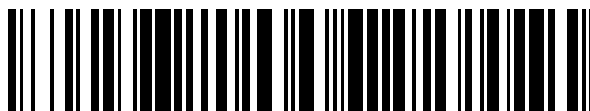


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 562 625**

51 Int. Cl.:

B21B 27/00 (2006.01)

B22D 13/02 (2006.01)

C22C 37/08 (2006.01)

C22C 37/10 (2006.01)

B32B 15/01 (2006.01)

B22D 19/16 (2006.01)

B21B 27/03 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.11.2012 E 12851017 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.02.2016 EP 2706128**

54 Título: **Rodillo compuesto fundido centrífugamente y su método de producción**

30 Prioridad:

21.11.2011 JP 2011253588

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

07.03.2016

73 Titular/es:

**HITACHI METALS, LTD. (100.0%)
2-1 Shibaura 1-chome Minato-ku
Tokyo 105-8614, JP**

72 Inventor/es:

**ODA, NOZOMU;
SEGAWA, TAKAYUKI y
NOZAKI, YASUNORI**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 562 625 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

Rodillo compuesto fundido centrífugamente y su método de producción

5 CAMPO DE LA INVENCION

La presente invención se relaciona con un rodillo compuesto que comprende una capa exterior formada por un método de fundición centrífuga, el cual está unido integralmente por fusión a la capa interior rígida, y su método de producción.

10 ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Debido a que los rodillos para laminadores de bandas están sujetos al desgaste y rugosidad en sus superficies de capa exterior debido a una carga mecánica y térmica por contacto con las hojas que se laminan, deteriorando las dimensiones, formas y calidad de la superficie de las hojas laminadas, éstos deberían intercambiarse periódicamente. Los rodillos usados se trituraron para remover el desgaste y rugosidad de la superficie causados por la laminación, y después son usados para la siguiente laminación. Cuando tal ciclo de intercambio de rodillo es corto, la laminación se interrumpe frecuentemente, lo que resulta en una baja productividad. Consecuentemente, se requieren rodillos con buena resistencia al desgaste y resistencia a la rugosidad de la superficie.

En un laminador de bandas, una hoja que está siendo laminada puede estar sujeta al llamado problema de laminado plegado, en el cual la hoja se pliega mientras se mueve entre plataformas y se lamina en un estado plegado por los rodillos superior e inferior. Particularmente en plataformas corriente abajo, por ejemplo, principalmente después de una quinta plataforma en un equipo de laminación de acabado que tiene siete plataformas, tal problema tiende a ocurrir debido a una velocidad de laminación alta.

Debido a que una hoja laminada se adhiere a una superficie de capa exterior del rodillo en tal problema de laminación, una carga mecánica, térmica excesiva se aplica al rodillo, de tal manera que la capa exterior del rodillo puede agrietarse. Cuando el rodillo agrietado continúa siendo usado, es probable que los agrietamientos se propaguen, causando rompimiento del rodillo, lo cual se llama fractura o fisura térmica. Consecuentemente, una vez que ocurre el problema de laminación plegada, una superficie de rodillo se corta para retirar las grietas. Las grietas profundas necesitan un corte profundo, lo que resulta en una gran pérdida del rodillo y un costo de rodillo alto. Consecuentemente, se desean los rodillos que tienen buena resistencia a fallas, los cuales sufren poco daño por agrietamiento en tal problema de laminación.

Así, en plataformas corriente abajo en un laminador de acabado, se usan rodillos de grano que contienen grafito para una excelente resistencia a fallas {resistencia al gripado). Sin embargo, debido a que los rodillos de grano convencionales tienen una resistencia al desgaste deficiente y así una vida corta, el intercambio y rectificado de los rodillos debería realizarse frecuentemente, resultando en baja productividad. Por otro lado, los rodillos de acero de alta velocidad que comprenden capas exteriores que tienen composiciones similares a las de aceros de herramienta de alta velocidad tienen resistencia al desgaste alta, pero debido a que éstos no contienen grafito, éstos sufren de gripado y agrietamiento de choque térmico grande en el problema de laminación plegada. Por lo tanto, los rodillos de acero de alta velocidad no pueden usarse en plataformas corriente abajo en un laminador de acabado. Así, se requiere mejorar la resistencia al desgaste para rodillos de grano usados en plataformas corriente abajo en un laminador de acabado en caliente.

Contra tal demanda, JP 2005 a 105296 A describe una capa exterior para un rodillo de laminación en caliente que tiene excelente resistencia al desgaste y resistencia a la rugosidad de la superficie, el cual tiene una composición que comprende, en masa, 2.5 a 3.5% de C, 1.0 a 2.5% de Si, 0.3 a 1% de Mn, 0.3 a 5% de Ni, 1.5 a 2.5% de Cr, 1.0 a 4% de Mo, 1.4 a 3.0% de V, 0.1 a 0.5% de Nb, y 0.0005 a 0.2% de B, el resto siendo Fe e impurezas inevitables, y una estructura que contiene 50000 a 1000000/mm² de finos carburos que tienen longitudes máximas de 0.1 a 5 µm en por lo menos parte de la matriz. Esta capa exterior para el rodillo se produce por un método de fundición centrífuga a una temperatura de fundición de 1320° C y una fuerza centrífuga de 160 G.

Se ha encontrado, sin embargo, que cuando una capa exterior de hierro fundido de grano que contiene una cantidad incrementada de V, un elemento de formación de carburo duro, como se describió en JP 2005-105296 A es fundido centrífugamente, dendritas segregadas similares al polvo de bainita y/o martensita crecen tan grandes hasta 1.5 mm o más en diámetro, en una región de hasta aproximadamente 10 mm o más de profundidad desde la superficie de la capa exterior. Las dendritas segregadas similares al polvo con menos carburos se desgastan predominantemente que una estructura de ambiente, y las porciones desgastadas similares al polvo se transfieren a una hoja laminada, deteriorando su calidad. Tal segregación similar a polvo es causada por la segregación de solidificación en fundición centrífuga. Particularmente, cuando se solidifica bajo una fuerza centrífuga, las fases de austenita de carbono bajo cristalizado que constituyen las dendritas tienen una gravedad específica mayor que la de una fase líquida, de tal manera que éstas se mueven hacia el lado de la superficie exterior por una fuerza centrífuga. Las dendritas segregadas similares al polvo gruesas se forman mediante el siguiente mecanismo: Fases de austenita cristalizada en una masa fundida que tiene una concentración de carbono incrementada por la migración de fases de austenita hacia el lado de la superficie exterior no pueden moverse en una masa fundida concentrada en carbono que tiene viscosidad incrementada debida al incremento en una proporción de fase sólida, de tal manera que éstas crecen

grandes y se transforman en bainita y/o martensita. Consecuentemente, el rodillo compuesto que tiene una capa exterior de hierro fundido de grano, el cual se describe en JP 2005-105296 A, no se puede usar en plataformas corriente abajo en un laminador de acabado.

5 JP 6-335712 A describe un rodillo de laminación en caliente resistente al gripado que tiene una composición química que comprende, en peso, 2.0 a 4.0% de C, 0.5 a 4.0% de Si, 0.1 a 1.5% de Mn, 2.0 a 6.0% de Ni, 7.0% de Cr_t y 2.0 a 8.0% de V, el resto siendo Fe y elementos de impureza, y una estructura metálica que comprende una matriz, 0.5 a 5% por área de grafito, 0.2 a 10% por área de carburo MC, y 10 a 40% por área de cementita. JP 6-335712 A describe adicionalmente que además de los componentes anteriores, éste puede contener adicionalmente, en peso, uno o más de 0.3 a 4.0% de Mo, 1.0 a 10% de Co, 1.0 a 10% de Nb, 0.01 a 2.0% de Ti 0.002 a 0.2% de B, y 0.02 a 1.0% de Cu. Sin embargo, aún este rodillo contiene dendritas segregadas similares al polvo de bainita y/o martensita. Esto parece ser debido al hecho de que como en JP 2005-105296 A, una fase de austenita cristalizada durante la fundición centrífuga se segrega por una fuerza centrífuga.

15 JP 2004-323961 describe una capa exterior para un rodillo compuesto de laminación en caliente, la cual tiene una composición que comprende 2.6 a 3.5% en masa de C, 1.5 a 2.5% en masa de Si, 0.2 a 1.5% en masa de Mn, 10 a 2.5% en masa de Cr, 10 a 3.0% en masa de Mo, 2.0 a 7.0% en masa de Ni, 13 a 2.5% en masa de V, 0.1 a 0.8% en masa de Nb, 0.020 a 0.2% en masa de B, y uno o dos de 0.05% o menos en masa de Ti y 0.1% o menos en masa de Al, el resto siendo Fe e impurezas inevitables, y una estructura que comprende partículas de grafito que tienen diámetros de círculo equivalente de 20 µm o más a 10/mm² o más, con la proporción de esferoidización de partículas de diámetros de círculo equivalente de 20 µm o más siendo 15 a 75%. Aunque esta referencia contempla la segregación de carburos, esto no describe específicamente las condiciones de composición de V, Nb y Mo y las condiciones de producción para evitar la generación de dendritas segregadas similares al polvo de bainita y/o martensita dentro de la capa exterior.

25 JP 2004-162104 A describe una capa exterior para rodillo compuesto de laminación en caliente que tiene una composición que comprende, en masa, 2.6 a 3.5% de C, 1.0 a 2.5% de Si, 0.2 a 1.5% de Mn, 0.8 a 2.7% de Cr, 1.0 a 3.0% de Mo, 2.0 a 7.0% de Ni, 1.3 a 2.5% de V, 0.1 a 0.8% de Nb, y 0.020 a 0.2% de B, y las cantidades de C, Cr, Nb y V cumpliendo con la siguiente fórmula (1) a (3):

$$2.0 \leq C - (0.24 \times V + 0.13 \times Nb) \leq 3.0 \dots (1),$$

$$Cr/C < 1.0 \dots (2), \text{ y}$$

$$3.0 \leq Cr + V \leq 4.5 \dots (3),$$

35 en donde cada uno de C, V, Nb y Cr representa la cantidad (% en masa) de cada elemento, y además comprende uno o dos de menos de 0.05% de Ti y 0.1 % o menos de Al, el resto siendo Fe e impurezas inevitables. Aunque esta referencia contempla la segregación de carburos, no describe específicamente las condiciones de composición de V, Nb y Mo y las condiciones de producción para evitar la generación de dendritas segregadas similares al polvo de bainita y/o martensita en la capa exterior.

40 JP 2003-342669 A describe una capa exterior para un rodillo de laminación en caliente que tiene excelente resistencia al desgaste, resistencia al gripado y resistencia a la rugosidad de la superficie, la cual tiene una composición que comprende, en masa, 2.4 a 3.2% de C, 0.9 a 2.5% de Si, 0.2 a 1.5% de Mn, 0.8 a 2.5% de Cr, 1.2 a 4.0% de Mo, 2.0 a 7.0% de Ni, 1.5 a 2.7% de V, 0.1 a 0.8% de Nb, 0.020 a 0.2% de B, y 0.0006 a 0.040% de REM, las cantidades C, Cr, Nb, V cumpliendo con las siguientes fórmulas (1) a (3):

45

$$1.8 \leq C - (0.236 \times V + 0.129 \times Nb) \leq 2.6 \dots (1),$$

$$Cr/C < 1.0 \dots (2), \text{ y}$$

$$3.0 \leq Cr + V \leq 4.6 \dots (3),$$

50 en donde cada uno de C, V, Nb y Cr representa la cantidad (% en masa) de cada elemento, y además comprende uno o dos de menos de 0.05% de Ti y 0.1% o menos de Al, el resto siendo Fe e impurezas inevitables, y una estructura que comprende grafito. Aunque esta referencia contempla la segregación de carburos, no describe específicamente las condiciones de composición de V, Nb y Mo y las condiciones de producción para evitar la generación de dendritas segregadas similares al polvo de bainita y/o martensita en la capa exterior

5 JP 2004-68142 A describe una capa exterior para un rodillo de laminación en caliente que tiene excelente resistencia al gripado y resistencia al desgaste, el cual tiene una composición que comprende, en masa, 2.9 a 3.8% de C, 0.8 a 2.0% de Si, 0.2 a 1.5% de Mn, 1.5 a 3.5% de Cr, 0.8 a 3.5% de Mo, 3.0 a 7.0% de Ni, 1.0 a 3.5% de V, 0.10.8% de Nb, 0.020 a 0.2% de B, y 0.002 a 0.030% de REM y se cumplen las siguientes fórmulas (1) y (2):

$$2.5 \leq C - (0.236 \times V + 0.129 \times Nb) \leq 3.2 \dots (1), \text{ y}$$

$$0.5 \leq Cr/C < 1.0 \dots (2),$$

10 en donde cada uno de C, V, Nb y Cr representan la cantidad (% en masa) de cada elemento, el resto siendo Fe e impurezas inevitables. Aunque esta referencia contempla la segregación de carburos, no describe específicamente las condiciones de composición de V, Nb y Mo y las condiciones de producción para evitar la generación de dendritas segregadas similares al polvo de bainita y/o martensita en la capa exterior.

15 JP 8-209299 A describe un rodillo de laminación en caliente que tiene resistencia al gripado alta, el cual comprende, en peso, 2.0 a 4.0% de C, 1.0 a 5.0% de Si, 0.1 a 2.0% de Mn, 0.1 a 6.0% de Cr, 0.1 a 6.0% de Mo, 0.1 a 6.0% de V, y 1.0 a 8.0% de Ni, el resto siendo Fe e impurezas inevitables. Este rodillo además puede contener por lo menos uno de 0.1 a 6.0% de W, 0.1 a 4.0% de Nb y 0.1 a 10.0% de Co. Sin embargo, esta referencia no describe ni las segregaciones de carburo, ni las condiciones de composición de V, Nb y Mo y las condiciones de producción para evitar la generación de dendritas segregadas similares a polvo de bainita y/o martensita en la capa exterior.

20 EP 1190108 B describe un método para producir un rodillo compuesto que comprende (1) preparar un fundido que comprende 2.0 a 3.5% en peso de C, 1.0 a 2.0% en peso de Si, 0.5 a 2.0% en peso de Mn, 1.0 a 3.0% en peso de Cr, 3.5 a 4.9% en peso de Ni, y 0.20 a 2.9% en peso de Mo, el resto siendo Fe e impurezas, (2) disolver más de 0.5% en peso y 5.9% o menos en peso de V, parte del cual puede sustituirse por Nb, etc., en el fundido, (3) ajustar la composición del fundido, tal que su solidificación forma una estructura fina que comprende 1.0 a 3.0% por volumen de grafito, 8 a 35% por volumen de carburo eutéctico y por lo menos 1% por volumen de carburo V, el resto siendo sustancialmente martensita, (4) vaciar el fundido en un molde de fundición centrífuga, y (5) tratarlo con calor. Sin embargo, esta referencia no describe específicamente las condiciones de composición de V, Nb y Mo y las condiciones de producción para evitar la generación de dendritas segregadas similares al polvo de bainita y/o martensita en la capa exterior.

35 JP 2004-82209 A describe un rodillo compuesto, de laminación con calor, fundido centrifugamente que comprende una capa de coraza exterior que tiene una composición que comprende, en masa, 3.0 a 4.0% de C, 0.8 a 2.5% de Si, 0.2 a 1.2% de Mn, 3.0 a 5.0% de Ni, 0.5 a 2.5% de Cr, 0.1 a 3.0% de Mo, y 1.0 a 5.0% de V, el resto siendo Fe e impurezas inevitables, y una capa interior hecha de hierro fundido usual o hierro fundido de grafito esferoidal que contiene 2.5 a 4.0% de C, el espesor T de la capa de coraza exterior y el radio R de la capa interior cumpliendo la relación expresada por la fórmula de $0.03 \leq T/R \leq 0.5$. Sin embargo, esta referencia no describe para nada las condiciones de composición de V, Nb y Mo y las condiciones de producción para evitar la segregación de carburos y la generación de dendritas segregadas similares al polvo de bainita y/o martensita en la capa exterior.

40 JP 8-302444 A describe un fundido de capa exterior a 1400° C o más alto para un rodillo de fundición centrífuga, con la capa exterior que comprende 2.5 a 4.7% de C, 0.8 a 3.2% de Si, 0.1 a 2.0% de Mn, 0.4 a 1.9% de Cr, 0.6 a 5% de Mo, 3.0 a 10.0% de V, y 0.6 a 7.0% de Nb, y cumpliendo las siguientes fórmulas (1) a (4):

$$2.0 + 0.15V + 0.10 Nb \leq C(\%) \dots (1),$$

$$1.1 \leq Mo/Cr \dots (2),$$

$$Nb/V \leq 0.8 \dots (3), \text{ y}$$

45 $0.2 \leq Nb/V \dots (4),$

el resto siendo Fe e impurezas inevitables, y conteniendo carburo tipo MC granular y grafito. Aunque esta referencia contempla la segregación de carburos, no describe específicamente las condiciones de composición de V, Nb y Mo y las condiciones de producción para evitar la generación de dendritas segregadas similares al polvo de bainita y/o martensita en la capa exterior.

50 Como un rodillo fundido centrifugamente que comprende una capa exterior hecha de hierro fundido de grano, el cual no contiene segregaciones similares al polvo que tienen diámetros de 1.5 mm o más, JP 2001-321807 A describe un

5 rodillo de laminación que comprende una capa exterior hecha de hierro fundido de grano 2.8 a 3.5% en peso de C, 1.5% o menos en peso de Si, 1.5% o menos en peso de Mn, 3 a 5% en peso de Ni, 1 a 3% en peso de Cr, y menos de 1.0% en peso de Mo, el resto siendo sustancialmente Fe, 90% o más de segregaciones similares al polvo que tienen diámetros de 1.0 mm o más que tienen diámetros menores de 2.0 mm en una región de laminación hasta la profundidad de 20 a 30 mm. La capa exterior contiene 2.0% o menos en peso en total de al menos un elemento seleccionado del grupo que consiste de 2.0 o menos en peso de V, 2.0% o menos en peso de Nb, 1.0% o menos en peso de Ti, 1.0% o menos en peso de Zr_f y 1.0% o menos en peso de Ta, y teniendo carburo tipo M₁C₁. Sin embargo, debido a que la cantidad total de V y Nb es 2.0% o menos en peso, la generación de dendritas segregadas similares al polvo de bainita y/o martensita en la capa exterior no puede evitarse suficientemente.

10 Es así difícil mejorar la resistencia al desgaste de un rodillo de grano para obtener un rodillo compuesto fundido centrífugamente que tiene ambas resistencia al desgaste buena y resistencia a fallas o defectos con dendritas segregadas similares al polvo suprimidas de bainita y/o martensita.

15 OBJETO DE LA INVENCION

Consecuentemente, un objeto de la presente invención es proveer de un rodillo compuesto que comprende una capa exterior fundida centrífugamente que tiene excelente resistencia al desgaste y resistencia a fallas (resistencia al gripado) sustancialmente libre de dendritas segregadas similares al polvo de bainita y/o martensita, y su método de producción.

20 SUMARIO DE LA INVENCION

25 Como un resultado de la investigación intensa en vista del objeto anterior, se ha encontrado que (a) debido a que en el proceso de fundición centrífuga de hierro fundido de grano que contiene grandes cantidades de elementos que forman carburos, una fase de austenita fuerte (fase γ) se mueve hacia el lado de la superficie exterior por una fuerza centrífuga, una fase de austenita (fase γ) formada como un cristal primario en un fundido concentrado de carbono restante (fundido eutéctico con punto de fusión bajo) es retenido en el fundido con viscosidad incrementada por la disminución de temperatura, y crece hasta dendritas grandes, y que (b) para suprimir la fase γ y de moverse hacia el lado de la superficie exterior y siendo concentrada en la etapa inicial de solidificación, es necesario regular no solamente las cantidades de V, Nb y Mo, elementos formando carburos, sino también las proporciones de masa de Nb/V y Mo/V, y para controlar la temperatura de fundición y fuerza centrífuga durante la fundición centrífuga. La presente invención se ha realizado con base en dichos hallazgos.

35 El rodillo compuesto fundido centrífugamente de la presente invención comprende una capa exterior hecha de hierro fundido que tiene una composición química que comprende, en masa, 2.7 a 3.5% de C, 1.5 a 2.5% de Si, 0.4 a 1.0% de Mn, 3.7 a 5.1% de Ni, 0.8 a 2.2% de Cr, 1.5 a 4.5% de Mo, 2.0 a 4.5% de V, y 0.5 a 2.0% de Nb, el resto siendo Fe e impurezas inevitables, una proporción de masa de Nb/V siendo 0.18 a 0.65, y una proporción de masa de Mo/V siendo 0.7 a 2.5, y una estructura que comprende, por área, 15 a 45% de una fase cementita y 1 a 10% de una fase grafito, y una capa interior hecha de hierro fundido que tiene excelente resistencia mecánica y unida metalúrgicamente a la capa exterior; una región utilizable de la capa exterior con una profundidad de hasta 10 mm o más desde la superficie que sustancialmente no contiene dendritas segregadas similares al polvo de bainita y/o martensita que tiene diámetros de 1.5 mm o más. El término "región utilizable de la capa" que se usa en la presente significa una región de dirección profunda de la capa exterior utilizable para laminación, la cual se denomina capa de laminación.

45 La estructura de la capa exterior comprende preferiblemente, por área, 0.9 a 9.5% de partículas de grafito que tienen diámetros de círculo equivalente de 5 μm o más, 1 a 20% de partículas de carburo basadas en V que tienen diámetros de círculo equivalente de 1.5 a 50 μm , y 0.3 a 15% en total de partículas de carburo basadas en Nb que tienen diámetros de círculo equivalente de 1.5 a 100 μm y partículas de carburo basadas en Mo que tienen diámetros de círculo equivalente de 1.5 a 100 μm ; el número de las partículas de carburo basadas en V siendo 50 a 10,000/mm², y el número total de las partículas de carburo basadas en Nb y las partículas de carburo basadas en Mo siendo 50 a 10,000/mm².

50 La capa exterior además puede contener, por lo menos uno seleccionado del grupo que consiste de 0.1 a 5.0% de W, 0.01 a 5.0% de Ti, 0.01 a 2.0% de Al, 0.01 a 0.5% de Zr, 0.001 a 0.5% de B, y 0.1 a 10.0% de Co.

55 La composición química de la capa exterior cumple preferiblemente, en masa, con la condición de una proporción de masa Mo/Cr de 0.8 a 5.0 ó con las condiciones de $1.7\% \leq C - (0.06 \text{ Cr} + 0.063 \text{ Mo} + 0.033 \text{ W} + 0.2 \text{ V} + 0.13 \text{ Nb}) \leq 2.7\%$, $1.8\% \leq C + \text{Si}/3 + \text{Ni}/18$ a $[(\text{Mo} + \text{W} + \text{Nb})/15 + (\text{Cr} + \text{V})/3] \leq 2.8\%$, y una proporción de masa Mo/Cr de 0.8 a 5.0.

60 La capa exterior preferiblemente tiene una composición química que comprende 2.8 a 3.5% de C, 1.5 a 2.3% de Si, 0.5 a 1.0% de Mn, 3.9 a 5.0% de Ni, 0.9 a 1.9% de Cr, 1.7 a 4.2% de Mo, 2.0 a 4.0% de V, y 0.5 a 1.3% de Nb, el resto siendo Fe e impurezas inevitables; una proporción de masa de Nb/V siendo 0.2 a 0.6, y una proporción de masa de Mo/V siendo 0.7 a 2.0.

65

La capa interior se hace preferiblemente de hierro fundido dúctil.

El método de la presente invención para producir el rodillo compuesto fundido centrífugamente de arriba comprende el colar un fundido para la capa exterior que tiene una composición química que comprende, en masa, 2.7 a 3.5% de C, 1.5 a 2.5% de Si, 0.4 a 1.0% de Mn, 3.7 a 5.1% de Ni, 0.8 a 2.2% de Cr, 1.5 a 4.5% de Mo, 2.0 a 4.5% de V, y 0.5 a 2.0% de Nb, el resto siendo Fe e impurezas inevitables, una proporción de masa de Nb/V siendo 0.18 a 0.65, y una proporción de masa de Mo/V siendo 0.7 a 2.5, en un molde de fundición centrífuga a una temperatura en un intervalo desde su temperatura de inicio de precipitación de austenita + 30° C hasta su temperatura de inicio de precipitación de austenita + 180° C; y formando la capa exterior bajo una fuerza centrífuga que tiene un número de gravedad en un intervalo de 60 a 150 G.

El molde de fundición centrífuga está formado preferiblemente por hierro fundido dúctil que tiene un espesor de 120 a 450 mm.

Es preferible que después de que una superficie interna del molde de fundición centrífuga se reviste con un material de revestimiento con un grosor de hasta 0.5 a 5 mm, el cual comprende principalmente sílice, alúmina, magnesia o zircón, la capa exterior es fundida centrífugamente.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La Figura 1 es una vista esquemática que muestra una máquina de prueba de desgaste de laminado.

La Figura 2 es una vista esquemática que muestra una máquina de prueba de choque térmico de fricción.

La Figura 3 es una fotomicrografía óptica A que muestra la estructura de la pieza de prueba del Ejemplo 1 tomada en el paso 2.

La Figura 4 es una micrografía B de una imagen BSE que muestra la estructura de la pieza de prueba del Ejemplo 1 tomada en el paso 3.

La Figura 5 es una fotomicrografía óptica C que muestra la estructura de la pieza de prueba del Ejemplo 1 tomada en el paso 5.

La Figura 6 es una fotomicrografía óptica D que muestra la estructura de la pieza de prueba del Ejemplo 1 tomada en el paso 7.

La Figura 7 es una fotomicrografía óptica E que muestra la estructura de la pieza de prueba del Ejemplo 1 tomada en el paso 9.

DESCRIPCIÓN DE LAS REALIZACIONES PREFERIDAS

Las realizaciones de la presente invención se explicarán con detalle abajo sin intención de restricción, y pueden realizarse varias modificaciones dentro del alcance de la presente invención.

[1] Rodillo compuesto fundido centrífugamente

(A) Composición de capa exterior

En el rodillo compuesto fundido centrífugamente de la presente invención que comprende una capa exterior formada por un método de moldeado centrífugo y una capa interior rígida unida integralmente por fusión a la capa exterior, la capa exterior tiene la siguiente composición química (% en masa),

(1) Composición indispensable

(a) C: 2.7 a 3.5% en masa

C se combina con V, Nb, Cr, Mo y W para formar carburos duros, contribuyendo a la mejora de la resistencia al desgaste de la capa exterior, y actúa con elementos de aceleración de grafitización tales como Si y Ni para precipitar grafito en la estructura, proveyendo a la capa exterior de una resistencia al gripado. Cuando C es menor que 2.7% en masa, la precipitación de grafito es insuficiente, la cantidad de carburos duros precipitados es demasiado pequeña para impartir suficiente resistencia al desgaste a la capa exterior.

Además, cuando C es menor que 2.7% en masa, existe una gran diferencia de temperatura entre la cristalización de austenita y la precipitación de carburo eutéctico, de tal manera que la austenita se mueve hacia afuera por una fuerza centrífuga, resultando en la concentración de carbono en el fundido en una porción interna de la capa exterior. Como resultado, dendritas grandes de austenita se generan y crecen en el fundido concentrado de carbono. Las dendritas de austenita se transforman en bainita y/o martensita, resultando en segregaciones similares a polvo tosco. En la presente invención, la uniformidad de la estructura se determina por si existen segregaciones similares a polvo tosco o no que tienen diámetros de 1.5 mm o más. Por otro lado, cuando C excede 3.5% en masa, grafito en forma de hilo se precipita excesivamente, resultando en propiedades mecánicas deterioradas tales como la fuerza. La precipitación excesiva de carburo provee a la capa exterior de resistencia a grietas y dureza baja, lo que resulta en grietas profundas por rodamiento, y daño incrementado en el rodillo. El límite inferior del contenido de C es preferiblemente 2.8% en masa, más preferiblemente 2.9% en masa, más preferiblemente 3.0% en masa. También el límite superior del contenido de C es preferiblemente 3.5% en masa, más preferiblemente 3.4% en masa, más preferiblemente 3.35% en masa.

(b) Si: 1.5 a 2.5% en masa

Si tiene una función para desoxidar el fundido para reducir los defectos del óxido, y acelerar la grafitización, contribuyendo a la resistencia al gripado. Menos del 1.5% en masa de Si tiene una función insuficiente de desoxigenar el fundido, así como una función deficiente de grafitización. Por otro lado, más del 2.5% en masa de Si hace la matriz de aleación frágil, proveyendo así a la capa exterior de dureza baja. El límite inferior del contenido de Si es preferiblemente 1.5% en masa, más preferiblemente 1.6% en masa, más preferiblemente 1.8% en masa. El límite superior del contenido de Si es preferiblemente 2.3% en masa, más preferiblemente 2.2% en masa, más preferiblemente 2.2% en masa.

(c) Mn: 0.4 a 1.0% en masa

Mn tiene una función para desoxidar el fundido, y fijar S, una impureza, como MnS. Cuando Mn es menor que 0.4% en masa, tales efectos son insuficientes. Por otro lado, aunque Mn excede 1.0% en masa, no puede obtenerse incremento adicional en los efectos. El límite inferior del contenido de Mn es preferiblemente 0.5% en masa, más preferiblemente 0.6% en masa, más preferiblemente 0.75% en masa. El límite superior del contenido de Mn es preferiblemente 1.0% en masa, más preferiblemente 0.9% en masa, más preferiblemente 0.85% en masa.

(d) Ni: 3.7 a 5.1% en masa

Ni tiene una función para precipitar grafito, contribuyendo a la resistencia al gripado. Cuando Ni es menor que 3.7% en masa, tales efectos son insuficientes. Por otro lado, más del 5.1% en masa de Ni hace que la austenita sea demasiado estable, haciendo que la transformación a bainita o martensita sea improbable. El límite inferior del contenido de Ni es preferiblemente 3.9% en masa, más preferiblemente 4.0% en masa, más preferiblemente 4.2% en masa. El límite superior del contenido de Ni es preferiblemente 5.0% en masa, más preferiblemente 4.8% en masa, más preferiblemente 4.4% en masa.

(e) Cr: 0.8~2.2% en masa

Cr es un elemento eficaz para proveer de una matriz de martensita o bainita para tener dureza alta, manteniendo así resistencia al desgaste. Cuando Cr es menor que 0.8% en masa, tales efectos son insuficientes. Por otro lado, cuando Cr excede 2.2% en masa, carburos Cr (M_7C_3 , M_23C_6) se forman fácilmente, lo que resulta en cantidades reducidas de carburo basado en V y carburo basado en Nb que contribuyen a la resistencia al desgaste. El límite inferior del contenido de Cr es preferiblemente 0.9% en masa, más preferiblemente 1.0% en masa, más preferiblemente 1.1% en masa. El límite superior del contenido de Cr es preferiblemente 2.0% en masa, más preferiblemente 1.9% en masa, más preferiblemente 1.8% en masa.

(f) Mo: 1.5 a 4.5% en masa

Mo se combina con C para formar carburos Mo duros (M_6C , M_2C), incrementando la dureza de la capa exterior, y mejorando la templabilidad de la matriz de aleación. Además, Mo incrementa la gravedad específica de un fundido eutéctico restante en el proceso de solidificación del fundido de aleación, evitando así la separación centrífuga de un cristal primario de una fase γ , y suprimiendo la segregación de dendritas similares al polvo de bainita y/o martensita. Mo se disuelve en carburos MC para formar carburos MC duros, resistentes con V y Nb, mejorando así la resistencia a desgaste. Cuando Mo es menor que 1.5% en masa, tales efectos son insuficientes. Por otro lado, cuando Mo es más de 4.5% en masa, la capa exterior tiene resistencia deficiente, y solidificación blanca fuerte, evitando así la precipitación de grafito. El límite inferior del contenido de Mo es preferiblemente 1.7% en masa, más preferiblemente 1.8% en masa, más preferiblemente 2.0% en masa. El límite superior del contenido de Mo es preferiblemente 4.2% en masa, más preferiblemente 4.1% en masa, más preferiblemente 3.9% en masa.

(g) V: 2.0 a 4.5% en masa

V es un elemento combinado con C para formar carburos basados en V duros (carburos MC). Los "carburos basados en V" son carburos en los cuales la cantidad más grande de un elemento combinado con C es V. Los carburos basados en V no están restringidos a carburos que contienen solamente V, sino que pueden contener otros elementos además de V. Los carburos basados en V tienen dureza de Vickers Hv de 2500 a 3000, el más duro entre los carburos. Cuando V es menor que 2.0% en masa, la cantidad de carburos MC precipitados es insuficiente. Por otro lado, cuando V es más del 4.5% en masa, se forman carburos MC grandes, resultando en una estructura de aleación tosca, la cual es probable que cause desgaste durante la laminación. El límite inferior del contenido de V es preferiblemente 2.1% en masa, más preferiblemente 2.2% en masa, más preferiblemente 2.3% en masa. El límite superior del contenido de V es preferiblemente 4.0% en masa, más preferiblemente 3.5% en masa, más preferiblemente 3.0% en masa.

(h) Nb: 0.5 a 2.0% en masa

Nb se combina con C para formar carburos basados en Nb (carburos MC). Los "carburos basados en Nb" son carburos en los cuales la mayor cantidad de un elemento combinado con C es Nb. Los carburos basados en Nb no están restringidos a carburos que contienen solamente Nb, sino que pueden contener otros elementos además de Nb. incorporado junto con V y Mo, Nb se disuelve en carburos MC para fortalecimiento, mejorando así la resistencia al desgaste de la capa exterior. Además, Nb incrementa la gravedad específica de un fundido eutéctico restante en el proceso de solidificación del fundido de aleación, evitando así la separación centrífuga de un cristal primario de una fase γ , suprimiendo así la segregación de dendritas similares al polvo de bainita y/o martensita, las cuales son transformados de la austenita. Debido a que existe una diferencia de densidad menor entre carburos MC basados

en Nb y el fundido que entre los carburos MC basados en V y el fundido, Nb reduce la segregación de carburos MC en la capa exterior de moldeo centrífugamente. Cuando Mo es menor que 0.5% en masa, tales efectos son insuficientes. Por otro lado, más del 2.0% en masa de Nb provee solidificación blanca fuerte, evitando la precipitación de grafito, y formando carburos MC más grandes y acelerando su segregación, proporcionado así a la capa exterior resistencia a la rugosidad de la superficie baja. El límite inferior del contenido de Nb es preferiblemente 0.55% en masa, más preferiblemente 0.6% en masa, más preferiblemente 0.65% en masa, particularmente 0.7% en masa. El límite superior del contenido de Nb es preferiblemente 1.3% en masa, más preferiblemente 0.9% en masa, más preferiblemente 0.8% en masa,

10 (i) Nb/V: 0.18 a 0.65. Mo/V: 0.7 a 2.5, v V + 1.2 Nb: 2.7 a 4.5

Debido a que cualquiera de V, Nb y Mo tiene una función para incrementar la cantidad de carburos MC duros indispensables para la resistencia al desgaste, la cantidad total de estos elementos debería ser igual o más que un nivel predeterminado. V es un elemento que disminuye la gravedad específica del fundido, mientras que Nb y Mo son elementos que incrementan la gravedad específica del fundido. Consecuentemente, sin resto entre la cantidad de V y las cantidades de Nb y Mo, podría haber diferencia grande en gravedad específica entre el fundido y la austenita, de tal manera que la austenita se mueve hacia la capa exterior por una fuerza centrífuga, resultando en una concentración notable de carbono. Como un resultado, las dendritas de austenita probablemente se segregan.

20 Por lo tanto, es necesario que una proporción de masa de Nb/V es 0.18 a 0.65, una proporción de masa de Mo/V es 0.7 a 2.5, y V + 1,2 Nb es 2.7 a 4.5% en masa. Con Nb/V, Mo/V y V + 1.2 Nb dentro de estos intervalos, cantidades apropiadas de Nb y Mo están contenidas en carburos basados en V, de tal manera que los carburos más pesados se dispersan uniformemente, evitando así la generación de dendritas segregadas similares al polvo de bainita y/o martensita. El límite inferior de la proporción de masa de Nb/V es preferiblemente 0.2, más preferiblemente 0.21, más preferiblemente 0.24. El límite superior de la proporción de masa de Nb/V es preferiblemente 0.6, más preferiblemente 0.4, más preferiblemente 0.30. El límite inferior de la proporción de masa de Mo/V es preferiblemente 0.7, más preferiblemente 0.8, más preferiblemente 0.9. El límite superior de la proporción de masa de Mo/V es preferiblemente 2.0, más preferiblemente 1.5, más preferiblemente 1.4. El límite inferior de V + 1.2 Nb es preferiblemente 2.7% en masa, más preferiblemente 2.8% en masa, más preferiblemente 2.9% en masa. El límite superior de V + 1.2 Nb es preferiblemente 4.2% en masa, más preferiblemente 4.0% en masa, más preferiblemente 3.9% en masa.

(2) Composición opcional

La capa exterior del rodillo compuesto fundido centrífugamente de la presente invención preferiblemente cumple, además de los requerimientos anterior de la composición indispensable, los siguientes requerimientos de composición dependiendo de las aplicaciones.

(a) W: 0.1 a 5.0% en masa

W se combina con C para formar carburos M_6C y M_2C duros, contribuyendo a la mejora de la resistencia al desgaste de la capa exterior. Éste también se disuelve en carburos MC para incrementar sus gravedades específicas, resultando en segregación reducida. La cantidad preferida de W es 0.1 a 5.0% en masa. Cuando W es menor que 0.1% en masa, éste provee de efectos insuficientes. Por otro lado, cuando W excede 5.0% en masa, el fundido se provee de una gravedad específica mayor, resultando probablemente en segregación de carburo. El límite superior del contenido de W es más preferiblemente 4.0% en masa, más preferiblemente 2.0% en masa.

(b) Ti: 0.01 a 5.0% en masa

Ti se combina con N y O, elementos que previenen la grafitización, para formar oxinitruros. Los oxinitruros dispersados en el fundido forman núcleos, proporcionando carburos MC más uniformes y más finos. La cantidad preferida de Ti es 0.01 a 5.0% en masa. Cuando Ti es menor que 0.01% en masa, éste provee de efectos insuficientes. Por otro lado, cuando Ti excede 5.0% en masa, el fundido tiene viscosidad incrementada, generando probablemente defectos de moldeo. Consecuentemente, el contenido de Ti es preferiblemente 0.01 a 5.0% en masa. El límite superior del contenido de Ti es más preferiblemente 2.0% en masa, más preferiblemente 1.0% en masa.

(c) Al: 0.01 a 2.0% en masa

Al se combina con N y O, elementos que evitan la grafitización, para formar oxinitruros. Los oxinitruros dispersados en el fundido forman núcleos, resultando en la precipitación carburos MC más finos y más uniformes. Cuando Al es menor que 0.01% en masa, sus efectos no son esperados. Por otro lado, cuando Al excede 2.0% en masa, la capa exterior se hace frágil. En vista de las cantidades de N y O contenidas en el fundido, más del 2.0% en masa de Al es innecesaria. Consecuentemente, el contenido de Al es preferiblemente 0,01 a 2.0% en masa. El límite superior del contenido de Al es más preferiblemente 0.5% en masa, más preferiblemente 0.1% en masa.

(d) Zr: 0.01 a 0.5% en masa

Zr se combina con C para formar carburos MC, mejorando la resistencia al desgaste de la capa exterior. También, un óxido de Zr se formó en las funciones del fundido como núcleos de cristal, haciendo que la estructura de solidificación se volviera fina, e incrementando la gravedad específica de los carburos MC, evitando así la segregación. Cuando Zr es menor que 0.01% en masa, este efecto es insuficiente. Por otro lado, cuando Zr excede

0.5% en masa, inclusiones se forman indeseablemente. Consecuentemente, el contenido de Zr es preferiblemente 0.01 a 0.5% en masa. El límite superior del contenido de Zr es más preferiblemente 0.3% en masa, más preferiblemente 0.1% en masa.

5 (e) B: 0.001 a 0.5% en masa

B tiene una función para hacer carburos más finos, y contribuye a la precipitación de grafito cuando se incorpora en una cantidad pequeña. Cuando B es menor que 0.001% en masa, sus efectos no son suficientes. Por otro lado, cuando B excede 0.5% en masa, los carburos se tornan inestables. Consecuentemente, el contenido de B es preferiblemente 0.001 a 0.5% en masa. El límite superior del contenido de B es más preferiblemente 0.1% en masa, más preferiblemente 0.05% en masa.

(f) Co: 0.1 a 10.0% en masa

Co es un elemento eficaz para reforzar la estructura de la matriz. También, Co hace fácil precipitar grafito. Cuando Co es menor que 0.1% en masa, sus efectos no son esperados. Por otro lado, cuando Co excede 10.0% en masa, la capa exterior tiene durabilidad incrementada. Consecuentemente, el contenido de Co es preferiblemente 0.1 a 10.0% en masa. El límite superior del contenido de Co es más preferiblemente 5.0% en masa, más preferiblemente 2.0% en masa.

(g) Mo/Cr: 0.8 a 5.0

La proporción de masa de Mo/Cr está preferiblemente en un intervalo de 0.8 a 5.0. Cuando la proporción de masa de Mo/Cr es menor que 0.8, el contenido de Mo es insuficiente con relación al contenido de Cr, lo que resulta en la precipitación de partículas de carburo de Cr tales como M7C3, etc. Como un resultado, la proporción de área de partículas de carburo basadas en Mo disminuye. Por otro lado, cuando la proporción de masa de Mo/Cr es 5.0 o más, las partículas de carburo basadas en Mo son excesivas. Consecuentemente, la proporción de masa de Mo/Cr es preferiblemente 0.8 a 5.0. El límite inferior de la proporción de masa de Mo/Cr es más preferiblemente 0.9. El límite superior de la proporción de masa de Mo/Cr es más preferiblemente 4.5, más preferiblemente 4.0.

(h) Impurezas

El resto en la composición de la capa exterior son sustancialmente Fe e impurezas inevitables. Entre las impurezas inevitables, las cantidades de P y S que deterioran las propiedades mecánicas son preferiblemente tan pequeñas como sea posible. Específicamente, el contenido de P es preferiblemente 0.1% o menos en masa, y el contenido de S es preferiblemente 0.1% o menos en masa. Como otras impurezas inevitables, la cantidad total de elementos tales como Cu, Sb, Te, Se, etc. puede ser 0.7% o menos en masa.

(B) Estructura de la capa exterior

La capa exterior del rodillo compuesto fundido centrífugamente de la presente invención tiene una estructura que comprende 15 a 45% por área de una fase de cementita y 1 a 10% por área de una fase de grafito. Es preferible que la estructura de matriz de la capa exterior esté compuesta sustancialmente de martensita, bainita o perlita.

Es preferible que la proporción de área de las partículas de grafito que tienen diámetros de círculo equivalente de μm o más es 0.9 a 9.5% que la proporción de área de las partículas de carburo basadas en V que tienen diámetros de círculo equivalente de 15 a 50 μm es 1 a 20% y que la proporción de área total de partículas de carburo basadas en Nb que tienen diámetros de círculo equivalente de 15 a 100 μm y partículas de carburo basadas en Mo que tienen diámetros de círculo equivalente de 15 a 100 μm es 0.3 a 15%. Además, es preferible que el número de partículas de carburo basadas en V que tiene diámetros de círculo equivalente de 15 a 50 μm por unidad de área (1 mm^2) de la estructura de aleación es 50 a $10.000/\text{mm}^2$, y el número total de partículas de carburo basado en Nb que tienen diámetros de círculo equivalente de 1.5 a 100 μm y partículas de carburo basadas en Mo que tienen diámetros de círculo equivalente de 1.5 a 100 μm es 50 a $10.000/\text{mm}^2$.

(1) Cementita: 15 a 45% por área

La cementita se precipita inevitablemente cuando los carburos que están contenidos para resistencia a desgaste es un carburo relativamente blando que tiene no solamente el efecto de mejorar la resistencia a gripado, sino también de contribuir a la precipitación de grafito necesario para resistencia a gripado. Cuando la proporción de área de cementita es menor que 15% el efecto de mejorar la resistencia a gripado es insuficiente. Por otro lado, cuando la proporción de área de cementita excede 45% por área, la capa exterior tiene durabilidad disminuida. La cementita es preferiblemente 20 a 40% por área.

Para obtener 15 a 45% por área de cementita, la composición de la capa exterior cumple deseablemente el requerimiento de 1.7% en masa $\leq C - (0.06\text{ Cr} + 0.063\text{ Mo} + 0.033\text{ W} + 0.2\text{ V} + 0.13\text{ Nb}) \leq 2.7\%$ en masa. Cuando el valor de la fórmula de arriba es menor que 1.7% en masa, los elementos formando carburo tales como Cr, Mo, etc. son excesivos con relación al contenido de C, de tal manera que C se consume por carburo Cr, carburo Mo, etc., resultando en la proporción de área de cementita de menos de 15%. Por otro lado, cuando el valor de la fórmula de arriba es más de 2.7% en masa, la proporción de área de cementita excede 45%.

(2) Fase Grafito: 1 a 10% por área

- 5 La proporción de área de la fase grafito (partículas de grafito) precipitada en la estructura de la capa exterior es 1 a 10%. Cuando la fase de grafito es menor que 1% por área, el efecto de mejorar la resistencia a gripado de la capa exterior es insuficiente. Por otro lado, cuando la fase de grafito excede 10% por área, la capa exterior tiene propiedades mecánicas disminuidas extremadamente. La proporción de área de la fase de grafito es preferiblemente 1 a 7%, más preferiblemente 1 a 5%.
- 10 Para obtener 1 a 10% por área de la fase grafito, la composición de la capa exterior cumple deseablemente el requerimiento de 1.8% en masa $\leq C + Si/3 + Ni/18$ a $[(Mo + W + Nb)/15 + (Cr + V)/3] \leq 2.8\%$ en masa. Cuando el valor de la fórmula de arriba es menor que 18% en masa, elementos que evitan la grafitización tales como Mo, W, Nb, Cr y V son excesivos con relación a C, Si y Ni, de tal manera que la proporción de área de grafito es menor que 1%. Por otro lado, cuando el valor de la fórmula de arriba es más que 2.8% en masa, las cantidades de los elementos que evitan la grafitización también son pequeños, de tal manera que la proporción de área de grafito es más del 10%.
- 15 (3) Partículas de grafito que tienen diámetros equivalentes a círculos de 5 μm o más: 0.9 a 9.5% por área
Debido a que las partículas de grafito que tienen diámetros equivalentes a círculos de 5 μm o más exhiben efectos de lubricación grandes, su proporción de área es preferiblemente 0.9 a 9.5% por área. El término "diámetro equivalente a círculo" como se usa en la presente significa un diámetro exterior expresado por un diámetro de un círculo que tiene la misma área como la de cada partícula de grafito. Cuando las partículas de grafito que tienen diámetros equivalentes a círculos de 5 μm o más son menos que 0.9% por área, la capa exterior tiene resistencia a gripado insuficiente. Por otro lado, cuando las partículas de grafito que tienen diámetros equivalentes a círculos de 5 μm o más son menos que 9.5% por área, la capa exterior tiene resistencia a desgaste insuficiente. La proporción de área de las partículas de grafito que tienen diámetros equivalentes a círculos de 5 μm o más es más preferiblemente 0.9 a 6.5%, más preferiblemente 0.9 a 4.5%.
- 20 (4) Partículas de carburo basadas en V que tienen diámetros equivalentes a círculos de 1.5 a 50 μm
Las partículas de carburo basadas en V incrementan la resistencia a desgaste. Entre éstas, las partículas de carburo basadas en V que tiene diámetros equivalentes a círculos de 1.5 μm o más tienen la contribución más grande para mejora en la resistencia a desgaste. Partículas de carburo que tienen diámetros equivalentes a círculos de menos de 1.5 μm se separan probablemente de la superficie de capa exterior, fallando en proveer un efecto suficiente de mejorar la resistencia a desgaste. Por otro lado, debido a que las partículas de carburo basadas en V son granulares, esas que tienen diámetros equivalentes a círculos que exceden 50 μm vuelven áspera la superficie laminada.
- 25 La proporción de área de partículas de carburo basadas en V que tienen diámetros equivalentes a círculos de 1.5 a 50 μm es 1 a 20%. Cuando su proporción de área es menor que 1%, la capa exterior no tiene suficiente resistencia a desgaste. También, la coexistencia con grafito hace difícil tener más del 20% por área de partículas de carburo basadas en V que tienen diámetros equivalentes a círculos de 1.5 a 50 μm . La proporción de área preferida de las partículas de carburo de arriba es 2 a 15%.
- 30 El número de partículas de carburo basadas en V que tienen diámetros equivalentes a círculos de 1.5 a 50 μm por una unidad de área (1 mm^2) de la estructura de aleación es preferiblemente 50 a 10,000/ mm^2 . Cuando las partículas de carburo de arriba son menores que 50/ mm^2 , existen demasiados espacios entre carburos adyacentes, de tal manera que porciones de matriz relativamente blanda entre carburos son desgastadas rápidamente, resultando probablemente en rugosidad de superficie. Por otro lado, cuando las partículas de carburo anteriores son más de 10,000/ mm^2 , carburos adyacentes están probablemente en contacto, de tal manera que la capa exterior tiene durabilidad baja. La proporción de área de las partículas de carburo de arriba es preferiblemente 50 a 5,000/ mm^2 , más preferiblemente 100 a 5,000/ mm^2 .
- 35 (5) Partículas de carburo basadas en Nb y las partículas de carburo basadas en Mo ambas tienen diámetros equivalentes a círculos de 1.5 a 100 μm
Las partículas de carburo basadas en Nb y las partículas de carburo basadas en Mo mejoran la resistencia a desgaste. Entre éstas, las partículas de carburo basadas en Nb que tienen diámetros equivalentes a círculos de 1.5 μm o más y partículas de carburo basadas en Mo que tienen diámetros equivalentes a círculos de 1.5 μm o más tienen contribución grande para mejorar en la resistencia a desgaste. Cuando sus diámetros equivalentes a círculos son menores que 1.5 μm , éstas probablemente se separan de la superficie de capa exterior, fallando en proveer un efecto suficiente de mejorar la resistencia a desgaste. Debido a que las partículas de carburo basadas en Nb y las partículas de carburo basadas en Mo probablemente constituyen estructuras de red, sus diámetros equivalentes a círculos que exceden 100 μm es probable que vuelvan áspera la superficie laminada. Así, la proporción de área de estas partículas de carburo es preferiblemente 0.3 a 15%. Cuando la proporción de área total de estas partículas de carburo es menor que 0.3%, la capa exterior no tiene suficiente resistencia a desgaste. También, la coexistencia con grafito hace difícil tener más del 15% por área de estas partículas de carburo.
- 40 El número total de estas partículas de carburo en una unidad de área (1 mm^2) de la estructura de aleación es preferiblemente 50 a 10,000/ mm^2 . Cuando el número total de estas partículas con carburo es menor que 50/ mm^2 , los
- 45
- 50
- 55
- 60
- 65

carburos adyacentes están demasiado distantes, porciones de matriz más blanda entre los carburos probablemente se desgasten, lo que resulta en rugosidad de superficie. Por otro lado, cuando el número total de estas partículas de carburo excede 10,000/mm², los carburos adyacentes están probablemente en contacto, proporcionando a la capa exterior rugosidad reducida de tal manera que la capa exterior tiene durabilidad baja. El número total de estas partículas de carburo es preferiblemente 100 a 10.000/mm², más preferiblemente 100 a 5,000/mm².

(6) Otros carburos

La capa exterior puede contener, además de las partículas de carburo basadas en V, las partículas de carburo basadas en Nb, las partículas de carburo basadas en Mo y la cementita, las partículas de carburo M7C3 en una proporción de área de 0.2 a 10%.

Debido a que la capa exterior del rodillo compuesto fundido centrífugamente de la presente invención tiene el intervalo de composición de arriba, y contiene partículas de carbono basadas en V, partículas de carbono basadas en Nb y partículas de carbono basadas en Mo en los intervalos de arriba, ése tiene resistencia a desgaste excelente y resistencia a falla (resistencia a gripado), con poca segregación similar a polvo de dendritas de bainita y/o martensita en la presente.

(C) Capa interior

La capa interior unida a la capa exterior de arriba se fabrica preferiblemente de hierro fundido dúctil, resistente. El hierro fundido dúctil preferiblemente tiene una composición que comprende, en masa, 3.0 a 4.0% de C, 1.5 a 3.0% de Si, 0.2 a 1.0% de Mn, 0.1% o menos de P, 0.1% o menos de S, 0.7 a 5.0% de Ni, 0.1 a 1.0% de Cr, 0.1 a 1.0% de Mo, y 0.02 a 0.08% de Mg, el resto siendo sustancialmente Fe e impurezas inevitables. Puede existir una capa intermedia entre la capa exterior y la capa interior, para el propósito de suprimir la difusión de sus componentes, retirando tensión entre éstos, etc.

(D) Tamaño de rodillo

El tamaño del rodillo compuesto fundido centrífugamente de la presente invención no está restringido particularmente, y su ejemplo preferido es que la capa exterior tiene un diámetro exterior de 200 a 1300 mm y una longitud de cuerpo de rodillo de 500 a 6000 mm, el espesor utilizable de la capa exterior siendo 50 a 200 mm.

[2] Método de producción de rodillo compuesto fundido centrífugamente

El rodillo compuesto fundido centrífugamente de la presente invención se produce mediante (a) moldear una masa fundida que tiene la composición de arriba para la capa exterior en un molde cilíndrico giratorio para fundición centrífuga, y (b) moldear una masa fundida para la capa interior en la capa exterior hueca resultante durante o después de la solidificación de la capa exterior. En el paso (a), la temperatura de fundición de la masa fundida para la capa exterior está en un intervalo desde una temperatura de inicio de precipitación de austenita + 30° C hasta la temperatura de inicio de precipitación de austenita + 180° C, y la fuerza centrífuga de la rotación del molde cilíndrico para fundición centrífuga está en un intervalo de 60 a 150 G.

(A) Formación de la capa exterior

(1) Masa fundida

La masa fundida para la capa exterior tiene una composición química que comprende, en masa, 2.7 a 3.5% de C, 1.5 a 2.5% de Si, 0.4 a 1.0% de Mn, 3.7 a 5.1% de Ni, 0.8 a 2.2% de Cr, 1.5 a 4.5% de Mo, 2.0 a 4.5% de V, y 0.5 a 2.0% de Nb, el resto siendo Fe e impurezas inevitables, una proporción de masa de NbA/ siendo 0.18 a 0.65, y una proporción de masa de MoA/ siendo 0.7 a 2.5.

(2) Temperatura de fundición

La temperatura de fundición de la masa fundida para la capa exterior está en un intervalo desde la temperatura de inicio de precipitación de austenita + 30° C hasta la temperatura de inicio de precipitación de austenita + 180° C. La temperatura de fundición dentro de este intervalo puede acortar un período de tiempo en el cual la fase líquida permanece, sorprendiendo la separación centrífuga de un cristal primario de una fase y para reducir segregación. Cuando la temperatura de fundición es menor que la temperatura de inicio de precipitación de austenita + 30° C, la masa fundida moldeada tiene velocidad de solidificación demasiado alta, de tal manera que la materia foránea tal como inclusiones finas es solidificada probablemente antes de separación centrífuga, resultando en defectos por la materia foránea. Por otro lado, cuando la temperatura de fundición es mayor que la temperatura de inicio de precipitación de austenita + 180° C, regiones similares a polvo (regiones de segregación) de dendritas gruesas agregadas se forman en la capa exterior. La temperatura de fundido es preferiblemente la temperatura de inicio de precipitación de austenita + (30° C a 100° C), más preferiblemente la temperatura de inicio de precipitación de austenita + (80° C hasta 100° C). Incidentalmente, la temperatura de inicio de precipitación de austenita es una temperatura de inicio de solidificación exotérmica medida por un analizador térmico diferencial.

(3) Fuerza Centrífuga

Cuando la capa exterior es fundida por un molde de fundición centrífuga, la fuerza centrífuga está en un intervalo de 60 a 150 G por un número de gravedad. Cuando se moldea en el número de gravedad en este intervalo, la aceleración puede estar limitada al tiempo de solidificación, lo que resulta en una velocidad de movimiento baja de

un cristal primario de una fase y, suprimiendo así la separación centrífuga (segregación) del cristal primario de una fase y a. En el número de gravedad de menos de 60 G, la masa fundida de capa exterior no está suficientemente adherida a una superficie interior del molde. Por otro lado, cuando el número de gravedad excede 150 G, ocurre demasiada separación centrífuga del cristal primario de una fase y, de tal manera que dendritas toscas se forman en una masa fundida restante con menor fase y. Como resultado, dendritas similares a polvo de bainita y/o martensita se forman en la capa exterior. El número de gravedad (G No.) se expresa por la fórmula de $G \text{ No.} = N \times N \times D/1,790,000$, en donde N es el número de revolución (rpm) del molde, y D es el diámetro interior (mm) del molde (correspondiente al diámetro exterior de la capa exterior).

10 (4) Molde de fundición centrífuga

El molde de fundición centrífuga se forma preferiblemente por hierro fundido dúctil resistente tan grueso como 120 a 450 mm. Cuando el molde es tan delgado como menos de 120 mm, el molde tiene capacidad de enfriamiento insuficiente, resultando probablemente en cavidades de encogimiento en una porción de capa de superficie de la capa exterior. Por otro lado, aún si el espesor del molde excedió 450 mm, su capacidad de enfriamiento podría ser saturada. El espesor más preferido del molde es 150 a 410 mm. El molde de fundición centrífuga puede ser horizontal, inclinado o vertical.

20 (5) Material de revestimiento

Para evitar que la capa exterior se pegue al molde, la superficie interior del molde es revestida preferiblemente con un material de revestimiento basado en sílice, alúmina, magnesio o zircón en un espesor de 0.5 a 5 mm. Cuando el material de revestimiento es más grueso que 5 mm, la masa fundida se enfría lentamente, de tal manera que la fase líquida permanece durante un período de tiempo mayor, resultando en más separación centrífuga del cristal primario de una fase "y", y así más segregaciones. Por otro lado, el material de revestimiento más delgado que 0.5mm provee un efecto insuficiente de evitar que la capa exterior se pegue al molde. El espesor más preferido del material de revestimiento es 0.5 a 3 mm.

30 (6) Inoculante

Para ajustar la cantidad de grafito precipitado, un inoculante tal como Fe - Si, Ca - Si, etc. Puede agregarse a la masa fundida. En este caso, la composición de masa fundida se determina, tomando en consideración el cambio de composición por la incorporación del inoculante.

35 (7) Formación de capa intermedia y capa interior

Durante o después de la solidificación de la capa exterior, una masa fundida para una capa intermedia puede ser vaciada dentro de una superficie interior de la capa exterior. Después de que se forma la capa intermedia, el molde que contiene la capa exterior y la capa intermedia es erguido, y provisto sobre sus extremos superior e inferior con un molde superior y un molde inferior para constituir un molde de vaciado estacionario, en el cual una masa fundida para la capa interior se vacía. Debido a que la capa interior es solidificada después de que la superficie interior de la capa exterior (o capa intermedia) es fundida nuevamente, estos son unidos metalúrgicamente.

40 (8) Tratamiento con calor

Debido a que la capa exterior que contiene 3.7 a 5.1% en masa de Ni tiene buena templabilidad, esta no necesita ser endurecida después de su fundición. Sin embargo, para descomponer la austenita restante y retirar la tensión, el rodillo compuesto resultante está sometido preferiblemente a un tratamiento con calor a 550° C ó menos. Después del tratamiento con calor, el rodillo compuesto es enfriado preferiblemente a una velocidad de menos de 100° C/hora.

La presente invención se explicará con detalle adicional mediante los ejemplos siguientes, sin intención de restringir la presente invención a estos.

50 Ejemplos 1 a 8 y Ejemplos comparativos 1 a 4

Cada masa fundida que tiene la composición (% en masa) que se muestra en el Cuadro 1 fue fundida en un molde cilíndrico con velocidad de rotación alta hecho de hierro fundido dúctil que tiene un diámetro interior de 400 mm, una longitud de 1500 mm y un espesor de 276 mm, el cual fue revestido en su superficie interior con un espesor de 3 mm, el material revestido basado en zircón, para formar una capa exterior por fundición centrífuga. La temperatura de fundición de la masa fundida estuvo entre la temperatura de inicio de precipitación de austenita + 80° C y la temperatura de inicio de precipitación de austenita + 100° C. El número de gravedad en una superficie exterior de la capa exterior fue 120 G. La capa exterior resultante tuvo un espesor promedio de 96 mm.

Después de que la capa exterior hueca se solidificara, la rotación del molde de fundición centrífuga fue parada, y un molde superior y un molde inferior se dispusieron sobre ambos extremos superior e inferior del molde de fundición centrífuga para constituir un molde de fundición estacionario. Una masa fundida de hierro de colada dúctil para una capa interior se vació en la capa exterior, de tal manera que la capa exterior y la capa interior se unieron metalúrgicamente. Después de completar la solidificación de la capa interior, el molde fue desensamblado para extraer un rodillo, el cual se templó a 500° C. El Cuadro 2 muestra la cantidad de carbono restante $C_{\text{bai}} = C - (0.06 \text{ Cr} + 0.063 \text{ Mo} + 0.033 \text{ W} + 0.2 \text{ V} + 0.13 \text{ Nb})$, la cantidad de carbono grafitizado $AA = C + \text{Si}/3 + \text{Ni}/18 + [(\text{Mo} + \text{W} + \text{Nb})/15 + (\text{Cr} + \text{V})/3J, \text{ Mo/Cr}, \text{ Nb/V}, \text{ y Mo/V}$ en cada capa exterior.

CUADRO 1-1

| No. | Composición de la Capa Exterior (% en masa) | | | | | | | |
|------------|---|------|------|------|------|------|------|------|
| | C | Si | Mn | Ni | Cr | Mo | V | Nb |
| Ejemplo 1 | 2.90 | 1.80 | 0.80 | 4.30 | 1.00 | 3.90 | 3.00 | 0.75 |
| Ejemplo 2 | 3.30 | 2.20 | 0.80 | 4.18 | 1.10 | 2.90 | 3.00 | 0.70 |
| Ejemplo 3 | 3.30 | 1.88 | 0.80 | 4.25 | 1.75 | 2.80 | 2.50 | 0.50 |
| Ejemplo 4 | 3.35 | 1.75 | 0.80 | 4.25 | 1.80 | 1.70 | 2.20 | 0.50 |
| Ejemplo 5 | 3.35 | 1.75 | 0.71 | 4.42 | 1.81 | 1.72 | 2.20 | 0.51 |
| Ejemplo 6 | 3.30 | 1.85 | 0.79 | 4.25 | 1.75 | 2.80 | 2.52 | 0.52 |
| Ejemplo 7 | 3.21 | 2.05 | 0.59 | 4.17 | 2.17 | 3.61 | 2.11 | 1.20 |
| Ejemplo 8 | 3.30 | 2.21 | 0.48 | 4.25 | 1.15 | 2.90 | 3.00 | 0.80 |
| Ej. Com. 1 | 2.20 | 2.10 | 0.68 | 4.11 | 2.32 | 3.35 | 2.81 | 1.40 |
| Ej. Com. 2 | 3.24 | 1.30 | 0.80 | 4.30 | 1.52 | 0.41 | 0.50 | - |
| Ej. Com. 3 | 1.92 | 0.58 | 0.58 | 3.66 | 2.44 | 5.21 | 3.47 | 0.35 |
| Ej. Com. 4 | 2.50 | 1.61 | 0.58 | 3.76 | 1.52 | 3.51 | 9.18 | 0.34 |

5

CUADRO 1-2

| No. | Composición de la Capa Exterior (% en masa) | | | | | |
|------------|---|------|------|----|---|----|
| | W | Ti | Al | Zr | B | Co |
| Ejemplo 1 | 1.00 | - | - | - | - | - |
| Ejemplo 2 | 1.00 | - | - | - | - | - |
| Ejemplo 3 | - | - | - | - | - | - |
| Ejemplo 4 | - | - | - | - | - | - |
| Ejemplo 5 | - | 0.01 | 0.01 | - | - | - |
| Ejemplo 6 | - | 0.02 | - | - | - | - |
| Ejemplo 7 | - | - | - | - | - | - |
| Ejemplo 8 | - | - | - | - | - | - |
| Ej. Com. 1 | 1.12 | 0.01 | 0.01 | - | - | - |
| Ej. Com. 2 | - | - | - | - | - | - |
| Ej. Com. 3 | 0.50 | 0.01 | - | - | - | - |
| Ej. Com. 4 | 1.82 | 0.01 | - | - | - | - |

CUADRO 2

| No. | Composición de la Capa Exterior (% en masa) | | | | | |
|------------|---|------|-------|------------|---------------------------------|-------------------|
| | Nb/V | Mo/V | Mo/Cr | V + 1.2 Nb | C _{bal} ⁽¹⁾ | AA ⁽²⁾ |
| Ejemplo 1 | 0.25 | 1.30 | 3.90 | 3.90 | 1.86 | 2.03 |
| Ejemplo 2 | 0.23 | 0.97 | 2.64 | 3.84 | 2.33 | 2.59 |
| Ejemplo 3 | 0.20 | 1.12 | 1.60 | 3.10 | 2.45 | 2.53 |
| Ejemplo 4 | 0.23 | 0.77 | 0.94 | 2.80 | 2.63 | 2.69 |
| Ejemplo 5 | 0.23 | 0.78 | 0.95 | 2.81 | 2.63 | 2.69 |
| Ejemplo 6 | 0.21 | 1.11 | 1.60 | 3.14 | 2.45 | 2.51 |
| Ejemplo 7 | 0.57 | 1.71 | 1.66 | 3.55 | 2.27 | 2.38 |
| Ejemplo 8 | 0.27 | 0.97 | 2.52 | 3.96 | 2.34 | 2.64 |
| Ej. Com. 1 | 0.50 | 1.19 | 1.44 | 4.49 | 1.07 | 1.03 |
| Ej. Com. 2 | 0.00 | 0.82 | 0.27 | 0.5 | 3.02 | 3.21 |
| Ej. Com. 3 | 0.10 | 1.50 | 2.14 | 3.89 | 0.69 | -0.06 |
| Ej. Com. 4 | 0.04 | 0.38 | 2.31 | 9.58 | 0.25 | -0.70 |

Nota: (1) $C_{bal} = C - (0.06 Cr + 0.063 Mo + 0.033 W + 0.2 V + 0.13 Nb)$.

(2) $AA = C + Si/3 + Ni/18 - [(Mo + W + Nb)/15 + (Cr + V)/3]$.

Con respecto a un corte de pieza de prueba fuera de cada capa exterior de los Ejemplos y Ejemplos Comparativos, una fotomicrografía óptica y una fotografía BSE se tomaron por el siguiente procedimiento.

- 5 Paso 1: Cada pieza de prueba fue pulida en espejo de tal manera que los carburos no se proyectan desde la superficie.
 Paso 2: Se tomó una fotomicrografía óptica A de cada estructura de pieza de prueba.
 Paso 3: Una fotografía B de una imagen BSE (imagen de electrones retrodispersados de una fotomicrografía de barrido electrónico) de cada pieza de prueba fue tomada en el mismo campo como en la fotografía del paso 2.
- 10 Paso 4: Cada pieza de prueba fue electrolíticamente grabada por una solución acuosa de ácido crómico por aproximadamente 1 minuto, y después pulida usando una pasta de diamante 3 a μm durante 30 a 60 segundos.
 Paso 5: Una fotomicrografía óptica C de cada estructura de pieza de prueba se tomó en el mismo campo como en la fotografía del paso 2.
 Paso 6: Cada pieza de prueba fue grabada mediante una solución de persulfato de amonio acuoso durante aproximadamente 1 minuto.
 Paso 7: Una fotomicrografía óptica D de cada estructura de pieza de prueba se tomó en el mismo campo como en la fotografía del paso 2.
- 20 Paso 8: Cada pieza de prueba se calentó hasta 50 a 70° C y después se grabó por un reactivo de Murakami durante aproximadamente 1 minuto.
 Paso 9: Una fotomicrografía óptica E de cada estructura de pieza de prueba se tomó en el mismo campo como en la fotografía del paso 2.
- 25 Con respecto a la pieza de prueba del Ejemplo 1, su fotomicrografía óptica A se muestra en la Figura 3, su fotomicrografía óptica B se muestra en la Figura 4, su fotomicrografía óptica C se muestra en la Figura 5, su fotomicrografía óptica D se muestra en la Figura 6, y su fotomicrografía óptica E se muestra en la Figura 7. Elementos estructurales que pueden medirse a partir de las fotografías A a E se muestran por "Sí" en el Cuadro 3.

CUADRO 3

| Fotografía | Partículas de Grafito | Partículas de Carburo Basadas en V | Partículas de Carburo Basadas en Nb | Partículas de Carburo Basadas en Mo | Cementita |
|------------|-----------------------|------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-----------|
| A | Sí | - | - | - | - |
| B | - | - | Sí | Sí | - |
| C | Sí | Sí | Sí | - | - |
| D | - | - | - | Sí | Sí |
| E | - | - | - | - | Sí |

Usando software para análisis de imágenes, las proporciones de área y los números de cementita, partículas de grafito y partículas de carburo se determinaron de estas fotografías por los siguientes métodos. Los resultados se muestran en el Cuadro 4.

5

(1) Debido a que las porciones negras representan partículas de grafito en la fotomicrografía óptica A, la proporción de área de partículas de grafito (la proporción de área de todas las partículas de grafito y la proporción de área de partículas de grafito que tienen diámetros de círculo equivalente de μm o más) se determinó a partir de la fotografía (2) Debido a que las porciones blancas representan cementita en la fotomicrografía óptica E, la proporción de área de cementita se determinó a partir de la fotografía E.

10

(3) Debido a que las porciones blancas representan partículas de carburo basado en Mo y cementita en la fotomicrografía óptica D, la proporción de área de partículas de carburo basadas en Mo con diámetros de círculo equivalente de 1.5 a $100\ \mu\text{m}$ y sus números por una unidad de área se determinaron a partir de las fotografías D y E.

15

(4) Debido a que las porciones blancas representan partículas de carburo basadas en Nb y partículas de carburo basadas en Mo en la fotografía B, la proporción de área de partículas de carburo basadas en Nb que tienen diámetros de círculo equivalente de 1.5 a $100\ \mu\text{m}$ y sus números por una unidad de área se determinaron restando la proporción de área de partículas de carburo basadas en Mo que tienen diámetros de círculo equivalente de 1.5 a $100\ \mu\text{m}$ y sus números por una unidad de área determinada en el paso (3) a partir de la proporción de área de partículas de carburo (partículas de carburo basadas en Nb + partículas de carburo basadas en Mo) que tienen diámetros de círculo equivalente de 1.5 a $100\ \mu\text{m}$ y sus números por una unidad de área determinada a partir de la fotografía B.

20

(5) Debido a que las porciones negras representan partículas de grafito, las partículas de carburo basadas en V y las partículas de carburo basadas en Nb en la fotomicrografía óptica D, la proporción de área de partículas de carburo basadas en V que tienen diámetros de círculo equivalente de 1.5 a $50\ \mu\text{m}$ y sus números por una unidad de área se determinaron restando la proporción de área de partículas de grafito determinadas en el paso (1) y la proporción de área de partículas de carburo basadas en Nb que tienen diámetros de círculo equivalente de 1.5 a $100\ \mu\text{m}$ y sus números por una unidad de área determinada en el paso (4) a partir de la proporción de área de partículas de grafito + partículas de carburo basadas en que tienen diámetros de círculo equivalente de 1.5 a $50\ \mu\text{m}$ + partículas de carburo basadas en Nb que tienen diámetros de círculo equivalente de 1.5 a $100\ \mu\text{m}$ y sus números por una unidad de área determinada a partir de la fotografía D.

25

30

Usando cada masa fundida para una capa exterior en los Ejemplos y Ejemplos Comparativos, se produjo un rodillo de prueba que tiene una estructura de funda de 60 mm en diámetro exterior, 40 mm en diámetro interior y 40 mm en anchura. Para evaluar la resistencia a desgaste, se realizó una prueba de desgaste en cada rodillo de prueba mediante una máquina de prueba de desgaste de laminado que se muestra en la Fig. 1. La máquina de prueba de desgaste de rodamiento comprende una máquina de laminado 1, rodillos de prueba 2, 3 ensamblados en la máquina de laminado 1, un horno 4 para precalentar una hoja 8 para ser laminada, un baño de agua de enfriamiento 5 para enfriar la hoja laminada 8, un carrete de enrollado 6 para proveer una tensión durante laminación, y un controlador 7 para ajustar la tensión. Las condiciones de desgaste de laminación se muestran a continuación. Después de laminación, la profundidad de desgaste generada en las superficies del rodillo de prueba se midió mediante un medidor de aspereza de superficie tipo estilete. Los resultados se muestran en el Cuadro 4.

35

40

45

| | |
|--|--------------|
| Hoja a ser laminada: | SUS304, |
| Reducción de laminado: | 25%, |
| Velocidad de laminado: | 50 m/minuto, |
| Temperatura de la hoja a ser laminada: | 900° C |

Distancia de laminado: 300 m/ciclo,
 Enfriamiento de rodillo: Enfriamiento con agua, y
 El número de rodillos: 4.

5 Para evaluar la resistencia a fallas o defectos, una prueba de gripado fue realizada en cada rodillo de prueba mediante una máquina de prueba de choque térmico por fricción que se muestra en la Figura 2. La máquina de prueba de choque térmico por fricción comprende un estante 11 sobre el cual un peso 12 se deja caer para girar un engranaje 13, de tal manera que un miembro punzante 15 se leva en contacto fuerte con una pieza de prueba 14. El gripado se evaluó mediante el estándar siguiente. Los resultados se muestran en el Cuadro 4. A menor gripado, mejor la resistencia a falla.

15 Bueno: Sin gripado,
 Aceptable: Gripado ligero, y
 Deficiente: Gripado extremo.

20 Planos de 10 mm, 30 mm y 50 mm, respectivamente, en profundidad desde una superficie exterior de cada capa exterior de Ejemplos y Ejemplos comparativos fueron pulidos a espejo, y grabados con una solución de persulfato de amonio acuoso durante aproximadamente 1 minuto, y sus estructuras fueron fotografiadas a una amplificación de 5 a 10 veces. En cada estructura fotografiada, dendritas segregadas similares a polvo de bainita y/o martensita que tiene diámetros de 1.5 mm o más dentro de la capa exterior (en una capa utilizable laminada) fueron observadas para evaluar la homogeneidad de la estructura por el estándar siguiente. Los resultados se muestran en el Cuadro 4

25 Bueno: Sin segregaciones similares a polvo que tienen diámetros de 1.5 mm o más, y
 Deficiente: Hubo segregaciones similares a polvo que tienen diámetros de 1.5 mm o más.

CUADRO 4-1

| No. | Estructura de la Capa Exterior | | | | | | |
|------------|-------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|------------------------|----------------------------|---|----------------------------|
| | Proporción de Área de Cementita (%) | Proporción de Área de Grafito (%) | | Carburo Basado en V | | Carburo Basado en Nb ⁽²⁾ + Carburo Basado en Mo ⁽³⁾ | |
| | | Total | ≥ 5 μm ⁽⁴⁾ | Proporción de Área (%) | Número (/mm ²) | Proporción de Área (%) | Número (/mm ²) |
| Ejemplo 1 | 25.2 | 1.73 | 1.54 | 2.63 | 1771 | 3.41 | 983 |
| Ejemplo 2 | 28.3 | 4.41 | 4.28 | 2.38 | 1964 | 3.24 | 894 |
| Ejemplo 3 | 30.1 | 4.78 | 4.67 | 2.78 | 1872 | 1.32 | 634 |
| Ejemplo 4 | 32.4 | 5.42 | 5.36 | 1.57 | 1203 | 0.82 | 548 |
| Ejemplo 5 | 32.1 | 5.66 | 5.56 | 1.65 | 1119 | 0.75 | 725 |
| Ejemplo 6 | 30.5 | 4.72 | 4.61 | 2.87 | 1727 | 1.27 | 707 |
| Ejemplo 7 | 27.3 | 4.43 | 4.32 | 1.52 | 627 | 6.38 | 668 |
| Ejemplo 8 | 25.3 | 4.82 | 4.71 | 3.02 | 1602 | 3.56 | 755 |
| Ej. Com. 1 | 18.6 | < 0.05 | < 0.05 | 2.27 | 1721 | 6.10 | 821 |
| Ej. Com. 2 | 36.2 | 4.52 | 4.42 | 0.32 | 107 | 0.12 | 0 |
| Ej. Com. 3 | 0 | < 0.05 | < 0.05 | 4.21 | 2248 | 3.20 | 259 |
| Ej. Com. 4 | 0 | < 0.05 | < 0.05 | 21.20 | 1974 | 4.27 | 427 |

30 Nota: (1) Partículas de carburo basadas en V que tienen diámetros de círculo equivalente de 1.5 a 50 μm
 (2) Partículas de carburo basadas en Nb que tienen diámetro de círculo equivalente de 1.5 a 100 μm.
 (3) Partículas de carburo basadas en Mo que tienen diámetro de círculo equivalente de 1.5 a 100 μm.
 (4) Partículas de grafito que tienen diámetros de círculo equivalente de 5 μm o más.

CUADRO 4-2

| No. | Estructura de la Capa Exterior | | |
|------------|--------------------------------|------------|--|
| | Desgaste (μm) | Gripado | Homogeneidad de Estructura ⁽⁵⁾ |
| Ejemplo 1 | 15 | Buena | Buena |
| Ejemplo 2 | 19 | Buena | Buena |
| Ejemplo 3 | 20 | Buena | Buena |
| Ejemplo 4 | 23 | Buena | Buena |
| Ejemplo 5 | 24 | Buena | Buena |
| Ejemplo 6 | 21 | Buena | Buena |
| Ejemplo 7 | 23 | Buena | Buena |
| Ejemplo 8 | 15 | Buena | Buena |
| Ej. Com. 1 | 17 | Aceptable | Deficiente |
| Ej. Com. 2 | 38 | Buena | Deficiente |
| Ej. Com. 3 | 17 | Deficiente | Deficiente |
| Ej. Com. 4 | 11 | Deficiente | Deficiente |

Nota: (5) Determinado por la presencia de dendritas segregadas similares a polvo que tienen diámetros de 1.5 mm o más a la profundidad de 10 mm, 30 mm y 50 mm, respectivamente.

5 En cualquiera de los Ejemplos, la capa exterior no contenía dendritas segregadas similares a polvo de bainita y/o martensita, que tiene excelente homogeneidad en la estructura así como excelente resistencia a desgaste y resistencia a gripado (resistencia a falla). Por otro lado, las capas exteriores de los Ejemplos Comparativos contenían dendritas segregadas similares a polvo de bainita y/o martensita, y fueron deficientes en cualquiera uno de resistencia a desgaste y resistencia a gripado.

10 Ejemplo 9 y Ejemplo comparativo 5
Una masa fundida que tiene la composición (% en masa) que se muestra en el Cuadro 5 fue moldeada en un molde cilíndrico girando a alta velocidad hecho de hierro fundido dúctil que tiene un diámetro de 400 mm, una longitud de 1500 mm y un espesor de 276 mm, el cual fue revestido en su superficie interior con un material de revestimiento basado en zircón, con espesor de 2.5 mm, para formar una capa exterior por fundición centrífuga bajo las condiciones que se muestran en el Cuadro 6. La temperatura de inicio de la precipitación de austenita de la capa exterior fue 1216° C. El número de gravedad en una superficie exterior de la capa exterior fue 120 G La capa exterior resultante tuvo un espesor promedio de 96 mm.

CUADRO 5

| Composición de la Masa Fundida para la Capa Exterior (% en masa) | | | | | | | | |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|
| C | Si | Mn | Ni | Cr | Mo | V | Nb | Al |
| 3.15 | 1.76 | 0.59 | 3.80 | 1.25 | 2.35 | 2.80 | 0.53 | 0.03 |

CUADRO 6

| No. | Temperatura de Vaciado Horno (°C) | Temperatura de del Moldeado (°C) | Número de Gravedad (G) |
|------------|-----------------------------------|----------------------------------|------------------------|
| Ejemplo 9 | 1440 | 1276 | 120 |
| Ej. Com. 5 | 1460 | 1242 | 120 |

5 Después de que la capa exterior hueca fuera solidificada, la rotación del molde de fundición centrífuga se paró y un fundido de hierro fundido dúctil para una capa interior se vació en la capa exterior en la misma manera como en el Ejemplo 1 para unir metalúrgicamente la capa interior a la capa exterior. Después de completar la solidificación de la capa interior, el molde fue desensamblado para tomar fuera un rodillo, el cual se templó a 500° C.

10 Los datos de la estructura de la capa exterior (las proporciones de área de cementita, todas las partículas de grafito y las partículas de grafito que tienen diámetros de círculo equivalente de 5 µm o más, la proporción de área y número de partículas de carburo basado en V que tienen diámetros de círculo equivalente de 1.5 a 50 µm , y la proporción de área total y número de partículas de carburo basadas en Nb que tienen diámetros de círculo equivalente de 1.5 a 100 µm y partículas de carburo basadas en Mo que tienen diámetros de círculo equivalente de 1.5 a 100 µm) medidos en la misma manera como en el Ejemplo 1 se muestran en el Cuadro 7. También, la homogeneidad de la estructura (presencia o ausencia de dendritas segregadas similares a polvo de bainita y/o martensita) medida y evaluada a la profundidad de 50 mm desde la superficie de la capa exterior en la misma manera como en el Ejemplo 1 se muestra en el Cuadro 7.

CUADRO 7

| No. | Proporción de Área de Cementita (%) | Proporción de Área de Grafito (%) | | Basado en V Carburo ⁽¹⁾ | | Carburo Basado en Nb ⁽²⁾ + Carburo Basado en Mo ⁽³⁾ | | Homogeneidad de Estructura |
|-----------|-------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|------------------------------------|----------------------------|---|----------------------------|----------------------------|
| | | Total | ≥ 5 µm ⁽⁴⁾ | Proporción de Área (%) | Número (/mm ²) | Proporción de Área (%) | Número (/mm ²) | |
| Ejemplo 9 | 28 | 3.8 | 3.7 | 3.2 | 1827 | 1.38 | 698 | Buena |
| Ej.Com. 5 | 39 | 3.2 | 3.1 | 3.4 | 1216 | 1.41 | 631 | Deficiente |

20 Nota: (1) Partículas de carburo basadas en V que tienen diámetros de círculo equivalente de 1.5 a 50 µm
 (2) Partículas de carburo basadas en Nb que tienen diámetro de círculo equivalente de 1.5 a 100 µm.
 (3) Partículas de carburo basadas en Mo que tienen diámetro de círculo equivalente de 1.5 a 100 µm.
 (4) Partículas de grafito que tienen diámetros de círculo equivalente de 5 µm o más.

EFFECTO DE LA INVENCION

25 Debido a que el rodillo compuesto de fundido centrífugamente de la presente invención comprende una capa exterior que tiene excelente resistencia al desgaste y resistencia a falla (resistencia a agrietamiento profundo en problemas de laminación tales como laminación de extremos de cola plegados, etc.), con pocas dendritas segregadas similares a polvo de bainita y/o martensita (que tienen una estructura homogénea), éste tiene excelente durabilidad con poco desgaste de superficie. Consecuentemente, esto es apropiado como un rodillo de trabajo
 30 usado en plataformas en líneas de laminación de acabado para laminador de bandas, el cual requiere superficies de laminación particularmente lis

REIVINDICACIONES

1. Un rodillo compuesto fundido centrífugamente que comprende una capa exterior hecha de hierro fundido que tiene una composición química que comprende, en masa, 2.7 a 3.5% de C, 1.5 a 2.5% de Si, 0.4 a 1.0% de Mn, 3.7 a 5.1% de Ni, 0.8 a 2.2% de Cr, 1.5 a 4.5% de Mo, 2.0 a 4.5% de V, y 0.5 a 2.0% de Nb, el resto siendo Fe e impurezas inevitables, una proporción de masa de Nb/V siendo 0.18 a 0.65, y una proporción de masa de Mo/V siendo 0.7 a 2.5, y una estructura que comprende, por área, 15 a 45% de una fase cementita y 1 a 10% de una fase grafito, y una capa interior hecha de hierro fundido que tiene resistencia mecánica excelente y unida metalúrgicamente a la capa exterior; una región utilizable de la capa exterior tan profunda como 10 mm o más desde la superficie que sustancialmente no contiene dendritas segregadas similares a polvo de bainita y/o martensita que tiene diámetros de 1.5 mm o más.
2. El rodillo compuesto fundido centrífugamente de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado** además **por que** la estructura de la capa exterior comprende 0.9 a 9.5% por área de partículas de grafito que tienen diámetros de círculo equivalente de 5 μm o más, 1 a 20% por área de partículas de carburo basadas en V que tienen diámetros de círculo equivalente de 1.5 a 50 μm , y 0.3 a 15% por área en total de partículas de carburo basadas en Nb que tienen diámetros de círculo equivalente de 1.5 a 100 μm y partículas de carburo basadas en Mo que tienen diámetros de círculo equivalente de 1.5 a 100 μm ; el número de las partículas de carburo basadas en V siendo 50 a 10,000/mm², y el número total de las partículas de carburo basadas en Nb y las partículas de carburo basadas en Mo siendo 50 a 10,000/mm².
3. El rodillo compuesto fundido centrífugamente de acuerdo con la reivindicación 1 ó 2, **caracterizado** además **por que** la capa exterior además comprende, en masa, por lo menos uno seleccionado del grupo que consiste de 0.1 a 5.0% de W, 0.01 a 5.0% de Ti, 0.01 a 2.0% de Al, 0.01 a 0.5% de Zr, 0.001 a 0.5% de B, y 0.1 a 10.0% de Co.
4. El rodillo compuesto fundido centrífugamente de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado** además **por que** la composición química de la capa exterior cumple las condiciones de $1.7\% \leq C$ a $(0.06 \text{ Cr} + 0.063 \text{ Mo} + 0.033 \text{ W} + 0.2 \text{ V} + 0.13 \text{ Nb}) \leq 2.7\%$, y $1.8\% \leq C + \text{Si}/3 + \text{Ni}/18$ a $[(\text{Mo} + \text{W} + \text{Nb})/15 + (\text{Cr} + \text{V})/3] \leq 2.8\%$ en masa, una proporción de masa de Mo/Cr siendo 0.8 a 5.0.
5. El rodillo compuesto fundido centrífugamente de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado** además **por que** la capa exterior tiene una composición química que comprende 2.8 a 3.5% de C, 1.5 a 2.3% de Si, 0.5 a 1.0% de Mn, 3.9 a 5.0% de Ni, 0.9 a 1.9% de Cr, 1.7 a 4.2% de Mo, 2.0 a 4.0% de V, y 0.5 a 1.3% de Nb, el resto siendo Fe e impurezas inevitables; una proporción de masa de Nb/V siendo 0.2 a 0.6, y una proporción de masa de Mo/V siendo 0.7 a 2.0.
6. El rodillo compuesto fundido centrífugamente de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado** además **por que** V + 1.2 Nb es 2.7 a 4.5% en masa.
7. El rodillo compuesto fundido centrífugamente de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado** además **por que** la capa interior se fabrica de hierro fundido dúctil.
8. Un método para producir el rodillo compuesto fundido centrífugamente citado en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, que comprende moldear una masa fundida para la capa exterior que tiene una composición química que comprende, en masa, 2.7 a 3.5% de C, 1.5 a 2.5% de Si, 0.4 a 1.0% de Mn, 3.7 a 5.1% de Ni, 0.8 a 2.2% de Cr, 1.5 a 4.5% de Mo, 2.0 a 4.5% de V, y 0.5 a 2.0% de Nb, el resto siendo Fe e impurezas inevitables, una proporción de masa de Nb/V siendo 0.18 a 0.65, y una proporción de masa de Mo/V siendo 0.7 a 2.5, en un molde de fundición centrífuga a una temperatura en un intervalo desde su temperatura de inicio de precipitación de austenita + 30° C hasta su temperatura de inicio de precipitación de austenita + 180° C; y formando la capa exterior bajo una fuerza centrífuga que tiene un número de gravedad en un intervalo de 60 a 150 G.
9. El método para producir un rodillo compuesto fundido centrífugamente de acuerdo con la reivindicación 8, **caracterizado por que** el molde de fundición centrífuga se forma mediante hierro fundido dúctil que tiene un espesor de 120 a 450 mm.
10. El método para producir un rodillo compuesto fundido centrífugamente de acuerdo con la reivindicación 8 ó 9, **caracterizado** además **por que** el molde de fundición centrífuga está revestido en su superficie interior con un material de revestimiento comprendiendo principalmente sílice, alúmina, magnesia o zircón en un espesor de 0.5 a 5 mm, para moldear centrífugamente dicha capa exterior.

Fig. 1

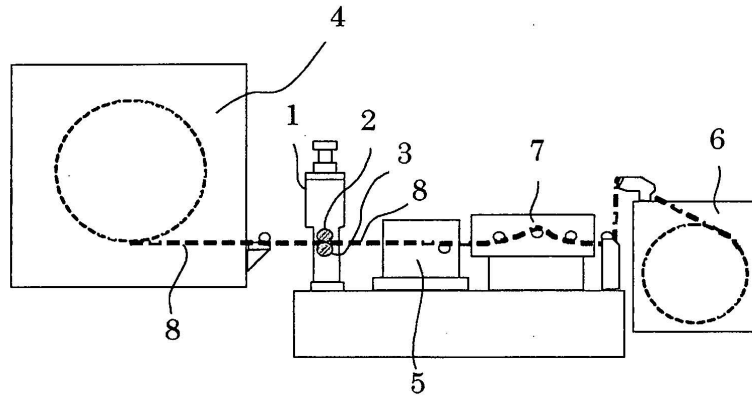


Fig. 2

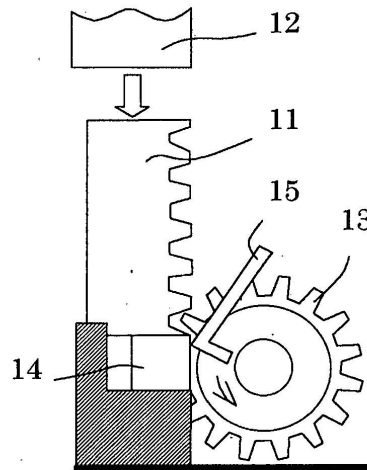


Fig. 3

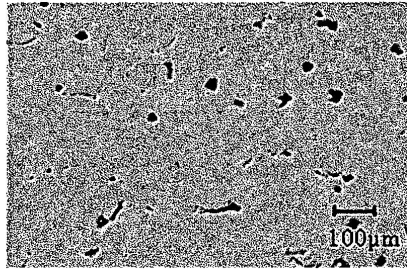


Fig. 4

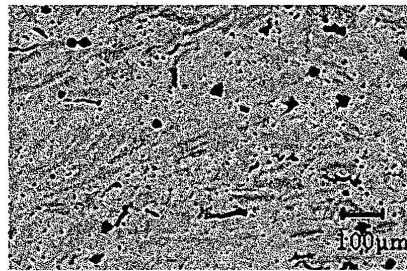


Fig. 5

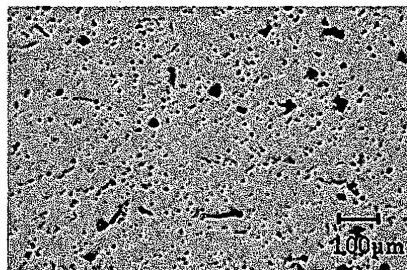


Fig. 6

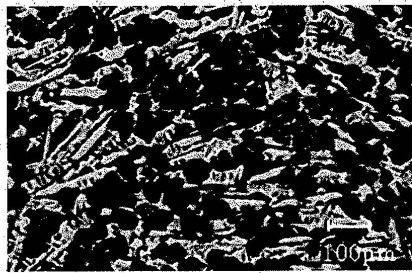


Fig. 7

