coste de afino para disminuir el contenido de P a 0,0001% o menos. Por lo tanto, el límite inferior del contenido de P en el acero práctico es aproximadamente del 0,0001%.

S: 0,05% o menos

5 De forma similar al P, el S es un elemento de impureza, y cuando el contenido de S es demasiado grande, se deteriora la tenacidad del acero. Por lo tanto, el contenido de S está preferiblemente restringido a 0,05% o menos, y más preferiblemente a 0,03% o menos. Se requiere un gran coste de afino para disminuir el contenido de S a 0,0001% o menos. Por lo tanto, el límite inferior del contenido de S en el acero práctico es aproximadamente del 0,0001%.

15 El acero limpio con bajo contenido en oxígeno de acuerdo con esta realización puede contener adicionalmente uno o dos o más de los siguientes componentes químicos: 3,50% o menos de Cr, 0,85% o menos de Mo, 4,50% o menos de Ni, 0,20% o menos de Nb, 0,45% o menos de V, y 0,30% o menos de W que sean distintos de los elementos descritos anteriormente en un intervalo tal que no dañe las características de los mismos. Como no es necesario contener esencialmente estos elementos, los límites inferiores de los mismos son del 0%.

Cr: 3,50% o menos

20 El Cr es un elemento eficaz para asegurar la resistencia o la dureza al mejorar la templabilidad del acero. El contenido de Cr es preferiblemente del 0,01% o mayor para obtener este efecto. Cuando el contenido de Cr es mayor que 3,50%, se deterioran la tenacidad y la ductilidad. Por lo tanto, el límite superior del contenido de Cr cuando Cr está presente es del 3,50%. El límite superior del contenido de Cr es preferiblemente del 2,50%.

25 Mo: 0,85% o menos

30 El Mo es un elemento eficaz para asegurar la resistencia o la dureza al mejorar la templabilidad del acero. Además, Mo es un elemento que forma carburo que contribuye a una mejora en la resistencia al ablandamiento por templado. El contenido de Mo es preferiblemente del 0,001% o mayor cuando se obtienen estos efectos. Cuando el contenido de Mo es mayor que 0,85%, se genera fácilmente una estructura de superenfriamiento que causa un deterioro en la tenacidad y la ductilidad. Por lo tanto, el límite superior del contenido de Mo cuando Mo está presente es del 0,85%. El límite superior del contenido de Mo es preferiblemente del 0,65%.

35 Ni: 4,50% o menos

40 El Ni es un elemento eficaz para asegurar la resistencia o la dureza al mejorar la templabilidad. El contenido de Ni es preferiblemente del 0,005% o mayor para obtener este efecto. Cuando el contenido de Ni es mayor que 4,50%, se deterioran la tenacidad y la ductilidad. Por lo tanto, el límite superior del contenido de Ni cuando está presente Ni es del 4,50%. El límite superior del contenido de Ni es preferiblemente del 3,50%.

Nb: 0,20% o menos

45 El Nb es un elemento que forma carburo, nitruro o carbonitruro para contribuir a la prevención del engrosamiento de los granos cristalinos y una mejora en la resistencia al ablandamiento por templado. El contenido de Nb es preferiblemente del 0,001% o mayor cuando se obtienen estos efectos. Cuando el contenido de Nb es mayor que 0,20%, se deterioran la tenacidad y la ductilidad. Por lo tanto, el límite superior del contenido de Nb cuando está presente Nb es del 0,20%. El límite superior del contenido de Ni es preferiblemente del 0,10%.

50 V: 0,45% o menos

55 El V es un elemento que forma carburo, nitruro o carbonitruro para contribuir a la prevención del engrosamiento de los granos cristalinos y una mejora en la resistencia al ablandamiento por templado. El contenido de V es preferiblemente del 0,001% o mayor cuando se obtienen estos efectos. Cuando el contenido de V es mayor que 0,45%, se deterioran la tenacidad y la ductilidad. Por lo tanto, el límite superior del contenido de V cuando V está presente es del 0,45%. El límite superior del contenido de V es preferiblemente del 0,35%.

W: 0,30% o menos

60 El W es un elemento eficaz para asegurar la resistencia o la dureza al mejorar la templabilidad del acero. Además, W es un elemento que forma carburo para contribuir a una mejora en la resistencia al ablandamiento por templado. El contenido de W es preferiblemente del 0,001% o mayor cuando se obtienen estos efectos. Cuando el contenido de W es mayor que 0,30%, se genera fácilmente una estructura de superenfriamiento que causa un deterioro en la tenacidad y la ductilidad. Por lo tanto, el límite superior del contenido W cuando W está presente es del 0,30%. El límite superior del contenido de W es preferiblemente del 0,20%.

65

El acero limpio con bajo contenido en oxígeno de acuerdo con esta realización puede contener adicionalmente, en % en masa, uno o dos o más de los siguientes componentes químicos: 0,006% o menos de B, 0,06% o menos de N, 0,25% o menos de Ti, 0,50% o menos de Cu, 0,45% o menos de Pb, 0,20% o menos de Bi, 0,01% o menos de Te, 0,20% o menos de Sb, y 0,001% o menos de Mg distintos de los elementos descritos anteriormente en un intervalo tal que no dañe las características de los mismos. Puesto que no es necesario contener esencialmente estos elementos, los límites inferiores de los mismos son del 0%.

B: 0,006% o menos

El B es un elemento que aumenta la templabilidad del acero para contribuir a una mejora en la resistencia. Además, B es un elemento que está segregado en los límites de grano de austenita para suprimir la segregación de P de los límites de grano y para mejorar la resistencia a la fatiga. El contenido de B es preferiblemente del 0,0001% o mayor cuando se obtienen estos efectos. Cuando el contenido de B es mayor que 0,006%, el efecto es saturación y se produce fragilidad. Por lo tanto, el límite superior del contenido de B es del 0,006% cuando B está presente. El límite superior del contenido de B es preferiblemente del 0,004%.

N: 0,06% o menos

N es un elemento que forma nitruro fino para proporcionar granos cristalinos finos y contribuye a una mejora en la resistencia y la tenacidad. El contenido de N es preferiblemente del 0,001% o mayor cuando se obtienen estos efectos. Cuando el contenido de N es mayor que 0,06%, el nitruro se genera en una cantidad excesiva y, por lo tanto, se produce un deterioro de la tenacidad. En consecuencia, el límite superior del contenido de N es del 0,06% cuando N está presente. El límite superior del contenido de N es preferiblemente del 0,04%.

Ti: 0,25% o menos

El Ti es un elemento que forma nitruro de Ti fino para proporcionar granos cristalinos finos y contribuye a una mejora en la resistencia y la tenacidad. El contenido de Ti es preferiblemente del 0,0001% o mayor cuando se obtienen estos efectos. Cuando el contenido de Ti es mayor que 0,25%, el nitruro de Ti se genera en una cantidad excesiva y, por lo tanto, se produce un deterioro de la tenacidad. En consecuencia, el límite superior del contenido de Ti es del 0,25% cuando Ti está presente. El límite superior del contenido de Ti es preferiblemente del 0,15%.

Cu: 0,50% o menos

El Cu es un elemento que aumenta la resistencia a la corrosión del acero. El contenido de Cu es preferiblemente del 0,01% o mayor para obtener este efecto. Cuando el contenido de Cu es mayor que 0,50%, la ductilidad en caliente se deteriora y, por lo tanto, se producen grietas o defectos. En consecuencia, el límite superior del contenido de Cu es del 0,50% cuando Cu está presente. El límite superior del contenido de Cu es preferiblemente del 0,30%.

Pb: 0,45% o menos

El Pb es un elemento que contribuye a una mejora en la maquinabilidad del acero. El contenido de Pb es preferiblemente del 0,001% o mayor para obtener este efecto. Cuando el contenido de Pb es mayor que 0,45%, se produce un deterioro de la tenacidad. Por lo tanto, el límite superior del contenido de Pb es del 0,45% cuando Pb está presente. El límite superior del contenido de Pb es preferiblemente del 0,30%.

Bi: 0,20% o menos

El Bi es un elemento que contribuye a una mejora en la maquinabilidad del acero. El contenido de Bi es preferiblemente del 0,001% o mayor para obtener este efecto. Cuando el contenido de Bi es mayor que 0,20%, se produce un deterioro de la tenacidad. Por lo tanto, el límite superior del contenido Bi es del 0,20% cuando Bi está presente. El límite superior del contenido de Bi es preferiblemente del 0,10%.

Te: 0,01% o menos

El Te es un elemento que contribuye a una mejora en la maquinabilidad del acero. El contenido de Te es preferiblemente del 0,0001% o mayor para obtener este efecto. Cuando el contenido de Te es mayor que 0,01%, se produce un deterioro de la tenacidad. Por lo tanto, el límite superior del contenido de Te es del 0,01% cuando Te está presente. El límite superior del contenido de Te es preferiblemente del 0,005%.

Sb: 0,20% o menos

El Sb es un elemento que contribuye a una mejora en la resistencia a la corrosión basada en la resistencia al ácido sulfúrico y la resistencia al ácido clorhídrico y una mejora en la maquinabilidad. El contenido de Sb es preferiblemente del 0,001% o mayor cuando se obtienen estos efectos. Cuando el contenido de Sb es mayor que

0,20%, se produce un deterioro de la tenacidad. Por lo tanto, el límite superior del contenido de Sb es del 0,20% cuando Sb está presente. El límite superior del contenido de Sb es preferiblemente del 0,10%.

Mg: 0,01% o menos

El Mg es un elemento que contribuye a mejorar la maquinabilidad del acero. El contenido de Mg es preferiblemente del 0,0001% o mayor para obtener este efecto. Cuando el contenido de Mg es mayor que 0,01%, se produce un deterioro de la tenacidad. Por lo tanto, el límite superior del contenido de Mg es del 0,01% cuando Mg está presente. El límite superior del contenido de Mg es preferiblemente del 0,005%.

A continuación, se describirán las inclusiones no metálicas que existen de una manera finamente dispersa en el acero limpio con bajo contenido en oxígeno de acuerdo con esta realización.

El acero limpio con bajo contenido en oxígeno de acuerdo con esta realización se obtiene añadiendo, en % en masa, de 0,00005% a 0,0004% de ETR al acero fundido que contiene de 0,005% a 0,20% de Al, 0,0005% o menos de Ca y 0,003% o menos de T.O y en el que la relación de Ca a T.O es de 0,50 o menos. El acero limpio con bajo contenido en oxígeno de acuerdo con esta realización satisface (x1) la relación de ETR a Ca que es de 0,15 a 4,00 e (y) la relación de Ca a T.O que es de 0,50 o menos, y preferiblemente satisface además (x2) la relación de ETR a T.O que es de 0,05 a 0,50.

El acero fundido que tiene los siguientes componentes químicos: de 0,005% a 0,20% de Al; 0,0005% o menos de Ca; y 0,003% o menos de T.O, en el que la relación de Ca a T.O es de 0,50 o menos, que se usa cuando se obtiene el acero limpio con bajo contenido en oxígeno de acuerdo con esta realización. En dicho acero fundido, la cantidad de CaO existente en el acero fundido y la cantidad de inclusiones de CaO-Al₂O₃ son pequeñas.

Cuando se agrega ETR al acero fundido en el estado anterior en una cantidad de 0,00005% a 0,0004% de modo que se satisfaga (x1) descrito anteriormente (preferiblemente además (x2)), el ETR reduce el CaO, que actúa como un agente aglutinante que promueve la unión de las inclusiones, FeO, compuestos tales como FeO-Al₂O₃ y CaO en inclusiones de CaO-Al₂O₃. Como resultado, (i) las inclusiones de CaO-Al₂O₃ se modifican convirtiéndose en inclusiones basadas en Al₂O₃ y/o ETR₂O₃, y (ii) se suprime la unión de las inclusiones basadas en Al₂O₃, las inclusiones basadas en Al₂O₃-MgO y las inclusiones basadas en ETR₂O₃, por lo que las inclusiones no aumentan de tamaño.

Es decir, se generan inclusiones no metálicas finas en el acero fundido mediante la adición de ETR como se describió anteriormente. De acuerdo con esto, el acero limpio con bajo contenido en oxígeno de acuerdo con esta realización obtenido por moldeo por colada del acero fundido en el que existen las inclusiones no metálicas finas es capaz de obtener una estructura en la que las inclusiones no metálicas están finamente dispersas. Las inclusiones no metálicas son finas y tienen un tamaño de 30 μm o menos, incluso en términos del diámetro máximo predicho obtenido usando un método estadístico de valores extremos con un área de predicción de 30.000 mm². Además, dado que las inclusiones no metálicas son finas, la fractura por fatiga apenas se produce como consecuencia de una fractura aparente de forma mecánica. Por lo tanto, mejoran significativamente las características mecánicas, particularmente, las propiedades de resistencia a la fatiga del acero limpio con bajo contenido en oxígeno de acuerdo con esta realización. Esta es la característica más importante del acero limpio con bajo contenido en oxígeno de acuerdo con esta realización.

En esta realización, el diámetro máximo predicho de las inclusiones es un valor estimado usando, por ejemplo, el método estadístico de valores extremos descrito en "*Metal Fatigue, Effects of Micro-Defects and Inclusions*" (escrito por Yukitaka Murakami, Yokendo, publicado en 1993, pp. 223 a 239). El diámetro máximo predicho ($\sqrt{\text{área (máx.)}}$) de las inclusiones se calcula mediante la expresión: $\sqrt{\text{área (máx.)}} = (a^2 + b^2)^{1/2}$ en la que a es un eje mayor y b es un eje menor perpendicular al eje mayor.

La Figura 6 muestra formas típicas de inclusiones no metálicas existentes en el acero (imagen de electrones reflejada por SEM). Estas son formas de inclusiones no metálicas detectadas al evaluar las estadísticas de valores extremos de piezas de acero en ejemplos que se describirán más adelante. Las figuras 6 (a) y 6 (b) muestran formas de inclusiones no metálicas de los ejemplos de la invención (nº 2-1 en las tablas 2-1 y 2-2 que se mostrarán más adelante) (tipo de acero: muelle de suspensión A), y las figuras 6 (c) y 6 (d) muestran formas representativas de inclusiones no metálicas de ejemplos comparativos (nº 2-2 en las tablas 2-1 y 2-2 que se mostrarán más adelante) (tipo de acero: muelle de suspensión A).

El diámetro (véanse los bordes negros) de las inclusiones no metálicas de los ejemplos comparativos mostrados en las figuras 6 (c) y 6 (d) es del orden de decenas de μm. El diámetro (véanse los bordes negros) de las inclusiones no metálicas de los ejemplos de la invención mostrados en las figuras 6 (a) y 6 (b) es del orden de varios μm. Las "inclusiones finas no metálicas" existen en diversas formas en el acero limpio con bajo contenido en oxígeno de acuerdo con esta realización, como se muestra en las figuras 6 (a) y 6 (b). Dado que las inclusiones no metálicas son finas debido a la modificación con ETR, la fractura por fatiga apenas se produce. Los autores de la invención

han confirmado este hecho por medio de experimentos en una operación real con respecto a los principales tipos de aceros que se utilizan en acero para muelles, acero para cojinetes, acero de cementación, etc.

5 El hecho descrito anteriormente de que la fractura por fatiga apenas se produce debido a las inclusiones no metálicas finas también se refiere a la composición de componentes de las inclusiones no metálicas. En lo sucesivo, se describirá la composición de componentes de las inclusiones no metálicas.

10 La Tabla 1 muestra composiciones de componentes de las inclusiones no metálicas descritas anteriormente que se muestran en las figuras 6 (a) a 6 (d). La Tabla 1 también muestra composiciones de componentes, que se observan por separado de las de las figuras 6 (a) a 6 (d), de inclusiones no metálicas (ejemplos de la invención 3 a 12) de los aceros limpios con bajo contenido en oxígeno de acuerdo con esta realización e inclusiones no metálicas (ejemplos comparativos 3 a 6) de aceros comparativos. La composición de componentes de las inclusiones no metálicas se midió de la siguiente manera.

15 La composición media de una inclusión detectada por un microscopio óptico se mide usando un método de análisis de energía dispersiva por rayos X para analizar la composición de Mg, Al, Si, Ca, La, Ce, Nd, Mn, Ti, y S. Puesto que el Mn y el Ca forman tanto óxido como sulfuro, el S se deja que forme sulfuro en orden de MnS y CaS, y el Ca y el Mn restantes se analizan como óxido. Cuando se obtiene la media de la composición de las inclusiones, se puede tomar la media numérica después de examinar las composiciones de una pluralidad de inclusiones como se describió anteriormente.

25 Las inclusiones no metálicas mostradas en la Figura 6 tienen una diferencia de contraste entre ellas. Esto muestra que las inclusiones no metálicas tienen una fase mixta de óxido y sulfuro, pero el hecho de que las inclusiones no metálicas tengan una fase mixta no tiene una influencia dominante en las propiedades de resistencia a la fatiga. Esto es consistente con la relación entre el diámetro del grano de las inclusiones no metálicas y la resistencia a la fatiga mostrada en la Figura 1.

Tabla 1

Nº	CLASIFICACIÓN	TAMAÑO $\mu\text{m}^*\mu\text{m}$	COMPOSICIÓN DE COMPONENTES (% EN MASA: BASADO EN 100% DE ÓXIDO)										(ADICIONAL)		ETR ₂ O ₃	Al ₂ O ₃ +ETR
			MgO	Al ₂ O ₃	Si O ₂	CaO	La ₂ O ₃	Ce ₂ O ₃	Nd ₂ O ₃	Mn O	Ti O ₂	MnS	CaS			
2-1	EJEMPLO DE LA INVENCION 1	4*4	2,9	53,3	0	0	14,2	22,1	7,5	0	0	31,1	10,2	43,8	97,1	
2-1	EJEMPLO DE LA INVENCION 2	4*3	14,1	56,3	0	0	11,2	16,5	1,9	0	0	11,2	13,6	29,6	85,9	
2-2	EJEMPLO COMPARATIVO 1	10*9	8,7	67,6	7,2	16,5	0	0	0	0	0	0	3,7	0	67,6	
2-2	EJEMPLO COMPARATIVO 2	13*10	1,4	69,2	5,1	24,3	0	0	0	0	0	0	14,0	0	69,2	
1-1	EJEMPLO DE LA INVENCION 3	12*5	18,2	53,6	0	0	1,4	24,4	2,5	0	0	9,3	29,4	28,2	81,8	
1-1	EJEMPLO DE LA INVENCION 4	9*4	23,9	56,2		0	4,8	9,9	5,2	0	0	12,3	13,2	19,9	76,1	
1-1	EJEMPLO DE LA	7*6	26,8	73,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	73,2	

ES 2 674 870 T3

Nº	CLASIFICACIÓN	TAMAÑO $\mu\text{m}^*\mu\text{m}$	COMPOSICIÓN DE COMPONENTES (% EN MASA: BASADO EN 100% DE ÓXIDO)										(ADICIONAL)		
			MgO	Al ₂ O ₃	Si O ₂	CaO	La ₂ O ₃	Ce ₂ O ₃	Nd ₂ O ₃	Mn O	Ti O ₂	MnS	CaS	ETR ₂ O ₃	Al ₂ O ₃ +ETR
	INVENCION 5														
1-3	EJEMPLO DE LA INVENCION 6	31*4	3,5	49,1	0	0	16	25,3	5,6	0	0	7,4	11,8	47,4	96,5
1-3	EJEMPLO DE LA INVENCION 7	11*6	4,7	66,0	0	6	9,8	16,4	3,1	0	0	0	3,9	29,3	95,3
1-5	EJEMPLO COMPARATIVO 3	20*17	22,4	77,6	0	0	0	0	0	0	0	0	6,4	0	77,6
1-5	EJEMPLO COMPARATIVO 4	10*9	5,0	89,8	0	5,3	0	0	0	0	0	0	27,0	0	89,8
1-6	EJEMPLO COMPARATIVO 5	20*7	18,2	81,6	0	0,2	0	0	0	0	0	0	23,9	0	81,6
1-6	EJEMPLO COMPARATIVO 6	28*7	22,7	77,3	0	0	0	0	0	0	0	0	44	0	77,3
4-1	EJEMPLO DE LA INVENCION 8	14*10	15,0	62,1	0	0,3	6,3	16,4	0	0	0	2,1	0	22,7	84,8
6-10	EJEMPLO DE LA INVENCION 9	14*9	16,3	82,9	0,8	0	0	0	0	0	0	8	19	0	82,9
6-10	EJEMPLO DE LA INVENCION 10	8*7	17,5	57,6	0	1,0	10,0	14,0	0	0	0	8	10	24,0	81,6
6-10	EJEMPLO DE LA INVENCION 11	10*7	9,1	63,4	0	0,3	9,2	18,0	0	0	0	2		27,2	90,6
6-10	EJEMPLO DE LA INVENCION 12	7*5	24,9	74,5	0,6	0	0	0	0	0	0	3	15	0	74,5

Las composiciones de inclusiones de las figuras 6 (a) y 6 (b) se muestran en los ejemplos de invención 1 y 2 de la Tabla 1, y las composiciones de inclusiones de las figuras 6 (c) y 6 (d) se muestran en % en masa en los ejemplos comparativos 1 y 2 de la Tabla 1. En los ejemplos comparativos 1 y 2 y además en los ejemplos comparativos 3 a 6,

las inclusiones no se modifican con ETR. Sin embargo, en los ejemplos de la invención 1 y 2 y además en los ejemplos de la invención 3 a 12, las inclusiones se modifican con ETR.

5 Como es evidente a partir de la Tabla 1, Al_2O_3 y/o CaO son componentes principales en los ejemplos comparativos 1 y 2 y otros ejemplos comparativos 3 a 6. El Al_2O_3 y el óxido de ETR son componentes principales en los ejemplos de la invención 1 y 2 y otros ejemplos de la invención 3 a 12. Además, la proporción media de Al_2O_3 en las inclusiones en cada ejemplo supera el 50%.

10 El CaO en el Ejemplo comparativo 1 es del 16,5% y el CaO en el Ejemplo comparativo 2 es del 24,3%. Estos son valores superiores al 10%. En los ejemplos de la invención, el CaO es del 1,0% o menos y significativamente más bajo que en los ejemplos comparativos.

15 En el caso de las inclusiones de los ejemplos de la invención, casi no se detectan TiO_2 y SiO_2 (por ejemplo, 1,0% o menos). Cuando la desoxidación se realiza de forma suficiente con Al o Al-Si, las inclusiones no metálicas casi no contienen TiO_2 y SiO_2 .

20 Incluso cuando existen uno o dos o más de CaS, MnS, sulfuro de ETR y MgO (capa de compuesto) en inclusiones que tienen Al_2O_3 y óxido de ETR como componentes principales, la influencia sobre el tamaño de las inclusiones es pequeña. Por ejemplo, en el caso de las inclusiones no metálicas del Ejemplo de Invención 1 en la Tabla 1, existen adicionalmente 31,1% en masa de MnS y 10,2% en masa de CaS (total: 41,3% en masa), y en el caso de las inclusiones no metálicas del Ejemplo de la invención 2, existen adicionalmente 11,2% en masa de MnS y 13,6% en masa de CaS (total: 24,5% en masa).

25 Incluso cuando CaS y MnS existen en una cantidad de aproximadamente 0% a 42% en las inclusiones que tienen Al_2O_3 y óxido de ETR como componentes principales, el tamaño de las inclusiones se mantiene pequeño en el intervalo del análisis. Además, las propiedades de resistencia a la fatiga no se ven afectadas por la existencia de CaS y MnS, y por lo tanto, se confirma que la influencia de la existencia de CaS y MnS sobre las propiedades de resistencia a la fatiga es suficientemente pequeña.

30 A continuación, se describirá un acero limpio con bajo contenido en oxígeno preferible de acuerdo con esta realización.

35 De manera similar al acero en general, un acero limpio con bajo contenido en oxígeno de acuerdo con una realización se obtiene preferiblemente por laminación de una pieza de acero obtenida a través de un procedimiento de afino y un procedimiento de moldeo por colada o similar. Como los procedimientos de procesamiento, tales como el procedimiento de moldeo por colada y la laminación, se pueden emplear métodos arbitrarios para proporcionar una forma deseada y las características deseadas.

40 En cuanto al acero limpio con bajo contenido en oxígeno de acuerdo con esta realización, es importante añadir, en % en masa, de 0,00005% a 0,0004% de ETR al acero fundido que contiene de 0,005% a 0,20% de Al, 0,0005% o menos de Ca, y 0,003% o menos de T.O y en el que la relación de Ca con respecto a T.O es de 0,50 o menos.

45 Por lo tanto, en el procedimiento de afino, el contenido de Ca está restringido preferiblemente y ETR está presente preferiblemente en el acero fundido a través del siguiente método de la siguiente manera.

Método de restricción del contenido de Ca

50 Diversos tipos de materias primas auxiliares y hierro de aleación se añaden al acero fundido cuando el acero fundido se somete al afino y ajuste de componentes. En general, dado que las materias primas auxiliares y el hierro de aleación contienen Ca en diversas formas, es importante administrar el tiempo de adición de las materias primas auxiliares y el hierro de aleación y el contenido de Ca presente en las mismas con el fin de ajustar el contenido de Ca a 0,0005% o menos.

55 El Ca en el hierro de aleación está presente como un componente de aleación en una relación alta. En consecuencia, en el caso del acero fundido desoxidado con Al o Al-Si, el rendimiento de Ca en el acero fundido es elevado. Por lo tanto, es necesario evitar la adición de hierro de aleación que tenga un alto contenido de Ca.

60 De acuerdo a esto, la cantidad de Ca que se va a añadir se disminuye usando preferiblemente, por ejemplo, hierro de aleación que tenga 1,0% o menos de Ca. Además, dado que la cal viva, la dolomita, etc., que se añaden como material formador de escoria contienen Ca principalmente en forma de óxido, se incorporan a la escoria cuando la separación por flotación se realiza de manera suficiente. Sin embargo, dado que la separación por flotación no se puede realizar de manera suficiente durante las etapas terminales de la refinación secundaria, se evita la adición. Además de la cal viva y la dolomita, se puede usar escoria reciclada que contiene CaO como material formador de escoria.

65

Además, en el acero desoxidado con Al y en el acero desoxidado con Al-Si, es importante no suspender el CaO en el acero fundido para suprimir la generación de las inclusiones basadas en CaO-Al₂O₃. Durante las etapas terminales de la refinación secundaria, se suprime la agitación del acero fundido y la escoria que contiene CaO en una gran cantidad. Por ejemplo, se debe de evitar una fuerte agitación por burbujeo de Ar en una cuchara. Cuando el acero fundido se agita desde el punto de vista de la concentración de ETR uniforme, se usa un método de agitación tal como agitación electromagnética mediante la cual no se incorpora la escoria en el acero fundido.

Método de adición de ETR

El CaO se adhiere a las inclusiones que tienen Al₂O₃ como componente principal y funciona como un agente aglutinante que potencia el engrosamiento. El ETR que actúa para reducir el CaO se añade en una cantidad de 0,00005% a 0,0004% al acero fundido en el que se ha completado el afino de la escoria de cuchara por una desoxidación suficiente con Al o con Al-Si. No es preferible añadir el ETR antes de llevar a cabo la desoxidación con Al o con Al-Si ya que las inclusiones se vuelven más gruesas.

Por ejemplo, en un procedimiento de afino secundario común que incluye el calentamiento por electrodo en la cuchara y la desgasificación al vacío, el acero fundido se desoxida mediante el calentamiento por electrodo en la cuchara, y luego se añade el ETR al acero fundido en el procedimiento de desgasificación al vacío. El ETR se puede añadir a una artesa o el acero fundido en un molde.

Dado que el ETR se añade al acero fundido en una cantidad diminuta, el acero fundido se agita preferiblemente para uniformizar la concentración de ETR en el acero fundido después de la adición. Para la agitación del acero fundido, se puede aplicar agitación en una cámara de vacío en el procedimiento de desgasificación al vacío, agitación en la artesa por flujo del acero fundido, y agitación electromagnética en el molde.

El ETR se puede añadir en forma de metal puro como Ce y La, aleación de metales de ETR, o aleación con otras aleaciones. Cuando se añade el ETR, la forma del mismo es preferiblemente una forma similar a un bulto, una forma de grano, o una forma de alambre desde el punto de vista del rendimiento.

Un producto de acero limpio con bajo contenido en oxígeno de acuerdo con esta realización se puede producir procesando el acero limpio con bajo contenido en oxígeno de acuerdo con esta realización usando un método arbitrario.

Ejemplos

A continuación, se describirán ejemplos de la invención. Las condiciones en los ejemplos de la invención son sólo ejemplos empleados para confirmar la viabilidad y los efectos de la invención. Por lo tanto, la invención no está restringida a estos ejemplos. La invención puede emplear diversas condiciones siempre que no se aparte de la esencia de la invención al tiempo que se logra el objeto de la invención.

Ejemplo 1

Se produjo una pieza de acero fundiendo acero fundido que tenía una composición de componentes que se muestra en la Tabla 2-1. La composición de la escoria y las condiciones de las materias primas auxiliares en el momento del afino se muestran conjuntamente en la Tabla 2-2. En la columna de "condiciones de las materias primas auxiliares", se muestran una fuente de Ca (CaSi o FeSi) a introducir en el acero fundido y el porcentaje en masa de Ca en FeSi. La composición de componentes incluye Fe e impurezas remanentes.

Utilizando la pieza de acero descrita anteriormente, las estadísticas de valores extremos de piezas de acero (diámetro máximo predicho) (μm) de las inclusiones no metálicas en un área de predicción de 30.000 mm² se estimaron a través de un método estadístico de valores extremos. Los resultados se muestran conjuntamente en la Tabla 2-2. Cuando las estadísticas de valores extremos de piezas de acero son de 30 μm o menos, el nivel se considera apto (B: BUENO), cuando las estadísticas de valores extremos de piezas de acero son superiores a un nivel de 30 μm a 37 μm , el nivel se considera M (MALO) y cuando las estadísticas de valores extremos de piezas de acero son superiores a 37 μm , el nivel se considera MM (MUY MALO). Las figuras 6 (a) y 6 (b) muestran las formas de las inclusiones no metálicas del Ejemplo de invención n° 2-1, y las figuras 6 (c) y 6 (d) muestran las formas de las inclusiones no metálicas en el Ejemplo comparativo 2-2.

ES 2 674 870 T3

Tabla 2-1

Nº		COMPOSICIÓN DE COMPONENTES													
		COMPONENTES QUÍMICOS													
		(% EN MASA)								(% EN MASA x 10 ⁴)			(--)		
		C	Si	Mn	T. Al	P	S	Cr	Mo	T. O	Ca	ET R	Ca/ T. O	ETR/ T. O	ETR/ Ca
1-1	EJEMPLO DE LA INV.	1,00	0,25	0,37	0,012	0,009	0,001	1,44	0,01	4	2	2,0	0,4	0,4	1,0
1-2	EJEMPLO DE LA INV.	0,99	0,26	0,38	0,013	0,012	0,001	1,43	0,00	5	2	2,0	0,4	0,4	1,0
1-3	EJEMPLO DE LA INV.	1,00	0,26	0,38	0,010	0,009	0,002	1,43	0,00	5	1	1,0	0,2	0,2	1,0
1-4	EJEMPLO DE LA INV.	1,00	0,25	0,37	0,008	0,011	0,001	1,42	0,00	5	1	0,5	0,2	0,1	0,5
1-5	EJEMPLO COMP.	1,00	0,26	0,37	0,018	0,009	0,001	1,43	0,00	5	1	0,0	0,2	0	0,0
1-6	EJEMPLO COMP.	0,99	0,25	0,37	0,009	0,006	0,001	1,42	0,01	5	1	0,0	0,2	0	0,0
2-1	EJEMPLO DE LA INV.	0,52	1,51	0,49	0,026	0,013	0,012	0,73	0,09	6	2	1,0	0,33	0,17	0,5
2-2	EJEMPLO COMP.	0,53	1,53	0,48	0,025	0,009	0,012	0,72	0,09	10	1	0,0	0,1	0	0,0
2-3	EJEMPLO COMP.	0,53	1,49	0,50	0,024	0,013	0,012	0,72	0,09	5	1	0,0	0,2	0	0,0
3-1	EJEMPLO COMP.	0,49	1,96	0,70	0,023	0,007	0,002	0,52	0,01	6	1	0,0	0,17	0	0,0
3-2	EJEMPLO COMP.	0,50	1,92	0,70	0,022	0,006	0,002	0,53	0,01	7	1	0,0	0,14	0	0,0
3-3	EJEMPLO COMP.	0,48	1,97	0,70	0,023	0,010	0,001	0,51	0,01	5	2	0,0	0,4	0	0,0
3-4	EJEMPLO COMP.	0,48	1,93	0,69	0,024	0,009	0,002	0,52	0,01	10	4	0,0	0,4	0	0,0
3-5	EJEMPLO COMP.	0,50	1,96	0,70	0,020	0,007	0,001	0,53	0,01	7	2	0,0	0,29	0	0,0
3-6	EJEMPLO COMP.	0,50	1,98	0,70	0,023	0,008	0,003	0,53	0,01	12	1	0,0	0,08	0	0,0
3-7	EJEMPLO COMP.	0,49	1,97	0,68	0,021	0,005	0,001	0,51	0,01	12	6	0,8	0,50	0,07	0,13
4-1	EJEMPLO DE LA INV.	0,20	0,20	0,78	0,026	0,019	0,013	0,95	0,16	6	1	1,7	0,17	0,28	1,7
4-2	EJEMPLO DE LA INV.	0,15	0,21	0,80	0,025	0,013	0,015	1,00	0,16	11	1	2,4	0,09	0,22	2,4
4-3	EJEMPLO DE LA INV.	0,41	0,26	0,75	0,023	0,013	0,019	1,11	0,16	9	2	2,4	0,22	0,27	1,2
4-4	EJEMPLO DE LA INV.	0,20	0,20	0,80	0,025	0,025	0,020	1,12	0,01	6	2	3,0	0,33	0,5	1,5
4-5	EJEMPLO COMP.	0,20	0,20	0,79	0,025	0,021	0,009	1,10	0,01	8	2	5,0	0,25	0,53	2,5
4-6	EJEMPLO COMP.	0,40	0,25	0,80	0,025	0,012	0,003	1,11	0,16	6	1	4,9	0,17	0,82	4,9
4-7	EJEMPLO COMP.	0,26	0,21	0,87	0,025	0,018	0,014	1,22	0,29	7	1	0,0	0,14	0	0,0
4-8	EJEMPLO COMP.	0,23	0,22	0,88	0,024	0,015	0,013	1,22	0,29	21	0,8	4,0	0,04	0,19	5,00
4-9	EJEMPLO COMP.	0,22	0,23	0,88	0,026	0,011	0,012	1,21	0,28	16	8	0,8	0,50	0,05	0,10
5-1	EJEMPLO DE LA INV.	0,17	0,03	0,75	0,046	0,012	0,003	0,03	0,00	14	1	2,4	0,07	0,17	2,4
5-2	EJEMPLO DE LA INV.	0,16	0,02	0,77	0,049	0,011	0,008	0,03	0,00	9	1	1,9	,011	0,21	1,9
5-3	EJEMPLO DE LA INV.	0,13	0,03	0,36	0,026	0,013	0,007	0,03	0,00	13	3	4,0	0,23	0,31	1,3

ES 2 674 870 T3

5-4	EJEMPLO COMP.	0,16	0,04	0,76	0,043	0,016	0,006	0,03	0,00	17	1	0,0	0,06	0	0,0
5-5	EJEMPLO COMP.	0,17	0,04	0,77	0,049	0,012	0,012	0,07	0,00	12	1	0,0	0,08	0	0,0
5-6	EJEMPLO COMP.	0,15	0,04	0,74	0,060	0,009	0,011	0,03	0,00	8	5	1,5	0,63	0,17	0,30
6-1	EJEMPLO DE LA INV.	0,55	0,20	0,76	0,024	0,009	0,002	0,14	0,01	7	1	1,8	0,14	0,26	1,8
6-2	EJEMPLO DE LA INV.	0,43	0,26	0,78	0,024	0,012	0,016	0,13	0,00	6	1	2,0	0,17	0,33	2,0
6-3	EJEMPLO DE LA INV.	0,34	0,23	0,75	0,025	0,018	0,024	0,05	0,01	6	1	0,7	0,17	0,12	0,7
6-4	EJEMPLO DE LA INV.	0,20	0,17	0,80	0,035	0,012	0,006	0,37	0,01	7	1	1,1	0,14	0,16	1,1
6-5	EJEMPLO DE LA INV.	0,32	0,20	0,75	0,025	0,022	0,030	0,15	0,01	8	1	4,0	0,13	0,5	4,0
6-6	EJEMPLO DE LA INV.	0,34	0,21	0,77	0,022	0,024	0,029	0,01	0,01	12	4	0,6	0,33	0,05	0,2
6-7	EJEMPLO COMP.	0,33	0,23	0,75	0,028	0,008	0,003	0,07	0,00	8	1	4,1	0,13	0,52	4,1
6-8	EJEMPLO COMP.	0,35	0,22	0,75	0,024	0,015	0,024	0,06	0,01	7	5	2,0	0,71	0,29	0,4
6-9	EJEMPLO COMP.	0,34	0,22	0,76	0,023	0,017	0,030	0,15	0,01	8	1	4,4	0,13	0,55	4,4
6-10	EJEMPLO COMP.	0,50	0,23	0,87	0,022	0,014	0,015	0,10	0,01	8	6	1,3	0,5	0,16	0,3
6-11	EJEMPLO COMP.	0,44	0,18	0,70	0,025	0,019	0,016	0,05	0,00	9	2	0,0	0,22	0	0,0
6-12	EJEMPLO COMP.	0,33	0,19	0,69	0,020	0,010	0,023	0,04	0,01	12	14	0,0	1,17	0	0,0
6-13	EJEMPLO COMP.	0,26	0,20	0,46	0,021	0,009	0,002	0,04	0,01	9	1	0,0	0,11	0	0,0
7-1	EJEMPLO DE LA INV.	0,32	0,25	1,80	0,034	0,017	0,004	0,04	0,00	7	2	1,5	0,29	0,21	0,8
7-2	EJEMPLO COMP.	0,17	0,56	0,73	0,061	0,012	0,002	0,06	0,00	8	1	4,4	0,13	0,55	4,4
7-3	EJEMPLO DE LA INV.	0,16	0,52	0,75	0,070	0,015	0,001	0,05	0,00	6	1	4,0	0,17	0,57	4,0
7-4	EJEMPLO DE LA INV.	0,18	0,50	0,71	0,063	0,017	0,001	0,08	0,01	23	1	0,7	0,04	0,03	0,7
7-5	EJEMPLO COMP.	0,18	0,51	0,73	0,066	0,013	0,002	0,04	0,01	7	6	3,0	0,86	0,5	0,5

Tabla 2-2

Nº		COMPOSICIÓN DE ESCORIA EN LA ESCORIA (% EN MASA)				CONDICIONES DE MATERIAS PRIMAS AUXILIARES (INDICAN DIFERENCIA EN NIVEL CA)		ACCIÓN DE ETR	RELACIÓN EN LAS INCLUSIONES (MEDIA) (% EN MASA)		ESTADÍSTICAS DE VALORES EXTREMOS DE LAS INCLUSIONES		OBSERVACIÓN
		CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	T. Fe	(1) ADICIÓN DE CaSi	(2) Ca EN FeSi		Al ₂ O ₃	ETR ₂ O ₃	DETERMINACIÓN	µm	
1-1	EJEMPLO DE LA INV.	50,6	7,9	26,6	0,7	NINGUNA	0,05	AÑADIDA	67	20,8	G	18,8	✘ ACERO DE COJINETES
1-2	EJEMPLO DE LA INV.	51,0	6,6	26,6	0,9	NINGUNA	0,05	AÑADIDA	64,3	20,1	G	21,0	
1-3	EJEMPLO DE LA INV.	52,2	8,6	24,4	0,3	NINGUNA	0,035	AÑADIDA	64,7	19,5	G	20,2	
1-4	EJEMPLO DE LA INV.	51,3	8,8	25,4	0,4	NINGUNA	0,042	AÑADIDA	59,3	23,1	G	24,0	
1-5	EJEMPLO COMP.	52,3	4,3	27,1	0,6	NINGUNA	0,045	NINGUNA	72,5	0	B	36,3	
1-6	EJEMPLO COMP.	49,8	9,1	26,8	0,3	NINGUNA	0,038	NINGUNA	78,9	2	B	31,3	
2-1	EJEMPLO DE LA INV.	43,7	16,1	28,2	0,9	NINGUNA	0,039	AÑADIDA	68,2	13,4	G	10,3	✘ MUELLE DE SUSPENSIÓN A
2-2	EJEMPLO COMP.	43,7	19,7	25,4	0,6	NINGUNA	0,047	NINGUNA	84,7	0	B	31,0	
2-3	EJEMPLO COMP.	48,4	13,7	25,0	0,3	NINGUNA	0,28	NINGUNA	79,2	0	B	34,2	
3-1	EJEMPLO COMP.	46,1	14,6	28,4	0,6	NINGUNA	0,041	NINGUNA	80,1	0	B	36,0	✘ MUELLE DE SUSPENSIÓN B
3-2	EJEMPLO COMP.	43,6	13,6	27,8	0,5	NINGUNA	0,052	NINGUNA	84,6	0	B	33,3	
3-3	EJEMPLO COMP.	43,5	12,9	27,9	0,8	NINGUNA	0,031	NINGUNA	81,3	0	B	30,5	
3-4	EJEMPLO COMP.	45,6	15,1	27,4	0,4	NINGUNA	0,056	NINGUNA	60,7	0	VB	39,0	
3-5	EJEMPLO COMP.	51,3	22,3	15,1	0,6	NINGUNA	0,045	NINGUNA	75,5	0	B	36,1	
3-6	EJEMPLO COMP.	47,3	16,0	23,4	0,7	NINGUNA	0,039	NINGUNA	85,6	0	VB	40,6	
3-7	EJEMPLO COMP.	42,9	15,5	25,6	0,7	NINGUNA	0,03	NINGUNA	45,1	0	VB	42,1	
4-1	EJEMPLO DE LA INV.	53,1	4,1	26,0	0,8	NINGUNA	0,35	AÑADIDA	55,7	7,1	G	22,0	✘ ACERO DE CEMENTACIÓN
4-2	EJEMPLO DE LA INV.	50,3	8,2	25,0	0,9	NINGUNA	0,29	AÑADIDA	51,8	10,5	G	27,0	
4-3	EJEMPLO DE LA INV.	46,3	9,8	28,0	0,6	NINGUNA	0,32	AÑADIDA	60,4	18,3	G	17,6	
4-4	EJEMPLO DE LA INV.	50,8	8,0	26,3	0,6	NINGUNA	0,05	AÑADIDA	58,2	20,6	G	24,8	
4-5	EJEMPLO COMP.	51,0	8,2	25,9	0,6	NINGUNA	0,05	AÑADIDA	56,1	35,7	VB	38,0	
4-6	EJEMPLO COMP.	50,3	8,2	25,0	0,4	NINGUNA	0,33	AÑADIDA	54,8	31,9	VB	47,0	
4-7	EJEMPLO COMP.	47,8	13,4	26,2	0,3	NINGUNA	0,31	NINGUNA	84,5	0	VB	49,0	
4-8	EJEMPLO COMP.	49,2	7,3	22,4	0,5	NINGUNA	0,042	AÑADIDA	82,8	5,9	B	33,0	
4-9	EJEMPLO COMP.	51,0	5,8	21,3	0,4	USADA	0,038	AÑADIDA	48,6	10,4	VB	38,0	
5-1	EJEMPLO DE LA INV.	48,8	2,0	35,0	1,2	NINGUNA	-	AÑADIDA	61,8	15,8	G	23,1	✘ ACERO DESOXIDADO CON ALUMINIO
5-2	EJEMPLO DE LA INV.	54,8	3,1	26,4	0,7	NINGUNA	-	AÑADIDA	59,3	14,6	G	22,0	
5-3	EJEMPLO DE LA INV.	48,4	2,1	36,5	0,3	NINGUNA	-	AÑADIDA	58,7	22,4	G	24,0	
5-4	EJEMPLO COMP.	49,3	5,1	31,0	0,9	NINGUNA	-	NINGUNA	89,1	0	VB	51,0	
5-5	EJEMPLO COMP.	51,3	1,9	32,3	1,1	NINGUNA	-	NINGUNA	90	0	VB	41,0	
5-6	EJEMPLO COMP.	57,3	3,0	22,4	1,2	NINGUNA	-	NINGUNA	48,7	16,5	B	31,2	
6-1	EJEMPLO DE LA INV.	49,6	10,2	25,0	0,8	NINGUNA	0,034	AÑADIDA	67,3	18,7	G	22,9	✘ ACERO SC
6-2	EJEMPLO DE LA INV.	49,6	10,2	25,0	0,7	NINGUNA	0,042	AÑADIDA	75,2	9,4	G	22,0	
6-3	EJEMPLO DE LA INV.	55,9	7,5	21,5	0,9	NINGUNA	0,76	AÑADIDA	69,7	15,4	G	17,0	
6-4	EJEMPLO DE LA INV.	46,4	15,3	22,3	0,6	NINGUNA	0,38	AÑADIDA	71,5	12	G	18,2	
6-5	EJEMPLO DE LA INV.	48,2	10,2	26,1	0,7	NINGUNA	0,042	AÑADIDA	70	18,9	G	26,1	

ES 2 674 870 T3

6-6	EJEMPLO DE LA INV.	49,2	9,8	26,3	0,7	NINGUNA	0,04	AÑADIDA	73,4	10,7	G	21,0		
6-7	EJEMPLO COMP.	49,4	9,6	26,5	0,7	NINGUNA	0,045	AÑADIDA	619,	22,2	VB	50,0		
6-8	EJEMPLO COMP.	49,9	9,1	26,0	0,6	NINGUNA	0,04	AÑADIDA	53,8	23,7	VB	43,0		
6-9	EJEMPLO COMP.	48,5	9,9	25,8	0,8	NINGUNA	0,041	AÑADIDA	57,6	27,1	VB	90,0		
6-10	EJEMPLO COMP.	46,2	7,6	29,1	0,5	USADA	0,45	AÑADIDA	47,8	19,4	VB	38,0		
6-11	EJEMPLO COMP.	47,5	7,9	30,2	0,7	NINGUNA	0,87	NINGUNA	54,8	0	VB	62,0		
6-12	EJEMPLO COMP.	48,6	8,1	26,8	0,9	USADA	0,39	NINGUNA	59,7	0	VB	40,0		
6-13	EJEMPLO COMP.	50,3	5,9	28,8	0,3	NINGUNA	0,56	NINGUNA	80,9	0	B	37,0		
7-1	EJEMPLO DE LA INV.	48,5	6,3	29,1	0,8	NINGUNA	0,34	AÑADIDA	60,8	8,4	G	15,8		✘ OTROS
7-2	EJEMPLO COMP.	48,2	14,0	23,4	0,4	NINGUNA	0,29	AÑADIDA	72,5	10,2	VB	91,0		
7-3	EJEMPLO DE LA INV.	51,0	8,3	27,3	0,4	NINGUNA	0,045	AÑADIDA	52,1	45,3	G	29,4		
7-4	EJEMPLO DE LA INV.	49,2	6,9	30,8	0,4	NINGUNA	0,034	AÑADIDA	75,3	3,7	G	28,6		
7-5	EJEMPLO COMP.	50,2	7,6	28,9	0,4	USADA	0,35	AÑADIDA	40,1	25,6	VB	65,0		

En la Tabla 2, las estadísticas de valores extremos de piezas de acero del nº 1-1 son de 18,8 µm (< 30 µm). En el nº 2-2, dado que no se añadió ETR, las inclusiones no se modificaron y las estadísticas de valores extremos de piezas de acero fueron de 31,0 µm. En el nº 2-2, se produce una fractura por fatiga debidas a las inclusiones.

5 Las estadísticas de valores extremos de piezas de acero de las inclusiones en la tabla se calcularon usando un método estadístico de valores extremos de la siguiente manera.

10 Es decir, el acero de la invención fue moldeado por colada por una máquina curva de colada continua, y luego en una pieza de acero laminada en una relación de reducción superficial de 1,8 o mayor, se tomó una muestra de acero de una parte en una posición de 1/4 del lado de la superficie suelta de una sección transversal en L de la pieza de acero (una sección transversal que incluye una línea central de una superficie suelta, una línea central de una superficie opuesta a la misma, y una línea central de la pieza de acero) y las estadísticas de valores extremos de piezas de acero se calcularon basándose en un método estadístico de valores extremos que incluye la medición bajo las condiciones de un área estándar de ensayo de 100 mm² (área de 10 mm × 10 mm), un campo de ensayo de 16 (es decir, el número de ensayos es 16) y un área para realizar predicciones de 30.000 mm². El cálculo se realizó a través de la expresión: $\sqrt{\text{área (máx.)}} = (a^2 + b^2)^{1/2}$ en la que a es un eje mayor y b es un eje menor perpendicular al eje mayor. En la presente memoria, la superficie suelta es una superficie en el lado de la superficie superior en una parte horizontal desde una parte curvada de la máquina curva de colada continua.

20 La estimación del diámetro máximo predicho ($\sqrt{\text{área (máx.)}}$) de las inclusiones usando estadísticas de valores extremos se realiza de acuerdo con el método descrito en, por ejemplo, "*Metal Fatigue, Effects of Micro-Defects and Inclusions*" (escrito por Yukitaka Murakami, Yokendo, publicado en 1993, pp. 223 a 239). El método utilizado es un método bidimensional para estimar las inclusiones máximas observadas en un área determinada mediante un examen bidimensional.

30 Utilizando el método estadístico de valores extremos descrito anteriormente, el diámetro máximo previsto $\sqrt{\text{área (máx.)}}$ de las inclusiones en el área de predicción (30.000 mm²) se estimó a partir del área estándar de ensayo (100 mm²) a partir de la imagen de las inclusiones no metálicas por un microscopio óptico. Específicamente, se trazaron 16 resultados (resultados de 16 campos) sobre los diámetros máximos de las inclusiones obtenidas a través de la observación, en papel de probabilidad de valores extremos de acuerdo con el método descrito en el documento para obtener una distribución lineal de inclusión máxima (función lineal de la inclusión máxima y la variable de estandarización estadística de valores extremos), y la distribución lineal de distribución máxima fue extrapolada para estimar un diámetro máximo previsto $\sqrt{\text{área (máx.)}}$ de las inclusiones en el área de 30.000 mm².

35 Además, para la especificación de las inclusiones no metálicas, la observación se realizó utilizando un microscopio óptico de 1.000 aumentos para discriminar las inclusiones no metálicas de una diferencia en el contraste. La validez del método de discriminación que usa la diferencia en el contraste fue confirmada previamente por un microscopio electrónico de barrido con un analizador espectroscópico de energía dispersiva por rayos X. Se analizó una pluralidad de inclusiones para obtener una relación de composición promedio de las inclusiones.

Ejemplo 2

45 Una de las características requeridas para un acero al que se aplica el acero de la invención son las propiedades de resistencia a la fatiga por contacto tales como propiedades de resistencia a la fatiga por rodadura y propiedades de

resistencia a la resistencia a la fatiga superficial. Por lo tanto, la evaluación de las propiedades de fatiga por rodadura radial se realizó de la siguiente manera.

5 Las piezas de acero fundido obtenidas a partir de una pluralidad de aceros fundidos basados en componentes del tipo de acero SUJ2, en los que se cambiaron Ca, ETR, T.O, etc., para tener diferentes diámetros máximos predichos de las inclusiones, se mantuvieron durante un tiempo de 25 horas a 30 horas a una temperatura de 1.200°C a 1.250°C en un horno de calentamiento, y se realizó esferoidización con cementita. Luego, la efluencia se realizó a una temperatura de 1.000°C y 1.200°C. Las piezas de acero obtenidas se calentaron a una temperatura de 900°C a 1.200°C y se laminaron hasta $\Phi 65$ mm para proporcionar un material de una pieza de ensayo de fatiga por rodadura radial.

15 La Figura 7 muestra un aspecto de la producción de la pieza de ensayo de fatiga por rodadura radial. La Figura 7 (a) muestra la forma del material de la pieza de ensayo de fatiga por rodadura radial. La Figura 7 (b) muestra un aspecto de la recogida de la pieza de ensayo de fatiga por rodadura radial, y la Figura 7 (c) muestra una forma final de la pieza de ensayo de fatiga de rodadura radial recogida.

20 A partir del material de la pieza de ensayo de fatiga por rodadura radial (en lo sucesivo, denominada "pieza de ensayo") de $\Phi 65$ mm, se produjo una barra redonda (que tenía un orificio central en ambos extremos y un orificio pasante de $\Phi 3$ mm en una parte del extremo en una posición separada de la superficie del extremo en 5 mm) que tenía la forma (Φ : 12,2 mm, longitud: 150 mm) mostrada en la Figura 7 (a).

25 Esta barra redonda se calentó durante 30 minutos a 840°C en un horno de calentamiento por inducción, y luego se sometió a enfriamiento brusco con aceite a 50°C. A continuación, se recoció durante 90 minutos a 180°C y se enfrió con aire. A partir de la barra redonda después del tratamiento térmico, ambos extremos de la barra redonda se descartaron como se muestra en la Figura 7 (b), y cuatro piezas de ensayo de 22 mm que tienen la forma final mostrada en la Figura 7 (c) se recogieron de una parte central de la misma y se sometieron al ensayo de fatiga por rodadura radial.

30 El ensayo de fatiga radial por rodadura se realizó en 12 probetas bajo las condiciones de una carga de ensayo de 600 kgf, una velocidad de repetición de 46.240 cpm y el número de paradas de 1×10^8 usando una máquina de ensayo de fatiga por rodadura radial (nombre del producto: "máquina de ensayo de vida a fatiga cilíndrica" fabricada por NTN Corporation).

35 La Figura 8 muestra la relación entre el diámetro máximo predicho (estadísticas de valores extremos de piezas de acero) de cada pieza de ensayo, obtenida a través del método estadístico de valores extremos y la vida a rotura más corta obtenida a través del ensayo de fatiga por rodadura radial. Se obtiene 8×10^7 o más de la vida a rotura más corta cuando las estadísticas de valores extremos de piezas de acero son de 30 μm o menos.

40 Ejemplo 3

A continuación, se realizó un ensayo de flexión rotativa de tipo Ono para evaluar las propiedades de resistencia a la fatiga por flexión rotativa. La Figura 9 muestra una forma de una pieza de ensayo producida para la evaluación de las propiedades de resistencia a la fatiga por flexión rotativa.

45 Usando una pieza de ensayo producida con las dimensiones mostradas en la Figura 9, se realizó el ensayo de flexión rotativa de tipo Ono La pieza de ensayo se sometió a endurecimiento por inducción (frecuencia: 100 kHz). Se usó agua de grifo o un catalizador de enfriamiento de polímeros como refrigerante en el endurecimiento por inducción. Después del endurecimiento, se realizó un tratamiento de templado durante 1 hora a 150°C. La Tabla 3 muestra los resultados del ensayo, y la Figura 10 muestra la relación entre el esfuerzo máximo y el número de ciclos de esfuerzo a la fatiga.

Tabla 3

Nº	CLASIFICACIÓN	DURABILIDAD A FATIGA					
		ENSAYO DE FATIGA DE FLEXIÓN ROTATIVA DE TIPO ONO DURADERO EN 3×10^6 (ESFUERZO: 600 MPa)		ENSAYO DE FATIGA DE FLEXIÓN ROTATIVA DE TIPO ONO DURADERO EN 3×10^6 (ESFUERZO: 800 MPa)		ENSAYO DE FATIGA DE FLEXIÓN ROTATIVA DE TIPO ONO DURADERO EN 3×10^6 (ESFUERZO: 900 MPa)	
		EVALUACIÓN	PUNTO DE INICIO DE FRACTURA	EVALUACIÓN	PUNTO DE INICIO DE FRACTURA	EVALUACIÓN	PUNTO DE INICIO DE FRACTURA
2-1	ACERO DE LA INVENCION	DURADERO	-	DURADERO	-	ROTURA DURANTE EL ENSAYO	SUPERFICIE
	ACERO DE LA INVENCION	DURADERO	-	DURADERO	-	ROTURA DURANTE EL ENSAYO	SUPERFICIE
	ACERO DE LA INVENCION	DURADERO	-	DURADERO	-	ROTURA DURANTE EL ENSAYO	SUPERFICIE
2-2	ACERO COMPARATIVO	DURADERO	-	ROTURA DURANTE EL ENSAYO	INCLUSIONES	ROTURA DURANTE EL ENSAYO	INCLUSIONES
	ACERO COMPARATIVO	DURADERO	-	ROTURA DURANTE EL ENSAYO	INCLUSIONES	ROTURA DURANTE EL ENSAYO	INCLUSIONES
	ACERO COMPARATIVO	DURADERO	-	ROTURA DURANTE EL ENSAYO	INCLUSIONES	ROTURA DURANTE EL ENSAYO	INCLUSIONES

A partir de la Tabla 3 y la Figura 3, se descubre que el acero de la invención tiene propiedades de resistencia a la fatiga por flexión rotativa mucho mejores que el acero comparativo.

5 Como se describió anteriormente, el acero de la invención tiene propiedades de resistencia a la fatiga mucho mejores que el acero convencional. Por lo tanto, es evidente que la vida de un producto de acero producido a partir del acero de la invención aumenta significativamente.

10 La mejora en las características mecánicas del acero de la invención se verificó a la vez que se confirmaron las propiedades de resistencia a la fatiga que tienen una gran influencia sobre las inclusiones y se confirmó una disminución en el tamaño de las inclusiones no metálicas en todos los aceros esperados. Por consiguiente, en el acero de la invención, además de las propiedades de resistencia a la fatiga, también se presume que se mejoran las características mecánicas (tenacidad, ductilidad, etc.) necesarias para el moldeo por colada, el prensado y otros procesamientos.

15

Aplicabilidad industrial

20 Como se describió anteriormente, de acuerdo con la invención, el óxido de Al_2O_3 -ETR de alto punto de fusión que tiene inclusiones basadas en $CaO-Al_2O_3$ modificadas mediante la adición de una cantidad diminuta de ETR al acero fundido desoxidado con Al o al acero fundido desoxidado con Al-Si y que apenas se unen, e inclusiones no metálicas finas que contienen sulfuro de ETR, MgO, o tanto sulfuro de ETR como MgO, existen en el acero. En consecuencia, se puede proporcionar acero que tenga excelentes propiedades de resistencia a la fatiga y también se puede esperar una mejora en otras características mecánicas. Como resultado, dado que la vida de un producto de acero producido a partir del acero de la invención aumenta significativamente, la invención es altamente aplicable en industrias de producción de acero y en industrias de transformación del acero.

25

REIVINDICACIONES

1. Un acero limpio con bajo contenido en oxígeno que consiste en, como componentes químicos, en % en masa,

1,20% o menos de C,

3,00% o menos de Si,

5 16,0% o menos de Mn,

0,05% o menos de P,

0,05% o menos de S,

de 0,005% a 0,20% de Al,

mayor que 0% a 0,0005% de Ca,

10 de 0,00005% a 0,0004% de ETR, y

mayor que 0% a 0,003% de T.O; y

opcionalmente uno o dos o más de los siguientes componentes: 3,50% o menos de Cr, 0,85% o menos de Mo, 4,50% o menos de Ni, 0,20% o menos de Nb, 0,45% o menos de V, 0,30% o menos de W, 0,006 % o menos de B, 0,06% o menos de N, 0,25% o menos de Ti, 0,50% o menos de Cu, 0,45% o menos de Pb, 0,20% o menos de Bi, 0,01% o menos de Te, 0,20% o menos de Sb, y 0,01% o menos de Mg;

15

siendo el resto Fe e impurezas,

en donde

el contenido de ETR, el contenido de Ca y el contenido de T.O satisfacen las siguientes expresiones 1 y 2,

20 las inclusiones no metálicas que tienen un diámetro máximo predicho de 1 μm a 30 μm medido usando un método estadístico de valores extremos con la condición de que el área de predicción sea de 30.000 mm^2 , y contengan Al_2O_3 y óxido de ETR dispersos en el acero,

una relación media de Al_2O_3 en las inclusiones no metálicas que sea mayor que 50%,

el ETR que sea uno o dos o más elementos de tierras raras La, Ce, Pr y Nd,

25 T.O que sea una cantidad total del oxígeno disuelto en el acero y el oxígeno no disuelto presente en las inclusiones, y

el acero que sea acero desoxidado con Al o acero desoxidado con Al-Si,

$$0,15 \leq \text{ETR}/\text{Ca} \leq 4,00 \dots \text{Expresión 1}$$

30
$$\text{Ca}/\text{T.O} \leq 0,50 \dots \text{Expresión 2}$$

2. El acero limpio con bajo contenido en oxígeno de acuerdo con la reivindicación 1, en el que se cumple la siguiente Expresión 3,

35
$$0,05 \leq \text{ETR}/\text{T.O} \leq 0,50 \dots \text{Expresión 3}$$

3. Un producto de acero limpio con bajo contenido en oxígeno formado a partir del acero limpio con bajo contenido en oxígeno de acuerdo con la reivindicación 1 o 2.

FIG. 1

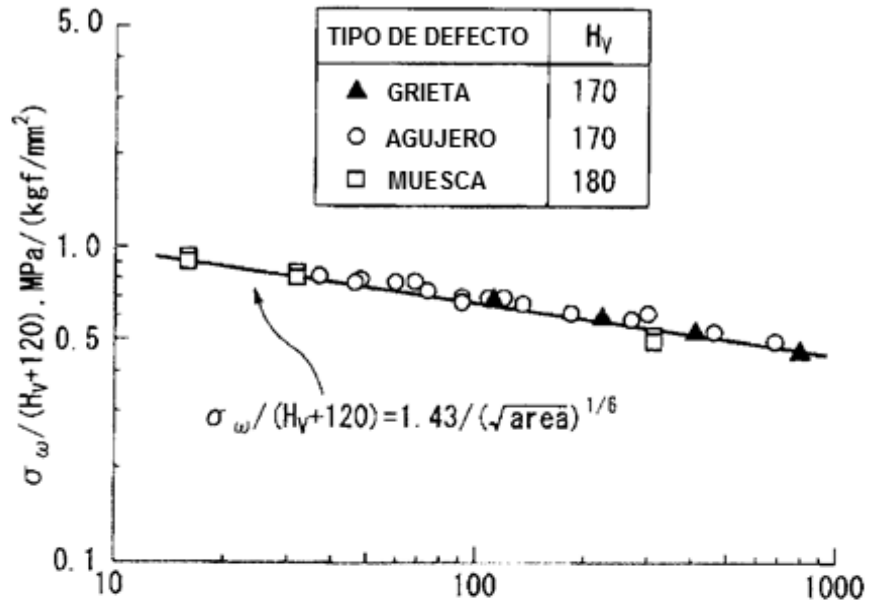


FIG. 2

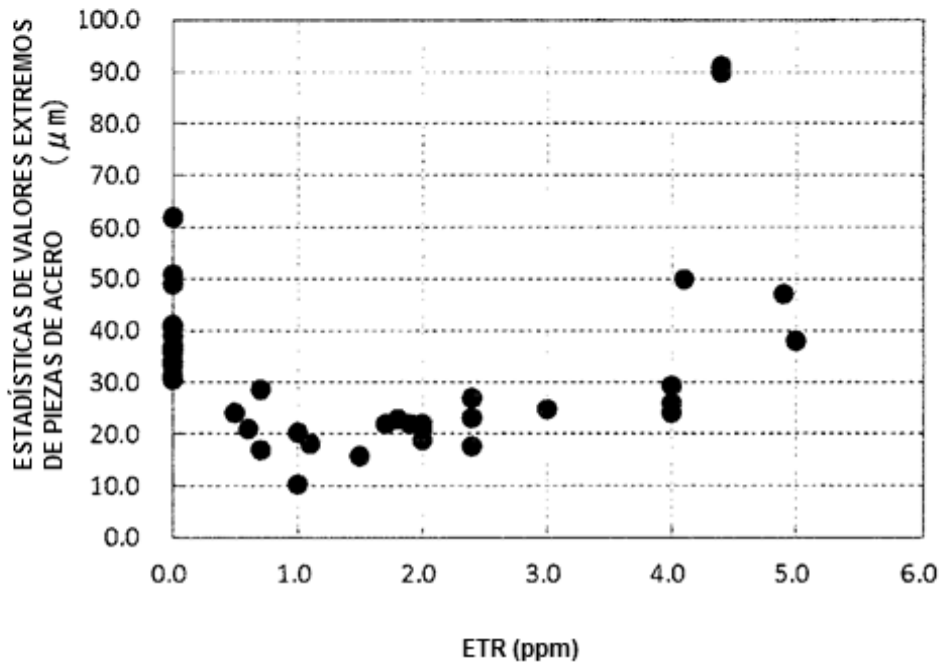


FIG. 3

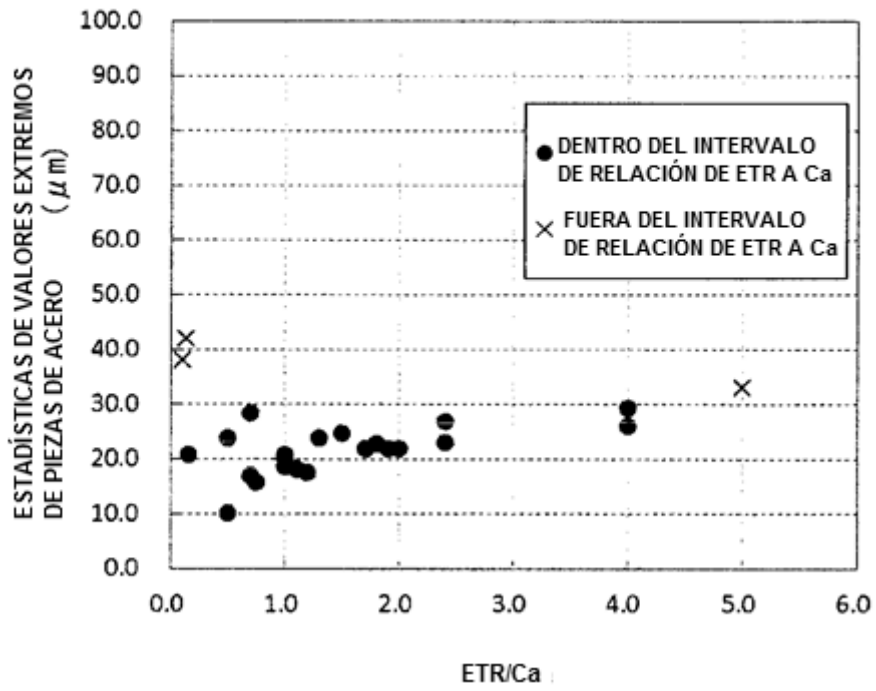


FIG. 4

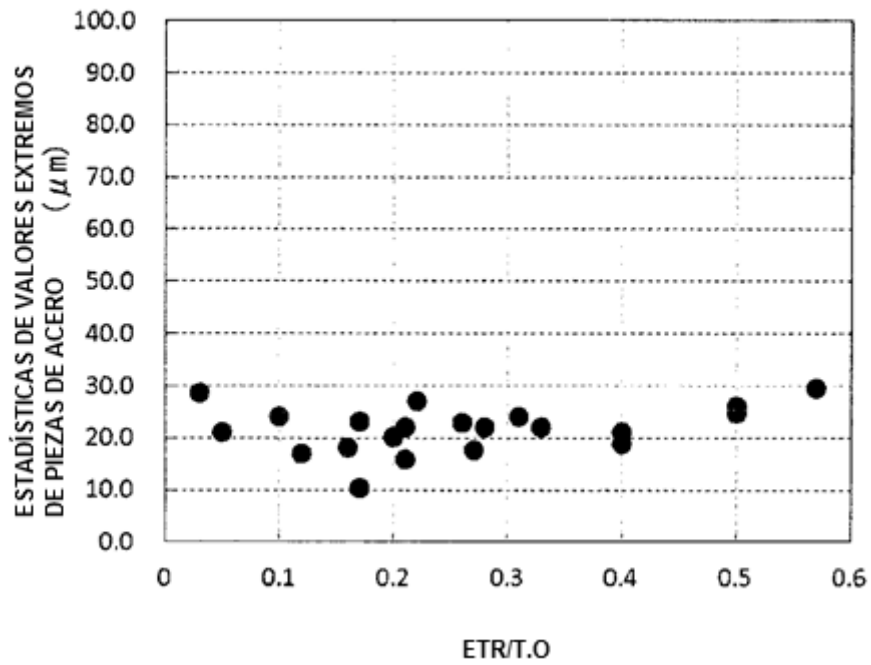


FIG. 5

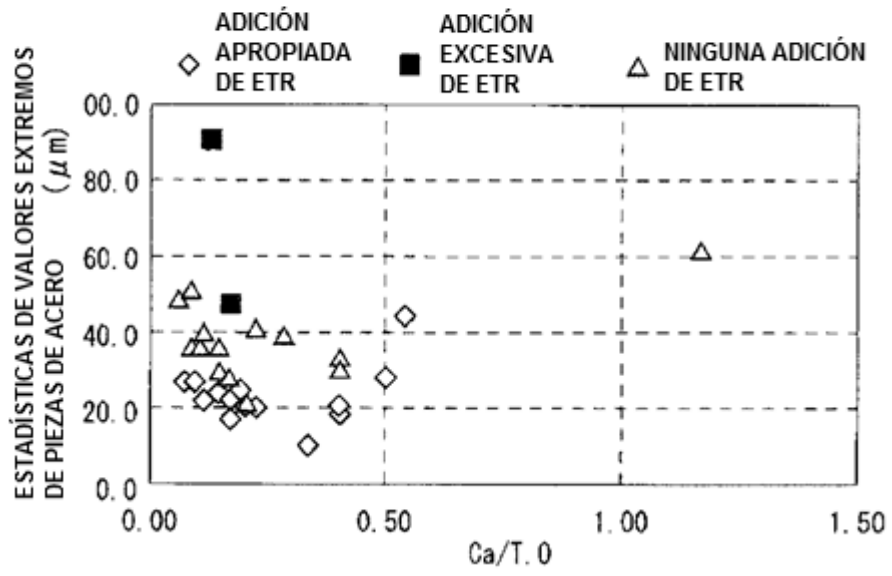


FIG. 6

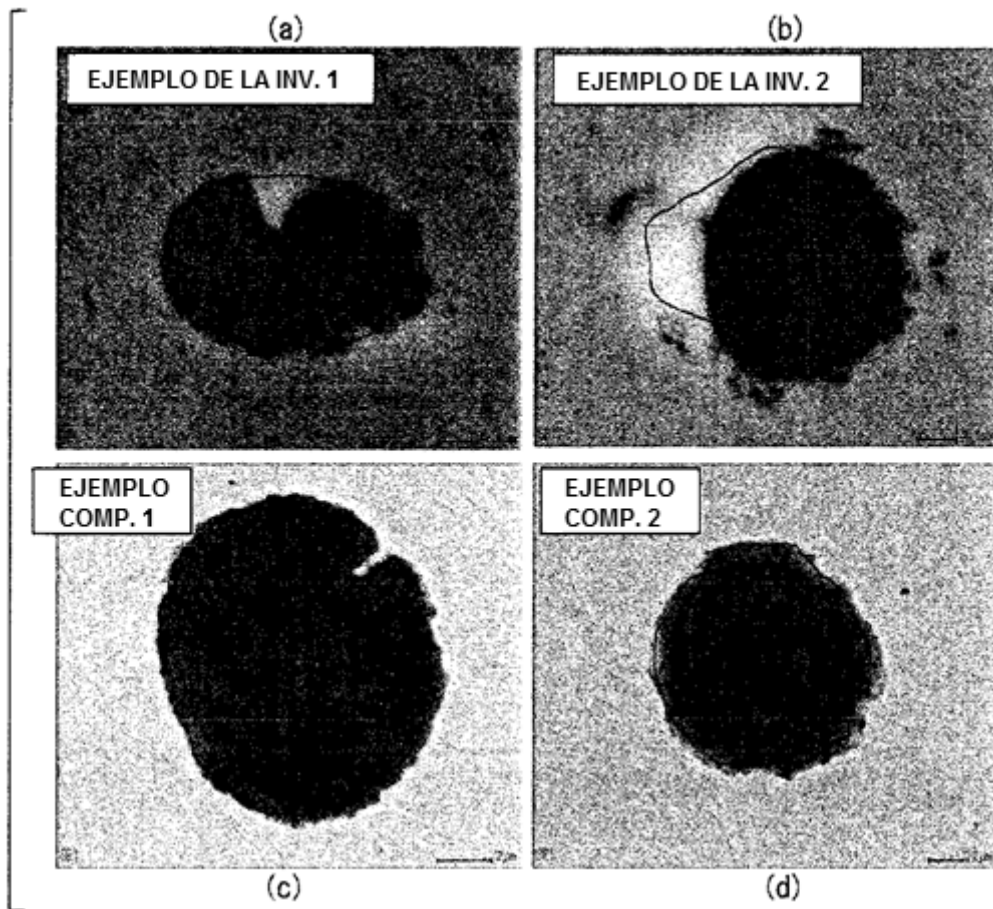


FIG. 7

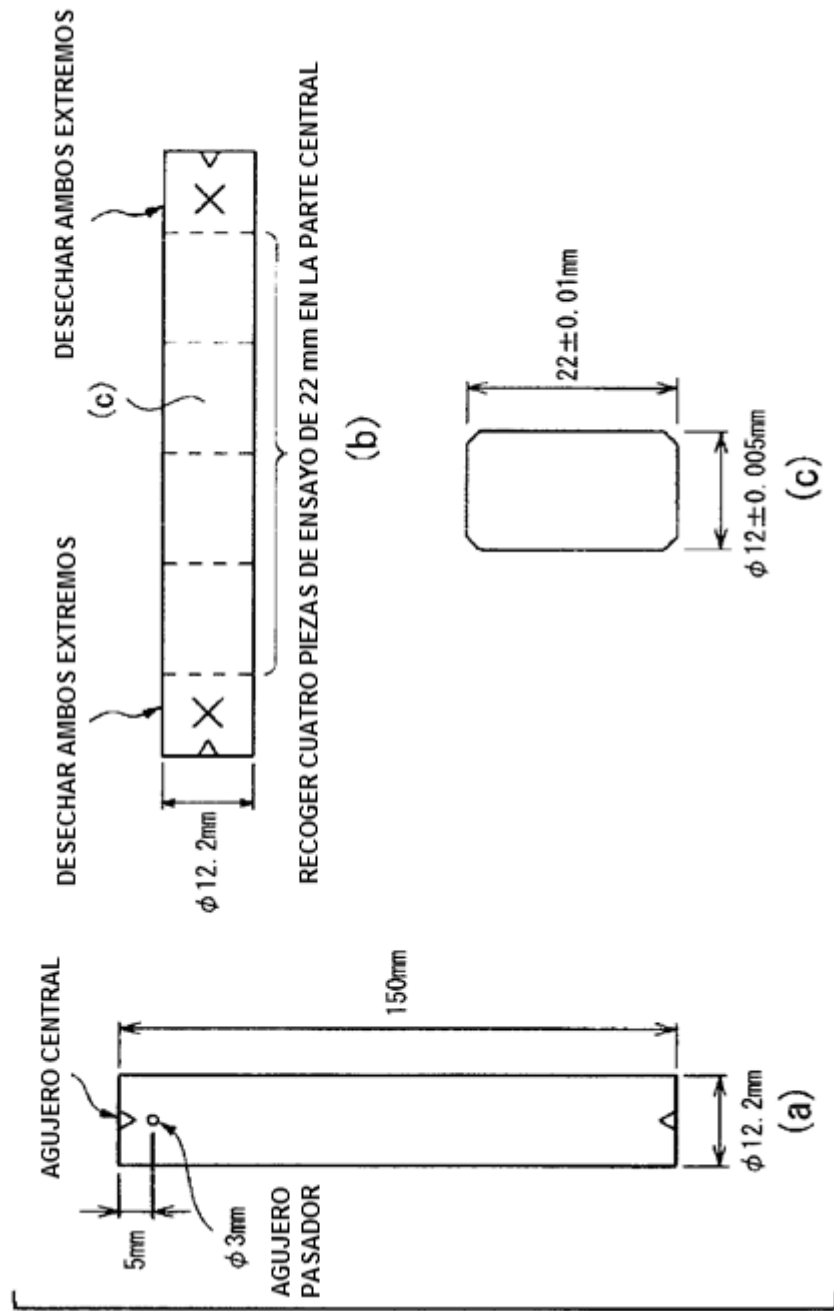


FIG. 8

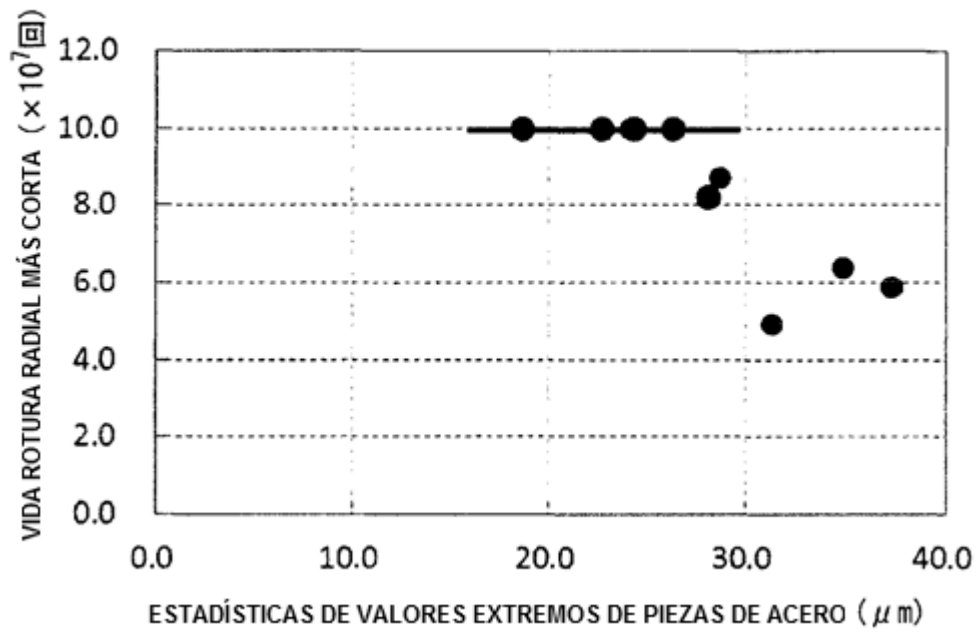


FIG. 9

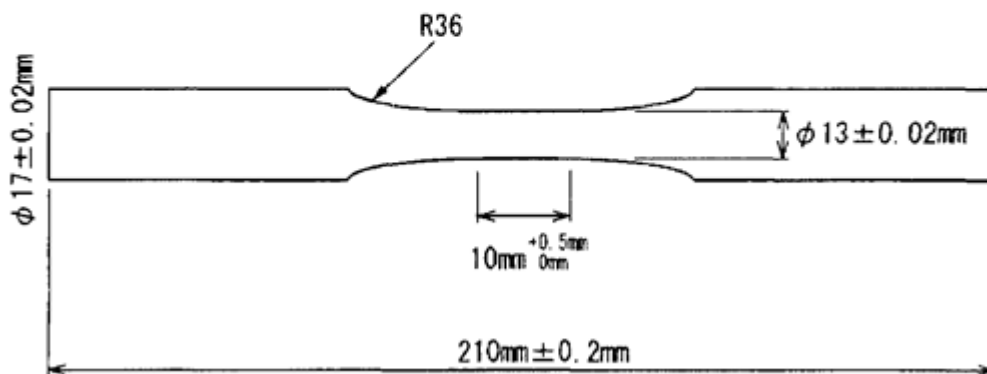


FIG. 10

