

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 543 726**

51 Int. Cl.:

B62L 1/00 (2006.01)

C22C 38/58 (2006.01)

F16D 65/12 (2006.01)

C22C 38/46 (2006.01)

C22C 38/48 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.04.2009 E 09734529 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.07.2015 EP 2287350**

54 Título: **Acero martensítico que contiene Cr de bajo contenido en carbono**

30 Prioridad:

25.04.2008 JP 2008115010

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

21.08.2015

73 Titular/es:

**JFE STEEL CORPORATION (100.0%)
2-3, Uchisaiwaicho 2-chome Chiyoda-ku
Tokyo 100-0011, JP**

72 Inventor/es:

**YAMAUCHI, KATSUHISA;
KATO, YASUSHI;
UJIRO, TAKUMI y
YAMASHITA, TAKAKO**

74 Agente/Representante:

MILTENYI, Peter

ES 2 543 726 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 martensítico que contiene Cr de bajo contenido en carbono

Campo técnico

5 La presente invención se refiere aceros martensíticos que contienen cromo de bajo contenido en carbono usados para discos de frenos de disco para vehículos de dos ruedas, tales como motocicletas y bicicletas, y que tienen resistencia a la corrosión superior, dureza de templado apropiada y resistencia al ablandamiento por revenido superior frente al calor generado durante el frenado.

Técnica anterior

10 Los discos de frenos de disco para vehículos de dos ruedas tales como motocicletas y bicicletas (secciones de deslizamiento para zapatas de freno) pueden calentarse repetidamente hasta aproximadamente 500°C durante el frenado por el calor de fricción con las zapatas de freno. Por consiguiente, los materiales usados para discos de freno requieren resistencia al calor (resistencia al ablandamiento por revenido) suficiente para no ablandarse por el calor generado durante el frenado.

15 Por otro lado, un disco de freno excesivamente duro chirría durante el frenado y desgasta considerablemente una zapata de freno. Hay por tanto un intervalo de dureza apropiado para discos de freno, normalmente de desde aproximadamente 31 hasta 38 en la HRC (escala de dureza Rockwell C). Sin embargo, la dureza puede permitirse hasta un nivel que supera HRC 40 porque el límite superior de la misma varía con el tipo de zapata de freno y la combinación de la zapata de freno y el disco.

20 Los discos de freno también requieren resistencia a la corrosión superior (resistencia a la oxidación) por consideraciones estéticas y preocupan por un efecto adverso sobre el rendimiento del freno. Por consiguiente, se han usado frecuentemente aceros inoxidables martensíticos de bajo contenido en carbono que contienen del 12% al 13% en masa de cromo como materiales para discos de freno porque no sólo tienen la resistencia a la corrosión requerida para discos de freno, sino que también tienen la dureza apropiada en un estado templado y mantienen una dureza sustancialmente apropiada cuando se someten a revenido a 500°C durante aproximadamente una hora.

25 Sin embargo, se ha exigido una resistencia al calor todavía superior para discos de freno y materiales para los mismos en vista de la mejora del rendimiento de los frenos tal como capacidad de frenado, reducción del peso y diversificación del diseño. Para cumplir esa exigencia, se han propuesto diversos aceros altamente resistentes al calor. Por ejemplo, las publicaciones de solicitud de patente japonesa no examinada n.ºs 2001-220654 y 2007-070654 proponen aceros con resistencia al ablandamiento por revenido superior, producidos añadiendo o
30 aumentando las cantidades de elementos que mejoran la resistencia al ablandamiento por revenido, tales como carbono, cobre, niobio, vanadio y molibdeno, de modo que mantiene una dureza de HRC 30 o más no solo tras el templado, sino también tras el revenido a de 550°C a 650°C durante aproximadamente una hora.

35 Además, la publicación de solicitud de patente japonesa no examinada n.º 2005-307346 propone un acero producido añadiendo cantidades apropiadas de niobio, níquel y vanadio y aumentando el contenido en nitrógeno para reducir relativamente el contenido en carbono de modo que tenga una resistencia a la corrosión superior, tenga una dureza de templado apropiada, concretamente, HRC 32 a 38, y mantenga una alta dureza, concretamente, HRC 32 o más, tras el revenido a 600°C durante dos horas.

En el documento US 2008/0000737 se da a conocer un acero inoxidable similar para su uso como frenos de disco, que tiene resistencia al calor, resistencia a la corrosión y resistencia al ablandamiento por revenido buenas.

40 En general, los discos de freno casi nunca se calientan hasta un intervalo de temperatura de 650°C a 700°C durante el frenado de, por ejemplo, una motocicleta o una bicicleta. No obstante, un material para discos de freno que tiene una resistencia al calor en un intervalo de temperatura de este tipo proporciona ventajas incluyendo un rendimiento de los frenos mejorado, una reducción del peso debido al grosor reducido y una mayor flexibilidad de diseño. Estas ventajas son particularmente beneficiosas para discos de freno de motocicletas de tamaño medio y grande,
45 especialmente motocicletas de estilo deportivo, y por consiguiente se ha esperado largamente un aumento en la resistencia al calor de los materiales para los mismos.

50 Por consiguiente, un objeto de la presente invención es proporcionar un material para discos de freno que tenga una resistencia al calor (resistencia al ablandamiento por revenido) más alta que materiales propuestos o usados convencionalmente. Un objetivo específico de la presente invención es proporcionar un material para discos de freno que tenga una dureza tras el templado de HRC 31 a 40 y una resistencia al ablandamiento por revenido suficiente para mantener una dureza apropiada, concretamente, HRC 31 a 38, tras el revenido a 700°C durante una hora.

Descripción de la invención

Es decir, la presente invención es un acero martensítico que contiene cromo de bajo contenido en carbono que contiene del 0,02% al 0,10% en masa de carbono y del 0,02% al 0,10% en masa de nitrógeno, siendo el contenido

total de carbono y nitrógeno del 0,08% al 0,16% en masa; el 0,5% en masa o menos de silicio; el 0,1% en masa o menos de aluminio; del 0,3% al 3,0% en masa de manganeso; del 10,5% al 13,5% en masa de cromo; del 0,05% al 0,60% en masa de niobio y del 0,15% al 0,80% en masa de vanadio, siendo el contenido total de niobio y vanadio del 0,25% al 0,95% en masa; del 0,02% al 2,0% en masa de níquel; y el 1,5% en masa o menos de cobre, incluyendo el resto hierro e impurezas fortuitas, y el acero tiene un valor de Fp de 80,0 a 96,0, una dureza tras el templado de HRC 31 a 40, y una dureza tras el revenido a 700°C durante una hora de HRC 31 o más. El valor de Fp se representa mediante la ecuación (1):

$$\text{Valor de Fp} = -230C + 5Si - 5Mn - 6Cu + 10Cr - 12Ni + 32Nb + 22V + 12Mo + 8W + 10Ta + 40Al - 220N \dots (1)$$

en la que los símbolos de elementos indican los contenidos de los respectivos elementos (% en masa).

10 El acero martensítico que contiene cromo de bajo contenido en carbono de la presente invención se caracteriza por contener uno o más elementos seleccionados de molibdeno, tungsteno y tantalio en una cantidad total del 0,1% al 2,0% en masa además de la composición de componentes anterior.

15 Además, el acero martensítico que contiene cromo de bajo contenido en carbono de la presente invención se caracteriza por contener uno o más elementos seleccionados de del 0,0002% al 0,0030% en masa de calcio, del 0,0002% al 0,0030% en masa de magnesio y del 0,0002% al 0,0060% en masa de boro además de la composición de componentes anterior.

Además, el acero martensítico que contiene cromo de bajo contenido en carbono de la presente invención es un acero martensítico que contiene cromo de bajo contenido en carbono que tiene una estructura que contiene el 5% en volumen o menos de fase de ferrita delta tras el templado.

20 Además, la presente invención es un disco de freno caracterizado por estar formado por el acero martensítico que contiene cromo de bajo contenido en carbono anterior.

25 Según la presente invención, puede proporcionarse un acero martensítico que contiene cromo de bajo contenido en carbono que puede mantener una dureza de HRC 31 o más cuando se somete a revenido a una temperatura de 700°C. Por consiguiente, si el acero de la presente invención se usa para discos de freno de, por ejemplo, una motocicleta o una bicicleta, permite un rendimiento del freno mejorado, una reducción del peso debido al grosor reducido y una mayor flexibilidad de diseño.

Breve descripción de los dibujos

30 La figura 1 es un gráfico que muestra la relación entre los valores de Fp y las durezas tras el revenido a 700°C de ejemplos de la invención y ejemplos comparativos que se encuentran dentro del alcance de la presente invención en cuanto a composición en los ejemplos de la presente solicitud.

La figura 2 es un gráfico que muestra la relación entre los valores de Fp y las cantidades de ferrita delta tras el templado de los ejemplos de la invención y los ejemplos comparativos que se encuentran dentro del alcance de la presente invención en cuanto a composición en los ejemplos de la presente solicitud.

35 La figura 3 es un gráfico que muestra la relación entre las cantidades de ferrita delta y las durezas tras el revenido a 700°C de los ejemplos de la invención y los ejemplos comparativos que se encuentran dentro del alcance de la presente invención en cuanto a composición en los ejemplos de la presente solicitud.

La figura 4 es un gráfico que muestra la relación entre las cantidades de adición de cobre y las durezas tras el revenido a 500°C de ejemplos de la invención y un ejemplo comparativo que está más allá del alcance de la presente invención en cuanto a contenido en cobre (2,21% en masa) en los ejemplos de la presente solicitud.

40 La figura 5 es un gráfico que muestra la relación entre las cantidades de adición de cobre y los aumentos en la dureza tras el revenido (diferencias entre las durezas tras el revenido a 500°C y las durezas tras el templado) de los ejemplos de la invención y el ejemplo comparativo que está más allá del alcance de la presente invención en cuanto a contenido en cobre (2,21% en masa) en los ejemplos de la presente solicitud.

Mejores modos para llevar a cabo la invención

45 Para solucionar el problema descrito anteriormente, los presentes inventores han estudiado en detalle los efectos de diversos componentes sobre la resistencia al calor de aceros que contienen cromo. Como resultado, los presentes inventores han encontrado que un acero que contiene cromo producido añadiendo simultáneamente cantidades apropiadas de carbono, nitrógeno, niobio y vanadio al mismo tiempo que se ajustan las cantidades de elementos añadidos para reducir la cantidad de fase de ferrita delta generada en la inmersión en calor durante el tratamiento de templado y que permanece tras el templado, lo que no se ha controlado apropiadamente en la técnica convencional, tiene una resistencia al calor suficiente para el revenido a una temperatura de 700°C debido al efecto de disolución sólida y el efecto de precipitación de estos elementos. Además, los presentes inventores han encontrado que una resistencia al calor suficiente puede garantizarse de manera más estable añadiendo cantidades apropiadas de molibdeno, tungsteno y tantalio y que la resistencia a la corrosión y la capacidad de fabricación (trabajabilidad en

caliente) pueden mejorarse añadiendo cantidades apropiadas de calcio, magnesio y boro. La presente invención se ha realizado tras un estudio adicional basado en los hallazgos anteriores. El término "ferrita delta" tal como se usa en la presente invención se refiere a una fase de ferrita formada tras el templado.

5 El término "ferrita" tal como se usa en la descripción de la presente solicitud significa a continuación en el presente documento ferrita delta a menos que se especifique lo contrario.

10 Un acero martensítico que contiene cromo de bajo contenido en carbono de la presente invención se caracteriza porque tiene una resistencia a la corrosión (resistencia a la oxidación) suficiente para discos de freno, tiene una dureza de HRC 31 a 40, preferiblemente HRC 33 a 38, en un estado templado, y tiene una resistencia al calor (resistencia al ablandamiento por revenido) suficiente para mantener una dureza de HRC 31 o más tras el revenido a 700°C durante una hora. El término "estado templado" abarca un estado sometido a revenido o recocido de liberación de tensiones leve tras el templado dependiendo de los fines.

La composición de componentes del acero martensítico que contiene cromo de bajo contenido en carbono de la presente invención se describirá a continuación.

15 Carbono: del 0,02% al 0,10% en masa; nitrógeno: del 0,02% al 0,10% en masa; y carbono + nitrógeno: del 0,08% al 0,16% en masa

20 El carbono y el nitrógeno son elementos, importantes en la presente invención, que se disuelven en el acero o que precipitan formando carburo, nitruro o carbonitruro con otro elemento tal como niobio o vanadio para proporcionar el efecto de mejora de la dureza tras el templado o revenido. Para garantizar una dureza predeterminada tras el templado o revenido, el carbono y el nitrógeno deben estar contenidos cada uno en una cantidad del 0,02% en masa o más y, al mismo tiempo, deben estar contenidos en una cantidad total del 0,08% en masa o más. Sin embargo, añadir excesivamente carbono en una cantidad que supera el 0,10% en masa aumenta los precipitados gruesos y de ese modo disminuye el efecto de inhibir el ablandamiento por revenido, y también disminuye la resistencia a la corrosión y la tenacidad. De manera similar, añadir excesivamente nitrógeno en una cantidad que supera el 0,10% en masa disminuye significativamente la ductilidad en caliente y contribuye a la formación de una costra o una grieta durante la colada o el laminado en caliente, haciendo por tanto que la fabricación sea difícil. Por consiguiente, los límites superiores de los contenidos en carbono y nitrógeno son cada uno del 0,10% en masa.

30 Además, un contenido total de carbono y nitrógeno que supera el 0,16% en masa disminuye la capacidad de fabricación, la trabajabilidad por troquelado y la resistencia al calor. Por consiguiente, los contenidos en carbono y nitrógeno son cada uno del 0,02% al 0,10% en masa, y el contenido total de los mismos es del 0,08% al 0,16% en masa. En vista de garantizar de manera estable una resistencia al calor suficiente, el contenido en carbono es preferiblemente del 0,03% en masa o más, el contenido en nitrógeno es preferiblemente del 0,04% en masa o más y el contenido total de los mismos es preferiblemente del 0,10% en masa o más. Es preferible que la dureza tras el revenido a 700°C sea más alta dentro de un intervalo apropiado, concretamente, HRC 31 o más, y una dureza de HRC 32 o más puede garantizarse de manera estable añadiendo nitrógeno en una cantidad del 0,04% en masa o más.

35 Silicio: el 0,5% en masa o menos

40 El silicio es un elemento añadido como agente desoxidante y se añade preferiblemente en una cantidad del 0,05% en masa o más junto con manganeso para lograr el efecto del mismo. Sin embargo, añadir excesivamente silicio en una cantidad que supera el 0,5% en masa promueve la formación de fase de ferrita durante el templado, disminuyendo por tanto la dureza. Por consiguiente, el contenido en silicio es del 0,5% en masa o menos.

Aluminio: el 0,1% en masa o menos

45 El aluminio es un elemento añadido como agente desoxidante, aunque el efecto desoxidante del mismo se satura si se añade en una cantidad que supera el 0,04% en masa. Además, añadir excesivamente aluminio aumenta los defectos de superficie debido a inclusiones que contienen aluminio y disminuye la trabajabilidad por troquelado. En particular, el límite superior del contenido en aluminio es del 0,1% en masa porque, si supera el 0,1% en masa, el efecto adverso del mismo aparece significativamente. Preferiblemente, el contenido en aluminio es del 0,04% en masa o menos. Además, como en el caso del silicio, el aluminio disminuye la dureza porque promueve la formación de fase de ferrita durante el templado. Por consiguiente, el aluminio es preferiblemente el 0,02% en masa o menos si se añade silicio en una cantidad del 0,1% en masa o más.

50 Manganeso: del 0,3% al 3,0% en masa

55 El manganeso es un elemento que tiene un efecto desoxidante y que es útil para inhibir la formación de fase de ferrita durante el templado para garantizar de manera estable una dureza apropiada tras el templado, y debe añadirse en una cantidad del 0,3% en masa o más para lograr el efecto del mismo. Sin embargo, el contenido en manganeso es del 3,0% en masa o menos porque añadir excesivamente manganeso disminuye significativamente la trabajabilidad por troquelado y la resistencia a la corrosión. El contenido en manganeso es preferiblemente del 0,5% en masa o más en vista de garantizar de manera estable una capacidad de endurecimiento suficiente y es

preferiblemente del 2,5% en masa o menos en vista de mejorar la trabajabilidad por troquelado y la resistencia a la corrosión.

Cromo: del 10,5% al 13,5% en masa

5 El cromo es un elemento esencial para mejorar la resistencia a la corrosión en el acero de la presente invención y debe añadirse en una cantidad del 10,5% en masa o más para lograr la resistencia a la corrosión exigida para materiales de discos. Sin embargo, añadir cromo en una cantidad que supera el 13,5% en masa disminuye la trabajabilidad por troquelado y la tenacidad y también hace difícil garantizar una dureza de templado apropiada porque no se forma una cantidad suficiente de fase martensítica tras el templado. Por consiguiente, el contenido en cromo es del 10,5% al 13,5% en masa. El contenido en cromo es preferiblemente del 11,0% en masa o más en vista de la resistencia a la oxidación y es preferiblemente del 13,0% en masa o menos en vista de la trabajabilidad por troquelado y la resistencia al calor.

Niobio: del 0,05% al 0,60% en masa; vanadio: del 0,15% al 0,80% en masa; y niobio + vanadio: del 0,25% al 0,95% en masa

15 El niobio y el vanadio son elementos que tienen un gran efecto de inhibición del ablandamiento por revenido disolviéndose en el acero o formando carbonitruro con carbono y nitrógeno y son necesarios para garantizar la resistencia al calor prevista en la presente invención, concretamente, una dureza de HRC 31 o más tras el revenido a 700°C durante una hora. Es importante añadir simultáneamente niobio y vanadio para lograr el efecto de los mismos. Específicamente, el contenido en niobio debe ser del 0,05% en masa o más, el contenido en vanadio debe ser del 0,15% en masa o más y el contenido total de los mismos debe ser del 0,25% en masa o más. Por otro lado, los contenidos en niobio y vanadio son del 0,60% en masa o menos y del 0,80% en masa o menos, respectivamente, y el contenido total de los mismos es del 0,95% en masa o menos porque añadir excesivamente niobio y vanadio disminuye la dureza tras el templado o revenido como resultado de la formación de fase de ferrita durante el templado. Por consiguiente, el contenido en niobio es del 0,05% al 0,60% en masa, el contenido en vanadio es del 0,15% al 0,80% en masa y el contenido total de niobio y vanadio es del 0,25% al 0,95% en masa. En vista de garantizar de manera estable una resistencia al calor suficiente, el contenido en niobio es preferiblemente del 0,10% en masa o más, y el contenido total de niobio y vanadio es preferiblemente del 0,35% en masa o más. En vista de la capacidad de fabricación, adicionalmente, el contenido total de niobio y vanadio es preferiblemente del 0,80% en masa o menos porque añadir excesivamente niobio o vanadio tiende a provocar defectos debidos a una trabajabilidad en caliente disminuida.

30 Níquel: del 0,02% al 2,0% en masa

El níquel es un elemento que inhibe la formación de fase de ferrita durante el templado para lograr una capacidad de endurecimiento mejorada y también mejora la resistencia a la corrosión. Para lograr estos efectos, debe añadirse níquel en una cantidad del 0,02% en masa o más. Por otro lado, el límite superior es del 2,0% en masa porque añadir excesivamente níquel aumenta la dureza antes del templado y por tanto disminuye la trabajabilidad por troquelado y también porque la dureza tras el templado puede superar un intervalo predeterminado. En particular, el contenido en níquel es preferiblemente del 1,5% en masa o menos para lograr una dureza antes del templado de HRB 95 o menos en vista de garantizar una trabajabilidad por troquelado suficiente. Más preferiblemente, el contenido en níquel es del 0,1% al 1,4% en masa.

Cobre: el 1,5% en masa o menos

40 El cobre es un elemento que mejora la resistencia a la corrosión y que tiene el efecto de inhibir el ablandamiento por revenido precipitando a una temperatura de 500°C a 600°C durante el revenido.

45 Las figuras 4 y 5 son gráficos obtenidos representando gráficamente ejemplos de la invención y un ejemplo comparativo que está más allá del alcance de la presente invención en cuanto a contenido en cobre (2,21% en masa) en los ejemplos de la presente solicitud (tablas 1-1, 1-2, 1-3 y 1-4), tal como se describe más adelante, que muestran la relación entre la cantidad de adición de cobre y la dureza tras el revenido a 500°C y la relación entre la cantidad de adición de cobre y el aumento en la dureza tras el revenido (diferencia entre la dureza tras el revenido a 500°C y la dureza tras el templado), respectivamente. Estos gráficos muestran que la adición de cobre aumenta la dureza de superficie tras el revenido a 500°C, lo que indica que inhibe el ablandamiento. Para lograr el efecto anterior, por tanto, se añade cobre preferiblemente a propósito.

50 Sin embargo, añadir excesivamente cobre junto con niobio y vanadio provoca chirridos del freno y desgaste de la zapata porque la dureza supera considerablemente el intervalo apropiado como resultado de precipitación durante el revenido. Aunque puede tolerarse un ligero exceso de dureza, por ejemplo, por el tipo de la estructura del freno y la zapata seleccionada, un nivel que supera HRC 42 está más allá del intervalo permisible. Por consiguiente, tal como se muestra en la figura 4, se añade cobre en una cantidad del 1,5% en masa o menos (incluyendo el 0% en masa). Para que la dureza tras el revenido no supere HRC 41, el contenido en cobre es preferiblemente del 0,5% en masa o menos.

Además, si el valor de Fp, descrito a continuación, supera 95,0 y se forma fase de ferrita delta en una cantidad de

aproximadamente el 4% al 5% en volumen durante la laminación en caliente, el acero tiende a presentar un defecto tal como una costra o una grieta debido a la trabajabilidad en caliente disminuida. En particular, si se añade cobre, se forma una región de cobre segregado durante la colada, y tiende a producirse una grieta en la región de cobre segregada, que tiene un bajo punto de fusión en la interfase entre las fases de austenita y de ferrita, durante la laminación en caliente. Aunque la adición de níquel es eficaz para prevenir esto, el níquel es un elemento caro. Para reducir los costes de material, por tanto, el contenido en cobre es preferiblemente del 0,3% en masa o menos y, en algunos casos, no tiene que añadirse, es decir, puede estar contenido a un nivel de impureza fortuita.

Valor de Fp: de 80,0 a 96,0

Para lograr la resistencia al calor (resistencia al ablandamiento por revenido) prevista en la presente invención, los componentes anteriores deben estar contenidos no sólo de modo que los contenidos de los mismos se encuentren dentro de los intervalos predeterminados, sino también de modo que el valor de Fp definido por la ecuación (1) a continuación satisfaga de 80,0 a 96,0:

$$\text{Valor de Fp} = -230C + 5Si - 5Mn - 6Cu + 10Cr - 12Ni + 32Nb + 22V + 12Mo + 8W + 10Ta + 40Al - 220N \dots (1)$$

en la que los símbolos de elementos indican los contenidos de los respectivos elementos (% en masa). Este valor de Fp indica la facilidad de la formación de fase de ferrita delta durante el templado, y un valor superior indica una capacidad superior para formar ferrita delta. La figura 1 muestra el valor de Fp y la dureza tras el revenido a 700°C, y la figura 2 muestra el valor de Fp y la cantidad de ferrita delta tras el templado. Además, la figura 3 muestra la relación entre la cantidad de ferrita delta y la dureza tras el revenido a 700°C. Las figuras 1, 2, y 3 se obtienen representando gráficamente ejemplos de la invención y ejemplos comparativos que se encuentran dentro del alcance de la presente invención en cuanto a composición en los ejemplos de la presente solicitud (tablas 1-1, 1-2, 1-3 y 1-4), tal como se describe más adelante.

Según las figuras 1 y 2, si el valor de Fp supera 96,0, la cantidad de ferrita delta aumenta súbitamente, y la dureza tras el revenido a 700°C desciende por consiguiente. Es decir, una gran cantidad de fase de ferrita delta formada durante el templado tiende a promover el ablandamiento por revenido. Por otro lado, no se produjo un ablandamiento súbito tras el revenido a de 500°C a 670°C aunque la cantidad de ferrita delta superó el 5%. Por tanto, la cantidad de ferrita delta no tiene que controlarse de manera estricta si la resistencia al calor deseada es 670°C o menos, y por tanto no está bien considerado en la técnica convencional. Se ha descubierto que, mientras que puede lograrse una resistencia al calor de 500°C a 670°C aunque la cantidad de fase de ferrita delta sea de varios tantos por cientos en volumen o más, la cantidad de fase de ferrita delta debe controlarse estrictamente para lograr una resistencia al calor de 700°C. Esta relación entre ferrita delta y resistencia al ablandamiento por revenido a 700°C es un hallazgo novedoso.

Tal como se muestra en la figura 3, los presentes inventores han encontrado que la cantidad de fase de ferrita delta debe ser del 5% en volumen o menos, preferiblemente del 3% o menos y más preferiblemente del 1% o menos, particularmente para mantener una dureza apropiada tras el revenido a una alta temperatura, concretamente, 700°C, logrando así una resistencia al calor sin precedentes. Desde este punto de vista, el valor de Fp deber ser de 96,0 o menos, preferiblemente de 95,0 o menos. Por otro lado, el valor de Fp es de 80,0 o más porque, si desciende por debajo de 80,0, podría provocar una trabajabilidad por troquelado disminuida debido al aumento de la dureza antes del templado, y una dureza excesiva tras el templado, y tampoco puede lograrse una dureza apropiada tras el revenido a 700°C debido a la formación de fase de austenita retenida. Por consiguiente, el valor de Fp es de 80,0 a 96,0, preferiblemente de 85,0 a 95,0.

Además de los componentes anteriores, el acero martensítico que contiene cromo de bajo contenido en carbono de la presente invención puede contener además uno o más elementos seleccionados de molibdeno, tungsteno y tantalio en una cantidad total del 0,1% al 2,0% en masa para lograr una resistencia al calor mejorada.

El molibdeno, el tungsteno y el tantalio tienen el efecto de inhibir el ablandamiento por revenido disolviéndose en el acero o formando un precipitado. En particular, estos elementos son eficaces en la inhibición del ablandamiento por revenido en un intervalo de temperatura que supera 650°C, reduciendo así la disminución en la dureza tras el revenido a 700°C. Para lograr este efecto, se añaden preferiblemente uno o más elementos seleccionados de molibdeno, tungsteno y tantalio en una cantidad total del 0,1% en masa o más. Por otro lado, el contenido total de los mismos es preferiblemente del 2,0% en masa o menos porque añadir excesivamente estos elementos da como resultado, por ejemplo, una capacidad de fabricación disminuida debido a la resistencia a la deformación en caliente aumentada, la trabajabilidad por troquelado disminuida debido a la dureza aumentada antes del templado y la dureza disminuida tras el revenido a 700°C debido a la formación de fase de ferrita durante el templado como resultado de segregación en la estructura. Por consiguiente, es preferible añadir uno o más de molibdeno, tungsteno y tantalio en una cantidad total del 0,1% al 2,0% en masa, dependiendo del nivel requerido de resistencia al calor. Más preferiblemente, el contenido total de los mismos es del 0,2% en masa o más en vista de mejorar la resistencia al calor y es del 1,5% en masa o menos en vista de la capacidad de fabricación, la trabajabilidad y la reducción de costes.

Además de los componentes anteriores, el acero martensítico que contiene cromo de bajo contenido en carbono de

la presente invención puede contener además uno o más elementos seleccionados del 0,0002% al 0,0030% en masa de calcio, del 0,0002% al 0,0030% en masa de magnesio y del 0,0002% al 0,0060% en masa de boro para lograr una capacidad de fabricación y una resistencia a la corrosión mejoradas.

5 El calcio, el magnesio y el boro son eficaces en la inhibición del efecto adverso del azufre y el fósforo, que son perjudiciales para la trabajabilidad en caliente, para mejorar la capacidad de fabricación en, por ejemplo, laminación en caliente. Para lograr este efecto, se añade calcio preferiblemente en una cantidad del 0,0002% en masa o más, se añade magnesio preferiblemente en una cantidad del 0,0002% en masa o más y se añade boro preferiblemente en una cantidad del 0,0002% en masa o más. Por otro lado, los contenidos en calcio y magnesio son preferiblemente cada uno del 0,0030% en masa o menos y el contenido en boro es preferiblemente del 0,0060% en masa o menos porque añadir excesivamente calcio y magnesio disminuye la resistencia a la corrosión y añadir excesivamente boro disminuye la colabilidad y la trabajabilidad en caliente. Por tanto es preferible añadir, según se necesite, uno o más elementos seleccionados de del 0,0002% al 0,0030% en masa de calcio, del 0,0002% al 0,0030% en masa de magnesio y del 0,0002% al 0,0060% en masa de boro, más preferiblemente, del 0,0005% al 0,0030% en masa de calcio, del 0,0005% al 0,0030% en masa de magnesio y del 0,0005% al 0,0060% en masa de boro.

Si está contenido azufre en una cantidad que supera el 0,005% en masa como impureza fortuita, el contenido en calcio se limita preferiblemente al 0,0010% en masa o menos en vista de garantizar una resistencia a la corrosión suficiente.

20 El resto distinto a los componentes anteriores en el acero martensítico que contiene cromo de bajo contenido en carbono de la presente invención incluye hierro e impurezas fortuitas. De las impurezas fortuitas, el fósforo y el azufre son elementos perjudiciales que disminuyen la trabajabilidad en caliente, la tenacidad y la resistencia a la corrosión, y por tanto es preferible reducir los contenidos de los mismos tanto como sea posible. Específicamente, el contenido en fósforo es preferiblemente del 0,05% en masa o menos, y el contenido en azufre es preferiblemente del 0,008% en masa o menos. Más preferiblemente, el contenido en fósforo es del 0,03% en masa o menos, y el contenido en azufre es del 0,005% en masa o menos.

Además, el acero martensítico que contiene cromo de bajo contenido en carbono de la presente invención puede contener componentes distintos a los anteriores a menos que confieran el funcionamiento y las ventajas de la presente invención. Por ejemplo, el acero puede contener titanio en una cantidad del 0,1% en masa o menos, cobalto en una cantidad del 0,4% en masa o menos, y un REM, hafnio, itrio, circonio y antimonio en una cantidad total del 0,05% en masa o menos en vista de mejorar la resistencia al calor, la resistencia a la corrosión y la capacidad de fabricación.

A continuación, se describirá un método para producir el acero martensítico que contiene cromo de bajo contenido en carbono de la presente invención.

35 El método usado para producir el acero que contiene cromo de la presente invención puede ser un método conocido para producir un material para frenos de disco, y se prefiere el siguiente método, por ejemplo.

Se prepara un acero que satisface la composición de componentes anterior, por ejemplo, en un convertidor de acero o un horno eléctrico, y el acero fundido se somete a refinado secundario mediante, por ejemplo, descarburación con oxígeno al vacío (VOD) o descarburación con oxígeno y argón (AOD) y entonces se forman bloques que tienen un grosor de 100 a 250 mm mediante colada continua o colada-laminación de lingotes. Se prefiere colada continua en vista de la productividad y una calidad de la chapa de acero uniforme.

40 Los bloques así formados se calientan entonces hasta de 1.000°C a 1.300°C, se laminan en caliente para dar chapas de acero laminadas en caliente que tienen un grosor de 3 a 10 mm, y se someten opcionalmente a recocido, descascarillado tal como granallado, decapado o rectificado, y corrección de la forma tal como laminación de endurecimiento, produciendo así materiales para frenos de disco. Para facilitar el troquelado para formar discos de freno, las chapas laminadas en caliente se recuecen preferiblemente a una temperatura de 650°C a 900°C de modo que la dureza es de 100 o menos, más preferiblemente de 95 o menos, en HRB (escala de dureza Rockwell B).

50 Para un freno de disco que tiene un grosor de 3 mm o menos, el material usado es preferiblemente una chapa de acero laminada en caliente que se lamina en caliente hasta un grosor de 3 mm o menos o una chapa de acero laminada en frío producida sometiendo una chapa de acero laminada en caliente que tiene un grosor de 3 mm o más a laminación en frío y luego opcionalmente a, por ejemplo, recocido, descascarillado y corrección de la forma.

A continuación, se describirá un método para producir un disco de freno.

55 El método usado para producir un disco de freno puede ser un método conocido. Por ejemplo, una chapa cortada o en rollo de chapa de acero laminada en caliente o laminada en frío producida de la manea anterior se troquela en una forma de disco, por ejemplo, mediante troquelado, y se troquela además para formar, por ejemplo, ranuras o pequeños orificios que tienen la función de enfriar y descargar el polvo de desgaste, formando así una forma deseada. El disco se somete a templado calentando el disco hasta una temperatura de 950°C a 1.250°C usando un horno de tratamiento térmico tal como un dispositivo de calentamiento por inducción de alta frecuencia o un horno de

tratamiento térmico de tipo continuo o tipo discontinuo y luego enfriando el disco a una velocidad de enfriamiento superior o igual a la del enfriamiento con aire, preferiblemente seguido por descascarillado tal como decapado o pulido de la superficie y tratamiento antioxidación tal como tratamiento ácido, por ejemplo, tratamiento de pasivación, o recubrimiento, produciendo así un disco de freno. El método usado para el templado puede ser el templado con troquel, que también sirve como corrección de la forma. Además, puede llevarse a cabo opcionalmente un recocido de liberación de tensiones. Aunque una de las principales características del acero de la presente invención es que puede usarse para discos de freno tras templado solo (el revenido no es necesario), puede usarse tras el revenido.

Ejemplos

Se prepararon aceros que tenían las composiciones de componentes mostradas en las tablas 1-1, 1-2, 1-3 y 1-4 como lingotes de acero de 100 kg usando un horno de fusión a vacío de alta frecuencia, y se laminaron en caliente los lingotes de acero para formar chapas laminadas en caliente que tenían un grosor de 4 mm en condiciones normales. Posteriormente, se sometieron estas chapas laminadas en caliente a tratamiento térmico recociendo las chapas en una atmósfera de gas inerte a de 650°C a 850°C durante más de ocho horas y luego enfriando gradualmente las chapas, formando así chapas laminadas en caliente recocidas. Durante la laminación en caliente, se examinó la presencia o ausencia de grietas y la carga de laminación durante la laminación, y se examinaron las chapas laminadas en caliente para detectar la presencia o ausencia de un defecto tal como una costra o una grieta observando visualmente las superficies de las chapas de acero. Se evaluaron las chapas de acero como XC (malas) en capacidad de fabricación si tenían un defecto considerable, se evaluaron como ΔB (razonables) en capacidad de fabricación si tenían un defecto menor y eran aceptables para uso práctico, y se evaluaron como OA (buenas) en capacidad de fabricación si no tenían ningún problema.

Se sometieron las chapas laminadas en caliente recocidas así formadas a las siguientes pruebas.

(1) Prueba de capacidad de endurecimiento

Se tomaron muestras que medían un grosor x 30 mm x 30 mm de las chapas laminadas en caliente recocidas anteriores y se sometieron a templado calentando las chapas en diversas condiciones mostradas en la tabla 2 y luego enfriando las chapas con aire. Después de que las superficies de las muestras templadas se descascarillaran mediante rectificado y pulido, se midió la dureza de superficie HRC de las mismas en cinco puntos usando un durómetro Rockwell según la norma JIS Z2245, y se determinó el promedio de la misma como la dureza de templado de ese material. Se determinó que las muestras eran aceptables si tenían una dureza tras el templado de HRC 31 a 40.

(2) Prueba de resistencia al calor (resistencia al ablandamiento por revenido)

Se sometieron a revenido adicionalmente las muestras templadas anteriores calentando las muestras a tres niveles, concretamente, a 500°C durante una hora, a 650°C durante una hora y a 700°C durante una hora, y luego enfriando las muestras con aire. Después de que las superficies de las muestras se descascarillaran mediante rectificado, se evaluaron para determinar la resistencia al calor midiendo la dureza de superficie HRC de las mismas en cinco puntos usando un durómetro Rockwell según la norma JIS Z2245 y determinando el promedio de la misma. Se determinó que las muestras eran aceptables si tenían una dureza tras el revenido a 700°C durante una hora de HRC 31 o más.

(3) Prueba de resistencia a la corrosión

Se tomaron muestras que medían un grosor x 70 mm x 150 mm de las chapas laminadas en caliente recocidas anteriores, se sometieron a pulido en húmedo usando un papel de lija n.º 320, y se sometieron a una prueba de pulverización de sal (SST) según la norma JIS Z2371. La SST continuó durante 48 horas, y se contó el número de puntos oxidados observando visualmente las superficies de las muestras tras la prueba. Se determinó que las muestras eran OA (buenas) si no tenían ningún punto oxidado, se determinó que eran ΔB (razonables) si tenían de uno a cuatro puntos oxidados, y se determinó que eran XC (malas) si tenían cinco o más puntos oxidados, siendo OA y ΔB aceptables.

(4) Medición de la cantidad de ferrita delta

Para la medición de la cantidad de ferrita delta, se pulieron secciones transversales de las muestras templadas, se sometieron a ataque con ácido con un reactivo de prueba de Murakami y se examinaron para determinar su microestructura usando un microscopio óptico. Para cada muestra, se tomaron micrografías ópticas en cinco campos de visión a un aumento de 400 veces, se midió la cantidad de fase de ferrita delta mediante análisis de imágenes y se determinó el promedio de los mismos.

Los resultados de las pruebas anteriores se muestran juntos en las tablas 2-1 y 2-2. Según las tablas 2-1 y 2-2, los aceros n.º 1 a 12, los aceros n.º 23 a 26 y los aceros n.º 30 a 34, que tenían composiciones de componentes que cumplían con la presente invención, tenían una dureza tras el templado de HRC 31 a 40 y una dureza tras el revenido a 700°C de HRC 31 o más, teniendo por tanto una resistencia al ablandamiento por revenido superior, y también eran superiores en resistencia a la corrosión y capacidad de fabricación.

ES 2 543 726 T3

En cambio, las chapas de acero de los aceros n.º 13 a 22, los aceros n.º 27 a 29 y los aceros n.º 35 a 40, que no satisficieron la composición de componentes de la presente invención, no tenían una dureza tras el templado de HRC 31 a 40 o, si tenían una dureza tras el templado de HRC 31 a 40, tenían una dureza tras el revenido a 700°C de menos de HRC 31 o no lograban la capacidad de fabricación o resistencia a la corrosión prevista en la presente invención.

5

El acero n.º 16, en el que el contenido total de niobio y vanadio era excesivo, se determinó que era ΔB en capacidad de fabricación debido a un defecto que resultó de una trabajabilidad en caliente disminuida. Además, el acero n.º 25, en el que el contenido en azufre no era inferior al 0,005% en masa y el contenido en calcio superaba el 0,0010% en masa, se determinó que era ΔB en resistencia a la oxidación porque tenía una resistencia a la corrosión inferior.

- 10 Además, los aceros n.º 35 a 38 son ejemplos de una invención, realizada anteriormente por el presente solicitante, en los que la dureza tras el revenido a 600°C durante dos horas es HRC 32 o más (aceros n.º F, G, L y X en la tabla 1 de la publicación de solicitud de patente japonesa no examinada n.º 2005-307346). El acero n.º 35, en el que el valor de Fp estaba dentro del alcance de la presente invención pero el contenido en vanadio estaba más allá del alcance de la presente invención, no pudo lograr una dureza tras el revenido a 700°C de HRC 31 o más. Además,
- 15 (los aceros n.º) 36 a 38, en los que el valor de Fp superaba el límite superior del alcance de la presente invención, no pudieron lograr una dureza tras el revenido a 700°C de HRC 31 o más porque la cantidad de ferrita delta tras el templado no era inferior al 9% en volumen.

Tabla 1-1

Acero n.º	Composición química (% en masa, excepto porque Ca, Mg y B se expresan en ppm en masa)												
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Al	Nb	V	Mo	Ta
1	0,048	0,30	1,55	0,03	0,002	12,2	0,67	-	0,002	0,23	0,20	-	-
2	0,029	0,17	1,68	0,02	0,003	11,9	0,24	0,49	0,001	0,16	0,33	-	-
3	0,060	0,07	1,04	0,03	0,003	13,1	1,64	-	0,002	0,19	0,41	-	-
4	0,067	0,13	1,71	0,01	0,004	11,7	0,50	0,94	0,005	0,21	0,15	1,16	-
5	0,049	0,33	1,50	0,03	0,001	12,0	1,25	-	0,001	0,12	0,61	-	-
6	0,070	0,14	1,87	0,03	0,003	12,2	0,49	-	0,011	0,20	0,18	-	0,78
7	0,055	0,25	1,12	0,01	0,005	10,9	0,08	0,30	0,018	0,24	0,20	-	-
8	0,045	0,14	0,50	0,03	0,002	11,5	0,85	-	0,001	0,17	0,28	-	-
9	0,057	0,10	1,65	0,02	0,003	12,6	0,98	-	0,010	0,19	0,20	0,51	-
10	0,050	0,20	1,99	0,03	0,002	11,2	0,33	0,48	0,003	0,40	0,25	0,30	-

Acero n.º	Composición química (% en masa, excepto porque Ca, Mg y B se expresan en ppm en masa)									Observaciones
	W	N	Ca	Mg	B	C+N	Nb+V	Mo+Ta+W	Fp ^{*1)}	
1	-	0,057	-	-	-	0,11	0,43	-	96,0	Ejemplo de la invención
2	-	0,075	-	-	-	0,10	0,49	-	94,9	Ejemplo de la invención
3	-	0,054	-	-	-	0,11	0,60	-	96,0	Ejemplo de la invención
4	-	0,079	-	-	-	0,15	0,36	1,16	88,8	Ejemplo de la invención
5	0,50	0,062	-	-	-	0,11	0,73	0,50	95,5	Ejemplo de la invención
6	-	0,068	-	-	-	0,14	0,38	0,78	95,0	Ejemplo de la invención
7	-	0,080	-	-	-	0,14	0,44	-	84,4	Ejemplo de la invención
8	-	0,052	-	-	-	0,10	0,45	-	92,9	Ejemplo de la invención
9	-	0,066	-	-	-	0,12	0,39	0,51	95,9	Ejemplo de la invención
10	-	0,059	-	-	-	0,11	0,65	0,30	93,8	Ejemplo de la invención

*1): Valor de Fp =
-230 C + 5Si - 5Mn -
6Cu + 10Cr - 12Ni +
32Nb + 22V + 12Mo +
8W + 10Ta + 40Al -
220N

20 Tabla 1-2

Acero n.º	Composición química (% en masa, excepto porque Ca, Mg y B se expresan en ppm en masa)												
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Al	Nb	V	Mo	Ta
11	0,072	0,12	1,32	0,03	0,002	12,1	0,40	-	0,002	0,20	0,50	-	-
12	0,092	0,38	0,44	0,01	0,001	12,2	1,30	1,46	0,007	0,50	0,15	0,50	0,10
13	0,060	0,22	1,04	0,03	0,003	12,0	0,51	-	0,003	0,03	0,30	-	-
14	0,042	0,25	1,61	0,01	0,005	12,1	0,11	-	0,003	0,24	0,26	-	-

ES 2 543 726 T3

15	0,073	0,28	1,54	0,03	0,005	12,4	0,65	0,42	0,001	0,34	0,08	-	-
16	0,079	0,35	0,90	0,03	0,005	11,8	1,50	-	0,001	0,25	0,84	-	-
17	0,098	0,10	1,30	0,02	0,001	12,3	1,00	-	0,014	0,20	0,14	-	-
18	0,012	0,22	0,75	0,01	0,005	10,6	0,69	1,50	0,001	0,33	0,42	-	0,09
19	0,064	0,09	1,05	0,04	0,005	12,1	0,65	2,21	0,002	0,32	0,30	0,48	-
20	0,112	0,40	1,90	0,05	0,006	10,7	0,14	-	0,005	0,24	0,45	0,40	-

Acero n.º	Composición química (% en masa, excepto porque Ca, Mg y B se expresan en ppm en masa)									Observaciones
	W	N	Ca	Mg	B	C+N	Nb+V	Mo+Ta+W	Fp ^{*)}	
11	-	0,072	-	-	-	0,14	0,70	-	95,3	Ejemplo de la invención
12	0,21	0,061	-	-	-	0,15	0,65	0,81	91,0	Ejemplo de la invención
13	0,10	0,039	-	-	-	0,10	0,33	0,10	95,9	Ejemplo comparativo
14	-	0,045	-	-	-	0,09	0,50	-	106,8	Ejemplo comparativo
15	-	0,034	-	-	-	0,11	0,42	-	95,8	Ejemplo comparativo
16	-	0,045	-	-	-	0,12	1,09	-	95,7	Ejemplo comparativo
17	0,50	0,014	-	-	-	0,11	0,34	0,50	93,4	Ejemplo comparativo
18	0,35	0,061	-	-	-	0,07	0,75	0,44	93,4	Ejemplo comparativo
19	-	0,035	-	-	-	0,10	0,62	0,48	95,4	Ejemplo comparativo
20	-	0,018	-	-	-	0,13	0,69	0,40	90,7	Ejemplo comparativo

*)1): Valor de Fp = -230C + 5Si - 5Mn - 6Cu + 10Cr - 12Ni + 32Nb + 22V + 12Mo + 8W + 10Ta + 40Al - 220N

Tabla 1-3

Acero n.º	Composición química (% en masa, excepto porque Ca, Mg y B se expresan en ppm en masa)												
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Al	Nb	V	Mo	Ta
21	0,084	0,08	2,26	0,02	0,004	12,0	1,98	-	0,021	0,28	0,18	0,52	0,50
22	0,090	0,26	0,94	0,01	0,002	12,5	2,24	-	0,018	0,30	0,26	-	-
23	0,073	0,10	0,97	0,05	0,007	11,9	0,30	0,11	0,003	0,28	0,20	-	-
24	0,070	0,18	1,20	0,05	0,006	12,2	0,38	0,35	0,001	0,30	0,17	0,18	-
25	0,062	0,20	1,61	0,05	0,005	11,8	0,25	0,34	0,004	0,18	0,39	-	0,22
26	0,065	0,17	1,55	0,05	0,004	12,1	0,91	-	0,002	0,21	0,30	0,50	-
27	0,085	0,25	1,70	0,05	0,007	12,2	0,40	-	0,001	0,30	0,16	-	0,47
28	0,064	0,28	0,55	0,01	0,009	10,6	0,62	0,83	0,026	0,55	0,16	-	-
29	0,072	0,15	1,32	0,04	0,006	12,3	0,75	-	0,001	0,34	0,36	-	-
30	0,068	0,15	1,92	0,03	0,002	12,5	0,88	-	0,020	0,15	0,25	-	-

Acero n.º	Composición química (% en masa, excepto porque Ca, Mg y B se expresan en ppm en masa)									Observaciones
	W	N	Ca	Mg	B	C+N	Nb+V	Mo+Ta+W	Fp ^{*)}	
21	1,10	0,023	-	-	-	0,11	0,46	2,12	94,8	Ejemplo comparativo
22	-	0,070	-	-	-	0,16	0,56	-	74,7	Ejemplo comparativo
23	-	0,053	-	-	-	0,13	0,48	-	95,4	Ejemplo de la invención
24	-	0,067	-	-	32	0,14	0,47	0,18	94,9	Ejemplo de la invención
25	0,25	0,070	14	8	-	0,13	0,57	0,47	95,0	Ejemplo de la invención

ES 2 543 726 T3

26	-	0,055	-	10	18	0,12	0,51	0,50	95,5	Ejemplo de la invención
27	-	0,056	<u>35</u>	6	15	0,14	0,46	0,47	95,9	Ejemplo comparativo
28	0,61	0,046	10	<u>31</u>	-	0,11	0,71	0,61	94,4	Ejemplo comparativo
29	-	0,066	-	8	<u>85</u>	0,14	0,70	-	95,9	Ejemplo comparativo
30	-	0,030	-	-	-	0,10	0,40	-	94,5	Ejemplo de la invención

*1): Valor de Fp = -230C + 5Si - 5Mn - 6Cu + 10Cr - 12Ni + 32Nb + 22V + 12Mo + 8W + 10Ta + 40Al - 220N

Tabla 1-4

Acero n.º	Composición química (% en masa, excepto porque Ca, Mg y B se expresan en ppm en masa)												
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Al	Nb	V	Mo	Ta
31	0,075	0,09	1,58	0,03	0,002	11,8	0,03	0,14	0,002	0,29	0,16	0,20	-
32	0,076	0,12	1,52	0,03	0,002	11,9	0,20	0,14	0,006	0,32	0,17	0,21	-
33	0,069	0,28	1,60	0,02	0,002	11,8	0,03	0,46	0,005	0,32	0,17	0,21	-
34	0,065	0,26	1,62	0,03	0,003	11,9	0,14	0,45	0,003	0,30	0,17	0,19	-
35	0,022	0,30	1,58	0,02	0,003	12,7	0,58	0,44	0,003	0,18	<u>0,08</u>	-	-
36	0,042	0,24	1,55	0,02	0,002	12,7	0,17	-	0,003	0,09	0,15	-	-
37	0,020	0,13	1,82	0,02	0,002	12,6	0,23	0,33	0,002	0,09	0,28	-	-
38	0,020	0,22	1,61	0,02	0,003	12,5	0,31	-	0,003	0,12	0,28	-	-
39	0,072	0,11	0,66	0,03	0,005	11,8	0,73	-	0,002	0,27	0,16	0,30	-
40	0,049	0,33	1,03	0,03	0,005	12,1	0,50	0,77	0,043	0,15	0,35	-	-

Acero n.º	Composición química (% en masa, excepto porque Ca, Mg y B se expresan en ppm en masa)									Observaciones
	W	N	Ca	Mg	B	C+N	Nb+V	Mo+Ta+W	Fp ^{*1)}	
31	-	0,053	-	-	-	0,13	0,45	0,20	95,7	Ejemplo de la invención
32	-	0,056	-	-	-	0,13	0,49	0,21	95,7	Ejemplo de la invención
33	-	0,063	-	-	-	0,13	0,49	0,21	95,3	Ejemplo de la invención
34	-	0,060	-	-	-	0,13	0,46	0,19	95,2	Ejemplo de la invención
35	-	0,083	-	-	-	0,11	0,26	-	95,1	Ejemplo comparativo ^{*2)}
36	-	0,058	-	-	-	0,10	<u>0,24</u>	-	<u>101,8</u>	Ejemplo comparativo ^{*2)}
37	-	0,095	-	-	-	0,12	0,37	-	<u>96,5</u>	Ejemplo comparativo ^{*2)}
38	-	0,100	-	-	-	0,12	0,40	-	<u>98,1</u>	Ejemplo comparativo ^{*2)}
39	-	0,034	-	-	-	0,11	0,43	0,30	<u>98,3</u>	Ejemplo comparativo
40	-	0,049	-	-	-	0,10	0,50	-	<u>99,1</u>	Ejemplo comparativo

*1): Valor de Fp = -230C + 5Si - 5Mn - 6Cu + 10Cr - 12Ni + 32Nb + 22V + 12Mo + 8W + 10Ta + 40Al - 220N

*2): Los aceros n.º 35-38 corresponden a los aceros n.º F, G, L y X en las tablas 1-1 y 1-2 de la publicación de solicitud de patente japonesa no examinada n.º 2005-307346

Tabla 2-1

Acero n.º	Condi-ciones de templado	Cantidad de ferrita tras el templado (%)	Dureza (HRC)				Capacidad de fabricación	Resis-tencia a la oxida-ción	Observaciones
			Tras el templado	Tras el revenido					
				500°C	650°C	700°C			
1	1190°C x 1 min	5	35,5	37,7	33,4	32,4	OA	OA	Ejemplo de la invención
2	1160°C x	2	35,1	38,2	33,9	32,3	OA	OA	Ejemplo de la

ES 2 543 726 T3

	10 min								invención
3	1230°C x 5 min	4	38,5	39,9	33,5	32,1	OA	OA	Ejemplo de la invención
4	1030°C x 10 min	≤1	36,7	41,0	35,6	33,2	OA	OA	Ejemplo de la invención
5	1200°C x 1 min	2	37,2	38,3	33,6	32,1	OA	OA	Ejemplo de la invención
6	1090°C x 10 min	3	38,4	40,4	34,3	32,6	OA	OA	Ejemplo de la invención
7	1180°C x 10 min	≤1	36,8	39,8	34,5	32,0	OA	ΔB	Ejemplo de la invención
8	1210°C x 10 min	2	34,9	37,5	33,8	32,4	OA	OA	Ejemplo de la invención
9	1150°C x 15 min	5	37,7	39,0	36,1	34,4	OA	OA	Ejemplo de la invención
10	1200°C x 1 min	2	36,0	40,4	35,4	33,7	OA	OA	Ejemplo de la invención
11	1120°C x 10 min	5	36,9	38,7	34,5	32,2	OA	OA	Ejemplo de la invención
12	990°C x 10 min	≤1	39,2	41,7	35,8	33,1	OA	OA	Ejemplo de la invención
13	1200°C x 10 min	5	35,4	37,6	32,0	<u>28,2</u>	OA	OA	Ejemplo comparativo
14	1150°C x 10 min	19	34,9	37,3	31,9	<u>29,8</u>	OA	OA	Ejemplo comparativo
15	1200°C x 1 min	4	37,1	40,4	33,3	<u>28,5</u>	OA	OA	Ejemplo comparativo
16	1150°C x 10 min	5	36,0	38,0	33,0	<u>29,3</u>	ΔB	OA	Ejemplo comparativo
17	1240°C x 1 min	≤1	38,5	40,6	32,9	<u>27,6</u>	OA	ΔB	Ejemplo comparativo
18	1070°C x 10 min	2	34,0	41,5	34,8	<u>29,0</u>	OA	ΔB	Ejemplo comparativo
19	1000°C x 2 min	4	34,7	<u>43,1</u>	34,7	32,2	<u>XC</u>	OA	Ejemplo comparativo
20	1020°C x 10 min	≤1	36,6	39,2	30,5	<u>27,5</u>	ΔB	<u>XC</u>	Ejemplo comparativo

Tabla 2-2

Acero n.º	Condiciones de templado	Cantidad de ferrita tras el templado (%)	Dureza (HRC)				Capacidad de fabricación	Resistencia a la oxidación	Observaciones
			Tras el templado	Tras el revenido					
				500°C	650°C	700°C			
21	980°C x 10 min	2	39,7	42,0	35,5	<u>29,5</u>	<u>XC</u>	OA	Ejemplo comparativo
22	1000°C x 10 min	≤1	<u>40,8</u>	<u>42,5</u>	33,2	<u>30,2</u>	OA	OA	Ejemplo comparativo
23	1200°C x 1 min	5	36,2	38,0	33,6	32,2	ΔB	ΔB	Ejemplo de la invención
24	1140°C x 10 min	3	36,6	39,4	33,8	32,5	OA	OA	Ejemplo de la invención
25	1150°C x 10 min	3	35,9	39,5	33,4	32,1	OA	ΔB	Ejemplo de la invención
26	1210°C x 10 min	5	37,2	39,3	34,1	33,0	OA	OA	Ejemplo de la invención
27	1200°C x 1 min	5	36,8	40,2	33,5	32,2	OA	<u>XC</u>	Ejemplo comparativo
28	990°C x 15 min	≤1	37,2	41,4	34,5	33,1	ΔB	<u>XC</u>	Ejemplo comparativo
29	1100°C x 10 min	5	37,2	39,7	33,8	32,8	<u>XC</u>	OA	Ejemplo comparativo
30	1240°C x 0,2 min	2	36,2	37,9	32,9	31,1	OA	OA	Ejemplo de la invención
31	1190°C x 10 min	5	37,5	38,5	33,4	32,0	ΔB	OA	Ejemplo de la invención
32	1190°C x 10 min	5	37,1	39,0	33,6	32,2	OA	OA	Ejemplo de la invención
33	1200°C x 0,2 min	4	36,8	39,6	33,8	32,3	ΔB	OA	Ejemplo de la invención

ES 2 543 726 T3

34	1200°C x 0,2 min	3	36,6	39,6	34,0	32,4	OA	OA	Ejemplo de la invención
35	1180°C x 1 min	4	35,1	38,0	31,3	<u>27,3</u>	OA	OA	Ejemplo comparativo*2
36	1120°C x 10 min	16	36,1	36,5	27,8	<u>25,4</u>	OA	OA	Ejemplo comparativo*2
37	1200°C x 0,5 min	9	37,0	37,6	33,3	<u>29,3</u>	OA	OA	Ejemplo comparativo*2
38	1230°C x 1 min	11	36,8	38,5	30,6	<u>28,0</u>	OA	OA	Ejemplo comparativo*2
39	1180°C x 0,5 min	10	37,4	39,5	31,4	<u>29,7</u>	OA	OA	Ejemplo comparativo
40	1180°C x 0,5 min	8	36,5	41,2	31,4	<u>30,2</u>	OA	OA	Ejemplo comparativo

*2): Los aceros n.º 35-38 corresponden a los aceros n.º F, G, L y X en las tablas 1-1 y 1-2 de la publicación de solicitud de patente japonesa no examinada n.º 2005-307346.

REIVINDICACIONES

1. Acero martensítico que contiene cromo de bajo contenido en carbono que comprende:
 del 0,02% al 0,10% en masa de carbono y del 0,02% al 0,10% en masa de nitrógeno, siendo el contenido total de carbono y nitrógeno del 0,08% al 0,16% en masa;
- 5 el 0,5% en masa o menos de silicio;
 el 0,1% en masa o menos de aluminio;
 del 0,3% al 3,0% en masa de manganeso;
 del 10,5% al 13,5% en masa de cromo;
- 10 del 0,05% al 0,60% en masa de niobio y del 0,15% al 0,80% en masa de vanadio, siendo el contenido total de niobio y vanadio del 0,25% al 0,95% en masa;
 del 0,02% al 2,0% en masa de níquel;
 el 1,5% en masa o menos de cobre;
- que comprende además opcionalmente uno o más elementos seleccionados de
 del 0,1% al 2,0% en masa de molibdeno, tungsteno y tantalio,
- 15 del 0,0002% al 0,0030% en masa de calcio y magnesio, y
 del 0,0002% al 0,0060% en masa de boro;
- comprendiendo el resto hierro e impurezas fortuitas, teniendo el acero un valor de Fp de 80,0 a 96,0, una dureza tras el templado de HRC 31 a 40 y una dureza tras el revenido a 700°C durante una hora de HRC 31 o más, estando representado el valor de Fp por la ecuación (1):
- 20 valor de Fp = $-230C + 5Si - 5Mn - 6Cu + 10Cr - 12Ni + 32Nb + 22V + 12Mo + 8W + 10Ta + 40Al - 220N$
 (1)
- en la que los símbolos de elementos indican los contenidos de los respectivos elementos (% en masa).
2. Acero martensítico que contiene cromo de bajo contenido en carbono según la reivindicación 1, en el que el acero tiene una estructura que contiene el 5% en volumen o menos de fase de ferrita delta tras el templado.
- 25 3. Disco de freno que comprende un acero martensítico que contiene cromo de bajo contenido en carbono según la reivindicación 1 ó 2.

FIG. 1

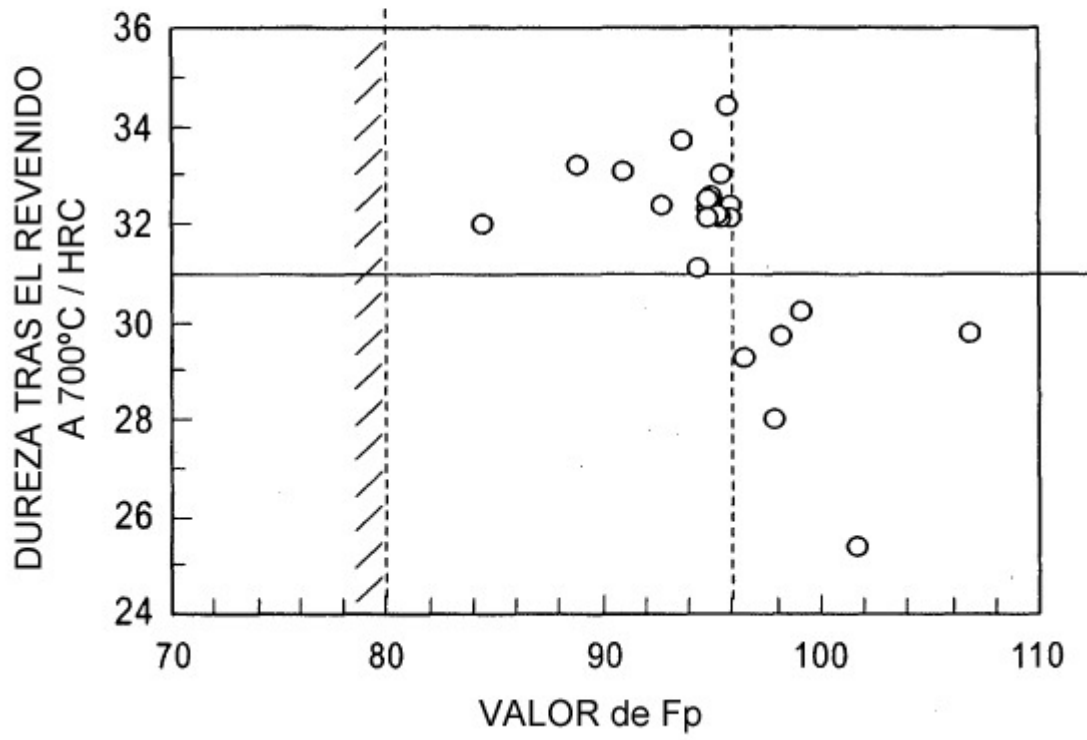


FIG. 2

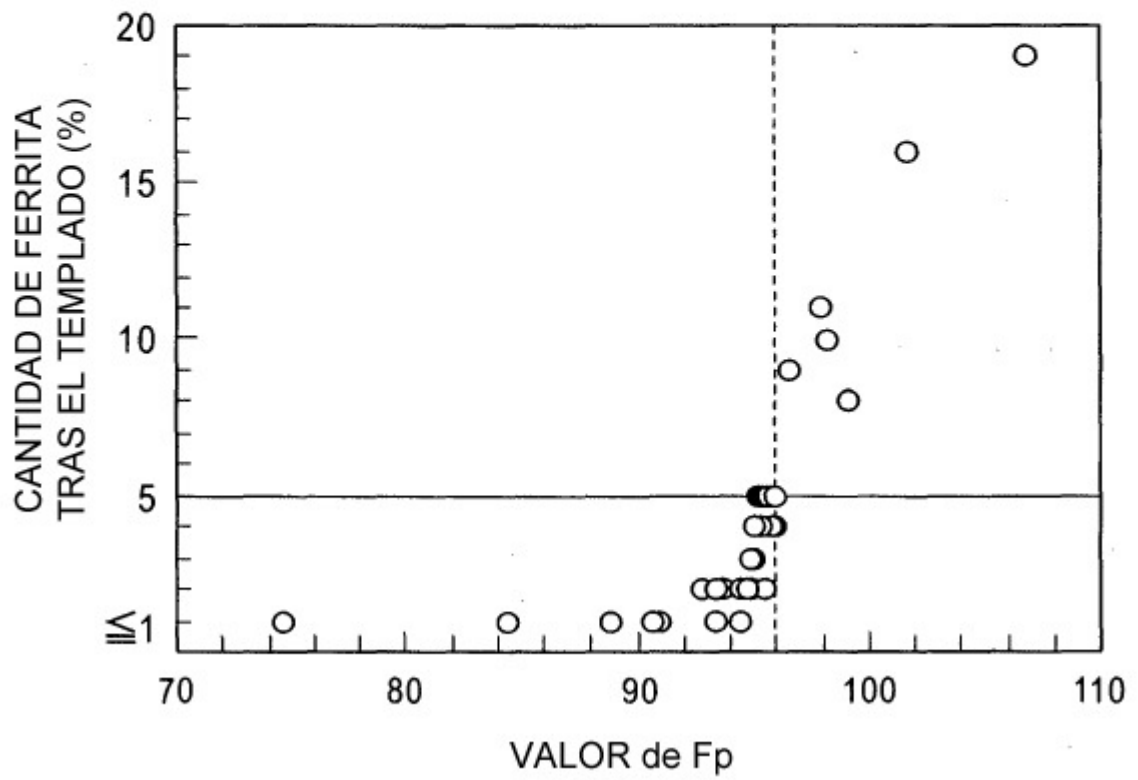


FIG. 3

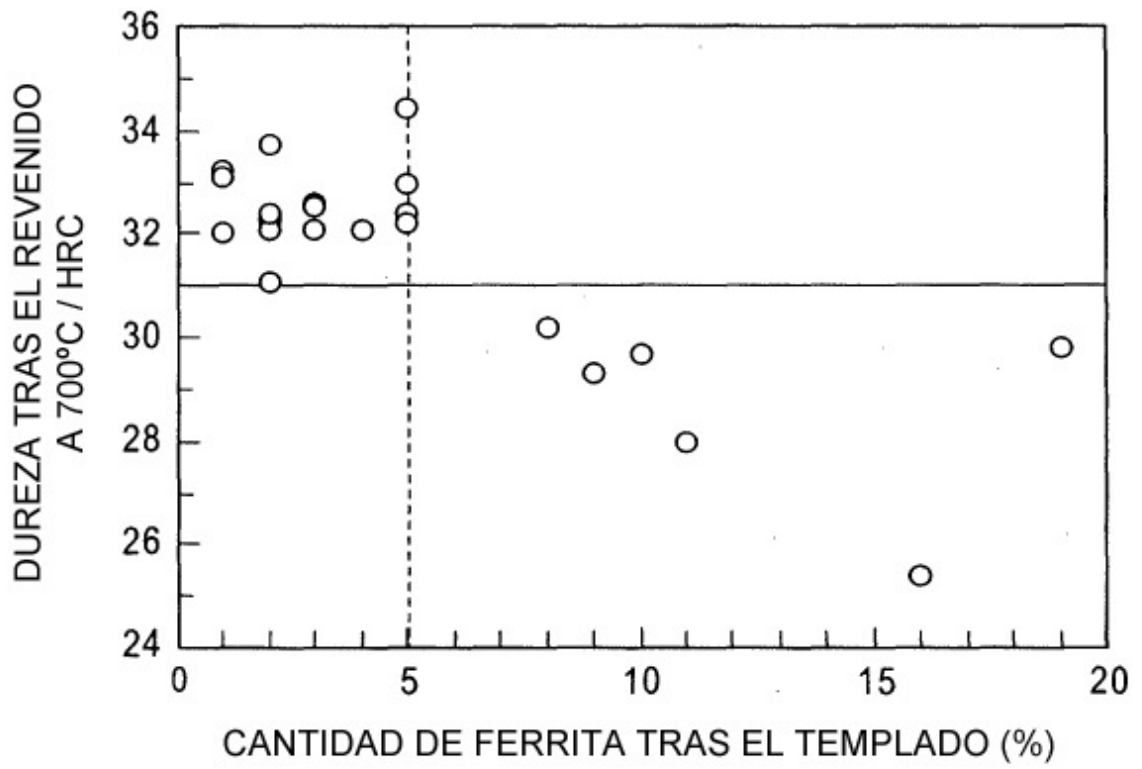


FIG. 4

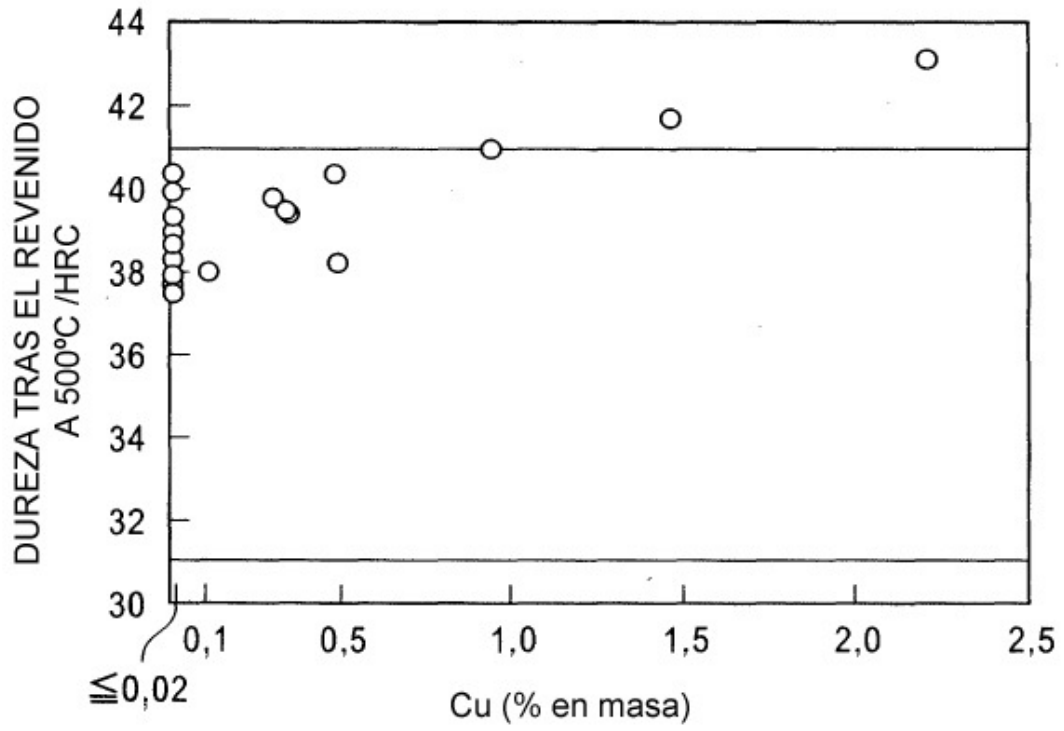


FIG. 5

