

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 715 598**

51 Int. Cl.:

C22C 38/02	(2006.01) C21D 8/06	(2006.01)
C22C 38/04	(2006.01) F16B 35/00	(2006.01)
C22C 38/06	(2006.01) C22C 38/20	(2006.01)
C22C 38/58	(2006.01) C22C 38/24	(2006.01)
C22C 38/54	(2006.01) C22C 38/26	(2006.01)
C22C 38/50	(2006.01) C22C 38/28	(2006.01)
C22C 38/42	(2006.01) C22C 38/32	(2006.01)
C22C 38/46	(2006.01) C22C 38/38	(2006.01)
C22C 38/48	(2006.01)	
C21D 9/00	(2006.01)	

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **01.10.2012 PCT/JP2012/075401**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **11.04.2013 WO13051513**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.10.2012 E 12837933 (6)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.02.2019 EP 2765213**

54 Título: **Alambre de acero para pernos, pernos y procedimientos de fabricación de los mismos**

30 Prioridad:

07.10.2011 JP 2011223114

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

05.06.2019

73 Titular/es:

**KABUSHIKI KAISHA KOBE SEIKO SHO (50.0%)
10-26 Wakinohama-cho 2-chome Chuo-ku
Kobe-shi, Hyogo 651-8585, JP y
SUGITA WIRE, LTD. (50.0%)**

72 Inventor/es:

**CHIBA, MASAMICHI;
MATSUMOTO, YOUSUKE;
SUGITA, ICHIRO y
TANIMOTO, MASARU**

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 715 598 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

Alambre de acero para pernos, pernos y procedimientos de fabricación de los mismos

5 Campo técnico

La presente invención se refiere a un acero para pernos utilizado para automóviles, diversas máquinas industriales y otros, en particular, se refiere un perno de alta resistencia, a un alambre de acero de alta resistencia para pernos utilizado para tal perno y procedimientos de fabricación respectivos para el mismo, donde el perno de alta resistencia presenta una alta resistencia a la tracción de 1200 MPa o más sin tratamientos de temple ni revenido después de la formación en forma de perno y tiene tanto una excelente capacidad de fraguado en frío como una excelente resistencia retardada a la fractura.

15 Antecedentes de la invención

En las piezas de sujeción de alta resistencia utilizadas para automóviles, máquinas ordinarias y edificios, se utiliza un acero de aleación de alta resistencia con mayor contenido de Cr, Mo, etc., y se somete el mismo a tratamientos de temple y revenido, lo que garantiza una resistencia objetivo. En las piezas de sujeción de alta resistencia utilizadas en edificios o en diversos aparatos eléctricos ligeros, generalmente se usa un acero con bajo contenido de carbono con un contenido de carbono de aproximadamente 0,20 % y se somete a tratamientos de carburación, temple y revenido, lo que garantiza una resistencia objetivo.

Sin embargo, en el primer caso, el efecto de la penetración de hidrógeno en el acero en el entorno de uso puede causar una fractura (fractura retardada) del perno después de apretarlo y, por lo tanto, la resistencia a la tracción real de los pernos se restringe a 1100 MPa o menos. En este último caso, la carburación y el temple provocan una dureza superficial superior a 600 Hv (1960 MPa en términos de resistencia a la tracción), lo que aumenta la sensibilidad del perno a un ligero cambio ambiental, tal como la condensación de rocío debido a la diferencia de temperatura, de modo que el perno conlleva un riesgo de fractura retardada.

Dado que se supone que la fractura retardada es causada por factores entrelazados complicadamente, es difícil especificar una causa para la misma. Sin embargo, en general, se entiende que la fragilidad del hidrógeno está relacionada con la fractura retardada. Como factores que afectan a la fragilidad del hidrógeno, se han reconocido provisionalmente los siguientes: temperatura de revenido, estructura, dureza del material, tamaño de grano cristalino, diversos elementos de aleación y otros. Sin embargo, no se ha establecido un procedimiento para prevenir la fragilización por hidrógeno y, por lo tanto, el hecho es que se han sugerido varios procedimientos basados en prueba y error.

En los últimos años, se ha prestado atención a los pernos sin tratamiento térmico a los cuales no se han aplicado las etapas de temple y revenido después de la formación del perno, en vista de la disminución de los costes de fabricación de los pernos, así como la disminución de la emisión de gases de efecto invernadero durante el procedimiento de fabricación de los mismos. Los pernos sin tratamiento térmico deben garantizar una resistencia objetivo mediante endurecimiento por trabajo durante el trefilado del alambre. Sin embargo, el forjado en frío del alambre de acero endurecido por trabajo provoca restricciones en cuanto a la forma del perno y acorta la vida útil del troquel de forja. Dado que este efecto se vuelve más notable a medida que se aumenta la resistencia del perno, una solución a los efectos perjudiciales ha sido muy buscada. Contra estos problemas, se divulgan los siguientes procedimientos como técnicas convencionales.

El documento de patente 1 divulga una técnica para hacer uso de la dispersión de compuestos finos para frenar la fractura retardada. En esta técnica, una aleación de acero se somete a temple y luego se somete a revenido a alta temperatura para precipitar una gran cantidad de compuestos de aleaciones finas y además hacer que el precipitado resultante atrape el hidrógeno que se mueve en el acero (hidrógeno difusible), mejorando, de este modo, la resistencia a la fractura retardada del acero. Sin embargo, esta solución esencialmente requiere la adición de una gran cantidad de elementos de aleación y etapas para el temple y el revenido, provocando los problemas de incremento de los costes de fabricación de los pernos y de liberación de gases de efecto invernadero a la atmósfera durante la fabricación de los pernos.

El documento de patente 2 divulga un procedimiento para someter el acero perlítico a trefilado de alambre de alta resistencia para fabricar un perno sin tratamiento térmico y con mejor resistencia a la fractura retardada. En esta técnica, la formación de la estructura de perlita desaparece antes de que los límites de grano de la austenita disminuyan en gran medida en la resistencia del borde del grano por la fragilidad del hidrógeno y además causan una interfaz entre la cementita y la ferrita en la estructura de la perlita para atrapar el hidrógeno en el acero, mejorando, de este modo, la resistencia del acero a la fractura. Sin embargo, en la técnica divulgada en el documento de patente 2, que tiene por objetivo una resistencia de perno de 1500 MPa, la alta proporción de la estructura de perlita resultante de la priorización de la alta resistencia causa la alta proporción de la estructura de perlita, de modo que la vida del troquel de forja se acorta considerablemente debido a la mayor resistencia a la deformación durante la fabricación de los pernos.

5 El documento de patente 3 divulga una técnica para mejorar la resistencia a la fractura retardada de un acero sin tratamiento térmico para pernos molidos con una resistencia a la tracción de 900 MPa o más dispersando un precipitado en estructuras de ferrita y perlita. Sin embargo, en caso de que la resistencia a la tracción de un perno sea de 1100 MPa o más, la relación de ruptura crítica a la iniciación de grietas se reduce a medida que el acero se somete a trefilado de alambre de alta resistencia. Esto provoca la generación de grietas y la disminución de la resistencia a la fractura retardada durante la fabricación de los pernos.

10 El documento de patente 4 divulga una técnica para mejorar la capacidad de fraguado en frío del acero sin tratamiento térmico para pernos con una resistencia a la tracción de 900 MPa o más utilizando una estructura de bainita. Sin embargo, dado que la estructura de bainita tiene una baja velocidad de endurecimiento por trabajo, no se puede lograr fácilmente una resistencia de perno de 1200 MPa o más. Además, la estructura de bainita se ve afectada más fácilmente por la relajación del estrés debido a la operación de relajación que las estructuras de martensita y perlita. Como resultado, también se produce un problema desde el punto de vista del mantenimiento de las propiedades de los pernos después de apretar los pernos.

15 El documento de patente 5 divulga una técnica para producir un alambre de acero sin tratamiento térmico para pernos con excelente capacidad de fraguado en frío al someter una varilla de acero de manganeso de carbono medio a un procedimiento de transformación isotérmica. Esta técnica se enfoca particularmente en disminuir la irregularidad de la resistencia de un material de acero cuando se realiza un laminado en caliente, así como disminuir la resistencia a la deformación durante la fabricación de los pernos, logrando, de este modo, fabricar pernos con una resistencia a la tracción del orden de 1000 MPa. Sin embargo, dado que no se introduce un procedimiento para hacer que el efecto del hidrógeno en el acero sea inocuo, el documento de patente 5 no comprende pernos con una resistencia a la tracción de 1200 MPa o más.

25 DOCUMENTOS DEL ESTADO DE LA TÉCNICA

DOCUMENTOS DE PATENTE

30 Documento de patente 1: patente de Japón n.º 4031068

Documento de patente 2: JP 2000-337334 A

Documento de patente 3: JP 2003-113444 A

35 Documento de patente 4: JP 02-166229

Documento de patente 5: patente de Japón n.º 1521033

40 **Sumario de la invención**

PROBLEMAS QUE HA DE RESOLVER LA INVENCION

45 La presente invención se ha realizado a la luz de las circunstancias descritas anteriormente y un objeto de la misma es proporcionar un perno de alta resistencia sin tratamiento térmico que se fabrique sin someterse a un tratamiento de temple o revenido después de la formación del perno y que tenga una resistencia a la tracción de 1200 MPa o más y una excelente resistencia a la fractura retardada, un alambre de acero de alta resistencia para pernos que se utilice para el perno de alta resistencia y respectivos procedimientos de fabricación de los mismos.

50 MEDIOS PARA RESOLVER LOS PROBLEMAS

La invención se define en las reivindicaciones.

EFFECTO DE LA INVENCION

55 En el alambre de acero para pernos de la presente invención, la composición de los diversos componentes del mismo se controla de manera apropiada, y además el tipo de su microestructura, la proporción de presencia entre las especies en el mismo y la forma del mismo se ajustan de manera apropiada; por lo tanto, el alambre de acero puede presentar una alta resistencia y una excelente capacidad de fraguado en frío, y además, el perno obtenido mediante el uso del alambre de acero para pernos de la invención presenta una excelente resistencia a la fractura retardada. De acuerdo con el procedimiento de fabricación de pernos de la invención, en el que se usa el alambre de acero para pernos de la invención y además se realiza un ajuste apropiado sobre una relación entre la tasa de reducción de área total de acero en bruto para el mismo cuando el acero se somete a trefilado de alambre en frío, la tasa de reducción de área total cuando el acero se somete a reducción de diámetro y el C_{eq} (carbono equivalente) del mismo, el alambre de acero o el perno resultante pueden producir una mejora de la capacidad de fraguado en frío, una resistencia de perno de 1200 MPa o más, y una mejora de la resistencia a la fractura retardada.

MODO PARA LLEVAR A CABO LA INVENCION

Tal como se describió anteriormente, las técnicas convencionales sobre alambres de acero sin calor para pernos se enfocan en la capacidad de fraguado en frío o en la resistencia a la fractura retardada. Aún no se ha hecho una sugerencia, en particular, acerca de una técnica para producir una resistencia a la tracción del perno de 1200 a 1400 MPa y además hacer que se satisfagan las dos propiedades.

Por lo tanto, los presentes inventores han llevado a cabo investigaciones y han descubierto que para mejorar la alta resistencia de los pernos, la capacidad de fraguado en frío y la resistencia a la fractura retardada, es importante: controlar los componentes químicos para los mismos; y además controlar el tipo y la forma de la estructura del alambre de acero para el perno, específicamente, (1) hacer que la estructura del alambre de acero para el perno sea una estructura bifásica de ferrita y perlita, y establecer la tasa de área de perlita en un valor superior al 40 % y 80 % o menos, y (2) establecer, a 250 nm o menos, el intervalo laminar para pernos sometidos a trefilado de alambre en frío (antes de la formación de los pernos). Se ha hecho evidente que la resistencia se puede mejorar aún más (3) controlando adecuadamente lo siguiente cuando se utiliza el alambre de acero para pernos en forma de perno: una relación entre la tasa de reducción del área total de este alambre de acero para pernos en el trefilado en frío del alambre de acero, la tasa de reducción del área total cuando el alambre de acero se somete a una reducción de diámetro para la conformación del vástago del perno, y el Ceq (carbono equivalente) del mismo.

En lo sucesivo, inicialmente se realizará una descripción de las características (los puntos (1) y (2), y la composición química) del alambre de acero para pernos de la presente invención, y un procedimiento de fabricación para el mismo, y posteriormente se realizará una descripción del procedimiento de fabricación de pernos de la invención (el punto (3)).

(1) Estructura del alambre de acero para pernos

El alambre de acero para pernos de la presente invención tiene sustancialmente una estructura bifásica de ferrita y perlita con una proporción total de ferrita y perlita de 98 % o más por área, preferiblemente del 99 % o más, por área. La tasa de área de perlita en el alambre es de más del 40 % y de 80 % o menos. Al hacer que el alambre de acero tenga esta estructura, se puede lograr un buen equilibrio entre la resistencia a la deformación del alambre de acero para pernos cuando tal alambre de acero adopta la forma de un perno y la resistencia del perno resultante. La ferrita es una fase blanda que es importante para restringir el aumento de la resistencia a la deformación, mientras que la perlita es una estructura en la que la cementita, que es dura, se dispone en forma laminar y es muy importante por la siguiente razón: en comparación con los aceros estandarizados JIS (SCM 435 y SCM 440) que se usan frecuentemente como aceros que tienen una resistencia del orden de 1200 MPa, la resistencia se puede asegurar incluso cuando el Mo, que es costoso, no está contenido y la proporción de Cr en el mismo es equivalente o inferior a la de los aceros estandarizados JIS. En el caso de que la martensita esté presente en la estructura, el acero se rompe fácilmente cuando se somete a trefilado de alambre. En el caso de que haya bainita presente, la relación de endurecimiento por trabajo del acero disminuye, de modo que el acero no puede alcanzar una resistencia objetivo. Por lo tanto, la tasa de área de martensita, bainita y cualquier otra estructura que no sea ferrita y perlita es del 2 % o menos por área, preferiblemente del 1 % o menos por área.

Con respecto a la proporción de perlita en la presente invención, si la tasa de área de perlita es superior al 80 % por área, la capacidad de fraguado en frío del acero se reduce en gran medida, de modo que se restringe notablemente la forma de perno moldeable y, además, la vida útil del troquel de forja se acorta en gran medida. Por lo tanto, el límite superior de la tasa de área de perlita se establece en 80 % o menos por área. El límite superior de la tasa de área de perlita es preferiblemente del 70 % o menos por área, más preferiblemente del 65 % o menos por área (en particular, del 60 % o menos por área). Sin embargo, si la tasa de área de perlita es demasiado pequeña, se requiere una relación de trabajo en frío para garantizar que la resistencia objetivo se incremente de manera que disminuya la resistencia a la fractura retardada del acero. Por lo tanto, la tasa de área de perlita se establece en más del 40 % por área. El límite inferior de la tasa de área de perlita es preferiblemente del 42 % o más por área, más preferiblemente del 43 % o más por área.

(2) Separación laminar de perlita

Sobre el alambre de acero para pernos de la presente invención, la separación laminar de la perlita es de 250 nm o menos después del trefilado en frío. Eso permite aumentar la cantidad de tensión introducida en la ferrita presente entre la perlita laminar en el trefilado en frío. Como resultado, la fase de perlita, que se deforma menos fácilmente que la fase de ferrita, también puede hacer el máximo uso de una caída en el límite elástico (efecto Bauschinger) cuando se aplica una tensión de compresión a la misma. Por lo tanto, cuando el alambre de acero se somete a la conformación de la cabeza del perno, se puede disminuir la carga de trabajo sobre el mismo. Además, si la separación laminar se hace pequeña, la capacidad del acero para atrapar hidrógeno en el mismo aumenta. Por lo tanto, esta materia también es eficaz para mejorar la resistencia a la fractura retardada. La separación laminar de perlita es preferiblemente de 240 nm o menos, más preferiblemente de 235 nm o menos. El límite inferior de la separación laminar de la perlita no está particularmente delimitado, y suele ser de unos 100 nm. Los detalles del ajuste de la separación laminar de la perlita se describirán más adelante; sin embargo, la separación laminar de la

ES 2 715 598 T3

perlita no es fácil de llevar a cabo mediante el enfriamiento continuo a través del laminado en caliente. Por lo tanto, la presente invención se caracteriza por utilizar transformación isotérmica, utilizando, por ejemplo, un baño de plomo, un baño de sal o una fase fluida.

5 Para el alambre de acero para pernos de la presente invención, es importante ajustar la composición química de manera apropiada, así como controlar el tipo y la forma de la estructura como se describe anteriormente. A continuación, se hará una descripción de la composición química del alambre de acero para pernos de la presente invención.

10 C: 0,30 a 0,50 %

El C es un elemento esencial para hacer que el alambre de acero alcance una resistencia deseada. Por lo tanto, la proporción de C se especifica en 0,30 % o más. La proporción de C es preferiblemente de 0,32 % o más, más preferiblemente de 0,35 % o más. Sin embargo, si la proporción de C es demasiado grande, la resistencia a la deformación del alambre de acero aumenta y su ductilidad de tenacidad disminuye para aumentar la tasa de inicio del agrietamiento cuando se conforma como perno, o se acorta la vida útil del troquel de forja. Por lo tanto, la proporción de C se especifica en 0,50 % o menos. La proporción de C es preferiblemente de 0,48 % o menos, más preferiblemente de 0,43 % o menos.

20 Si: 0,02 a 0,1%

El Si actúa como un material desoxidante cuando el acero se convierte en lingotes y es un elemento necesario como elemento de solución sólida para fortalecer la matriz. Para hacer que el Si muestre tales efectos de manera eficaz, la proporción de Si es del 0,02 % o más, más preferiblemente del 0,03 % o más. Sin embargo, si la proporción de Si es demasiado grande, la resistencia a la deformación del acero aumenta y su capacidad de fraguado en frío disminuye. Por lo tanto, la proporción de Si se especifica en 0,1 % o menos. La proporción de Si es preferiblemente de 0,09 % o menos, más preferiblemente de 0,08 % o menos.

30 Mn: 1,0 a 2,0%

El Mn es eficaz como elemento desoxidante y desulfurante en el acero en estado fundido, y también tiene el efecto de impedir que disminuya la ductilidad del material de acero cuando el material se somete a trabajo en caliente. El elemento es además un elemento que se disuelve en un estado sólido en ferrita para aumentar la resistencia del acero. Por lo tanto, la proporción de Mn se especifica en 1,0 % o más. La proporción de Mn es preferiblemente de 1,20 % o más, más preferiblemente de 1,30 % o más. Sin embargo, si la proporción de Mn es demasiado grande, la segregación central del acero aumenta para la rotura cuando se somete a trefilado de alambre o la reducción de la resistencia a la fractura retardada. Por lo tanto, la proporción de Mn se especifica en 2,0 % o menos. La proporción de Mn es preferiblemente de 1,80 % o menos, más preferiblemente de 1,60 % o menos (en particular, de 1,50 % o menos).

40 P: 0,002 a 0,025 %

El P es un elemento presente como impureza y se segrega en los límites de grano de ferrita para disminuir la deformabilidad del acero. El P hace que la ferrita sufra un fortalecimiento de la solución sólida, de manera que también es un elemento que aumenta la resistencia a la deformación del acero. El elemento provoca una caída en la resistencia del límite del grano para disminuir también la resistencia a la fractura retrasada. Por lo tanto, la proporción de P es preferiblemente lo más baja posible. La proporción de P se ajusta en 0,025 % o menos. La proporción de P es preferiblemente de 0,015 % o menos, más preferiblemente de 0,010 % o menos. A medida que la proporción de P se hace más pequeña, se obtiene un resultado más preferido. Sin embargo, si la proporción es extremadamente reducida, los costes de fabricación del material de acero aumentan en gran medida. Por lo tanto, el P está contenido en una proporción de 0,002 %.

S: 0,002 a 0,025 %

55 Al igual que el P, el S es un elemento presente como impureza. Cuando el S se une al Mn para estar presente en forma de MnS, no se produce un gran efecto. Sin embargo, si el S se une al Fe para ser precipitado en forma de FeS en los límites de grano, la deformabilidad del acero se reduce en gran medida. Por lo tanto, de la misma manera que el P, preferiblemente la proporción de S es lo más pequeña posible. La proporción de S se especifica en 0,025 % o menos. La proporción de S es preferiblemente de 0,015 % o menos, más preferiblemente de 0,010 % o menos. A medida que la proporción S se hace más pequeña, se obtiene un resultado más preferido. Sin embargo, si la proporción es extremadamente reducida, los costes de fabricación del material de acero aumentan en gran medida. Por lo tanto, el S está contenido en una proporción de 0,002 %.

65 Cr: 0,05 a 1,0%

El Cr es un elemento que presenta los efectos de hacer que la separación laminar de la fase de perlita sea fina y de

mejorar aún más la resistencia del acero mediante el fortalecimiento de la solución sólida. El Cr también es eficaz para mejorar la resistencia a la corrosión del acero y para mejorar la resistencia a la fractura retardada del acero. Para hacer que el Cr muestre dichos efectos de manera eficaz, la proporción de Cr se especifica en 0,05 % o más. La proporción de Cr es preferiblemente de 0,10 % o más, más preferiblemente de 0,12 % o más. Si la proporción de Cr es demasiado grande, se producen partículas gruesas de carburo que hacen disminuir la capacidad de fraguado en frío y resistencia a la corrosión del acero. Por lo tanto, la proporción de Cr se especifica en 1,0 % o menos. La proporción de Cr es preferiblemente del 0,7 % o menos, más preferiblemente del 0,5 % o menos.

Al: 0,01 - 0,1 %

El Al es útil como agente desoxidante, y además provoca que el N presente en el acero y disuelto en una forma de solución sólida se fije como AlN. Por lo tanto, el Al es útil para hacer que el acero tenga una resistencia a la deformación más baja y una mejor deformabilidad. Por lo tanto, la proporción de Al se especifica en 0,01 % o más. La proporción de Al es preferiblemente de 0,015 % o más, más preferiblemente de 0,020 %. Si la proporción de Al es demasiado grande, el Al disuelto en forma de solución sólida aumenta en cantidad para hacer que la fase de ferrita se endurezca, de modo que la vida útil del troquel de forja se acorta cuando el acero se conforma en forma de perno. Además, las inclusiones no metálicas, tales como Al_2O_3 , aumentan en cantidad, de modo que la deformabilidad del acero disminuye. Por lo tanto, la proporción de Al se establece en 0,1 % o menos. La proporción de Al es preferiblemente de 0,080 % o menos, más preferiblemente de 0,070 % o menos.

N: 0,01 % o menos (excluyendo 0%)

Cuando el N está presente como N disuelto en forma de solución sólida en el acero, el N hace que el acero tenga una gran resistencia a la deformación mediante envejecimiento dinámico por deformación y una baja deformabilidad. Por lo tanto, la proporción de N se especifica en 0,01 % o menos. La proporción de N es preferiblemente de 0,0070 % o menos, más preferiblemente de 0,0050 % o menos. A medida que la proporción de N se hace más pequeña, se obtiene un resultado más preferido. Sin embargo, si la proporción es extremadamente reducida, los costes de fabricación del material de acero aumentan en gran medida. Por lo tanto, el N está contenido generalmente en una proporción de 0,001 %.

B: 0,0005 - 0,005 %

De la misma manera que el Al, el B es un elemento que está unido a N disuelto en forma de solución sólida en el acero, de manera que se forma BN para disminuir el envejecimiento dinámico por deformación, mejorando así la capacidad de fraguado en frío del acero. En el procedimiento de fabricación, que se detallará más adelante, en la etapa de calentar acero crudo en el punto Ac_3 o superior y luego enfriar este acero, el B precipita en forma de carburo ($Fe_{23}(C, B)_6$) para aligerar la caída de resistencia de los límites de grano que se basa en un aumento en la concentración de P en los límites de grano. Por lo tanto, el B resulta útil para mejorar la resistencia a la fractura retardada. Por lo tanto, la proporción B se especifica en 0,0005 % o más. La proporción B es preferiblemente de 0,0010 % o más, más preferiblemente de 0,0015 % o más. Sin embargo, cualquier nitruro o carburo de B produce ligeramente un efecto de restricción de la generación de granos de cristal gruesos y un efecto como sitios de atrapamiento de hidrógeno en el acero. Por lo tanto, en la presente invención, es esencial usar una adición múltiple de B con uno o más elementos (al menos uno de Ti, Nb y V, que se detallarán más adelante) capaces de formar sitios de atrapamiento de hidrógeno en el acero. La adición de una proporción excesiva de B hace que el Fe_2B se segregue en los límites del grano del cristal para reducir la resistencia del límite, lo que hace que el acero tenga una ductilidad en caliente y una resistencia a la fractura retardada bajas. Por lo tanto, la proporción de B se establece en 0,005 % o menos. La proporción de B es preferiblemente de 0,0040 % o menos, más preferiblemente de 0,0035 % o menos.

Al menos uno seleccionado del grupo que consiste en Ti: 0,005 - 0,07 %, V: 0,05 - 0,4 %, y Nb: 0,05 - 0,1 %.

El Ti, el Nb y el V son cada uno un elemento que está unido a N o C disuelto en forma de solución sólida en el acero, de manera que se forma un compuesto para disminuir el envejecimiento dinámico por deformación basado en el N o C disuelto, mejorando así el fraguado en frío del acero. Los respectivos carburos y carbonitruros de estos elementos restringen la generación de granos de cristal gruesos para contribuir a una mejora de la tenacidad del acero, y además actúan como sitios de atrapamiento de hidrógeno en el acero de manera que sean útiles para mejorar la resistencia a la fractura retardada. Por lo tanto, la proporción de Ti se especifica en 0,005 % o más; la proporción V, en 0,05 % o más; y la proporción de Nb, hasta el 0,05 % o más. La proporción de Ti es preferiblemente de 0,010 % o más, más preferiblemente de 0,020 % o más. La proporción V es preferiblemente de 0,06 % o más, más preferiblemente de 0,07 % o más. Sin embargo, si los granos de los carbonitruros son demasiado gruesos, los granos disminuyen su capacidad para actuar como sitios de atrapamiento de hidrógeno y se convierten en sitios de mayor concentración de tensión cuando el acero se somete a forjado en frío para el perno, de modo que se promueve la generación de grietas en el mismo. Para controlar la generación de granos gruesos en los carburos y carbonitruros de la presente invención, es esencial la adición múltiple de estos elementos con B, que se combina con N o C disuelto en una forma de solución sólida para producir un compuesto. Si el contenido en porcentaje de cada uno de estos elementos es demasiado grande, la resistencia a la fractura retardada y la capacidad de fraguado

en frío se reducen como se describió anteriormente. Por lo tanto, la proporción de Ti se especifica en 0,07 % o menos; la proporción V, hasta el 0,4 % o menos; y la proporción de Nb, hasta el 0,1 % o menos. La proporción de Ti es preferiblemente de 0,070 % o menos, más preferiblemente de 0,065 % o más. La proporción de V es preferiblemente de 0,30 % o menos, más preferiblemente de 0,25 % o menos. La proporción de Nb es preferiblemente de 0,08 % o menos, más preferiblemente de 0,07 % o menos.

Los componentes básicos del alambre de acero para pernos de la presente invención son según se describió anteriormente. El balance de los mismo está compuesto por hierro. Sin embargo, es naturalmente permisible que el acero contenga impurezas inevitables traídas de acuerdo con la situación de sus materias primas, las instalaciones de fabricación y demás. Además, el alambre de acero para pernos de la presente invención puede contener opcionalmente Cu y/o Ni.

Cu: 0,20 % o menos (excluyendo 0 %) y/o Ni: 0,20 % o menos (excluyendo 0 %)

El Cu es un elemento que mejora la resistencia a la corrosión del acero y restringe la penetración del hidrógeno en el acero, lo que produce un efecto negativo en la fractura retardada. Para mejorar la resistencia a la fractura retardada, se desea agregar Cu en una gran proporción. Con el fin de hacer que el acero muestre un efecto tan ventajoso de manera eficaz, la proporción de Cu se establece preferiblemente en 0,03 % o más, más preferiblemente en 0,04% o más. Sin embargo, si se agrega Cu en una proporción excesiva, la capacidad de fraguado en frío, en particular la relación de ruptura crítica a la iniciación de grietas del acero se reduce. Por lo tanto, la proporción de Cu es de 0,20 % o menos. La proporción de Cu es preferiblemente de 0,18 % o menos, más preferiblemente de 0,15 % o menos.

De la misma manera que el Cu, el Ni es un elemento que tiene el efecto de mejorar la resistencia a la corrosión del acero. El Ni también tiene el efecto de detener la caída en la ductilidad en caliente causada por el aumento de la proporción de Cu. Por lo tanto, es recomendable agregar Ni en una proporción igual a la de Cu. La proporción de Ni se establece preferiblemente en 0,03 % o más, más preferiblemente en 0,04 % o más. Sin embargo, de la misma manera que el Cu, si se agrega Ni en una proporción excesiva, la capacidad de fraguado en frío del acero se reduce. Por lo tanto, la proporción de Ni es de 0,20 % o menos. La proporción de Ni es preferiblemente de 0,18 % o menos, más preferiblemente de 0,15 % o menos.

En la presente invención, el Cu y el Ni están cada uno inevitablemente contenidos en una proporción de hasta aproximadamente 0,02 %.

Para fabricar el alambre de acero para pernos de la presente invención, es importante producir lingotes de acero de acuerdo con un procedimiento ordinario, laminar en caliente los lingotes, calentar el acero laminado resultante a una temperatura desde el punto Ac_3 hasta 1100 °C, hacer que el acero sufra una transformación isotérmica a una temperatura de 450 a 600 °C, enfriar el acero y luego someter el acero a trefilado de alambre en frío a una tasa de reducción de área total de 50 a 80 %. El calentamiento permite cancelar la estructura del acero laminado; la transformación isotérmica, para producir una estructura bifásica hecha de ferrita y perlita y con una separación laminar fina; y el trefilado de alambre en frío, para hacer más fina la separación laminar y, además, dar tensión a la tracción a la fase de ferrita entre las láminas. Este aspecto se describirá en mayor detalle más adelante.

Calentamiento a una temperatura desde el punto Ac_3 hasta 1100 °C

El acero laminado se calienta hasta el punto Ac_3 o superior para austenitizar su estructura, por lo que la estructura del acero laminado con una resistencia desigual se puede cancelar. Sin embargo, si la temperatura de calentamiento es demasiado alta, los granos de cristal se vuelven gruesos, de modo que la estructura también tenderá a volverse gruesa después de la transformación isotérmica. Por lo tanto, el límite superior de la temperatura de calentamiento se establece en 1100 °C o menos. El límite inferior de la temperatura de calentamiento es preferiblemente "el punto $Ac_3 + 50$ °C" o superior, más preferiblemente "el punto $Ac_3 + 100$ °C" o superior. El límite superior de la temperatura de calentamiento es preferiblemente de 1050 °C o inferior, más preferiblemente de 1000 °C o inferior. Cuando la temperatura de calentamiento está dentro del rango de temperatura, el periodo de calentamiento suele ser de aproximadamente 3 a 10 minutos.

El punto Ac_3 puede calcularse de acuerdo con lo siguiente: Ac_3 (°C) = 908 - 224 [C] + 4385 [P] + 30,5 [Si] - 34,4 [Mn] - 23 [Ni] (fuente: Shigeo Ohkubo, "P. P. Thermal Treatment", pág.1, Ohmsha, Ltd. (1964)).

Transformación isotérmica a una temperatura de 450 a 600 °C.

Después del calentamiento a una temperatura desde el punto Ac_3 hasta 1100 °C, el acero se mantiene a una temperatura de 450 a 600 °C para permitir la realización de una estructura de ferrita y perlita más pequeña en la separación laminar que cualquier acero de acuerdo con el laminado en caliente, lo que aporta un enfriamiento continuo. La transformación isotérmica a la temperatura también permite ajustar la tasa de área de perlita a más del 40 % y 80 % o menos. Sin embargo, si la temperatura de transformación isotérmica es inferior a 450 °C, se produce bainita o martensita para reducir la capacidad de fraguado en frío del acero. Si la temperatura de transformación isotérmica es superior a 600 °C, la separación laminar de la fase de perlita se hace grande para disminuir la

resistencia y el poder de atrapamiento del hidrógeno. El límite inferior de la temperatura de transformación isotérmica es preferiblemente de 480 °C o superior, más preferiblemente de 500 °C o superior. El límite superior de la temperatura de transformación isotérmica es preferiblemente de 580 °C o inferior, más preferiblemente de 560 °C o inferior. En cuanto al periodo de transformación isotérmica, es recomendable ajustar, en el rango de 8 a 11 segundos por milímetro de un diámetro del acero laminado en caliente, el valor de [el período de transformación isotérmica (segundo)]/el diámetro D (mm) del acero laminado]. La transformación isotérmica se logra sumergiendo el acero laminado calentado en un baño de plomo, un baño de sal o una fase fluida. En este caso, la velocidad de enfriamiento de la temperatura de calentamiento mencionada anteriormente a la temperatura de transformación isotérmica es de 45 a 450 °C/segundo. También es recomendable enfriar el acero después de la transformación isotérmica a una temperatura de 300 a 420 °C a una velocidad de enfriamiento de 0,4 a 4,0 °C/segundo.

Trefilado de alambre en frío en una tasa de reducción de área total de 50 a 80 %

Después de la transformación isotérmica, el trefilado de alambre en frío en una tasa de reducción del área total de 50 a 80 % hace posible que el acero garantice su resistencia (el alambre de acero tiene una resistencia a la tracción de 1000 MPa o más, preferiblemente 1050 MPa o más, más preferiblemente 1100 MPa o más después de someterse a trefilado) mediante endurecimiento por trabajo, y además permite el ajuste de la separación laminar de la perlita generada por la transformación isotérmica a un valor menor, específicamente, 250 nm o menos. Además, el trefilado de alambre en frío permite dar tensión a la fase de ferrita entre las láminas, exhibir el efecto Bauschinger hasta el grado máximo y disminuir aún más la resistencia a la deformación del acero cuando el acero está comprimido (la carga de trabajo cuando el acero es conformado en forma de cabeza de perno). Si la tasa de reducción del área total es más del 80 %, la dureza del perno debajo de su cuello se eleva para reducir la resistencia del acero a la fractura retardada. Además, después del trefilado de alambre, una capa lubricante generada en la superficie del alambre de acero disminuye en cantidad, lo que reduce la capacidad de fraguado en frío. Cuando la tasa de reducción del área total se establece en 80% o menos, la resistencia a la tracción del alambre de acero llega a tener una resistencia a la tracción de 1300 MPa o menos. Si la tasa de reducción del área total es inferior al 50 %, el acero no puede garantizar la resistencia a la tracción. El límite inferior de la tasa de reducción del área total es preferiblemente del 53 % o más, más preferiblemente del 55 % o más. El límite superior de la tasa de reducción del área total es preferiblemente del 75 % o menos, más preferiblemente del 70 % o menos.

El diámetro del alambre de acero de la presente invención es, por ejemplo, de 8 a 12 mm.

El procedimiento de fabricación de pernos de la presente invención, se caracteriza por controlar el alambre de acero para pernos, el cual se obtiene como se ha descrito anteriormente, de manera apropiada, como se describe en el punto arriba mencionado (3) sobre una relación entre la tasa de reducción del área total del alambre de acero para pernos en el trefilado de alambre frío del mismo, la tasa de reducción del área total del mismo en la reducción del diámetro para formar el acero en una forma de vástago de perno y el C_{eq} (carbono equivalente) del mismo.

(3) Relación entre la tasa de reducción de área total en el trefilado en frío, la tasa de reducción de área total en la reducción de diámetro y el C_{eq}

El alambre de acero para pernos de la presente invención tiene una excelente resistencia a la tracción. Para que el alambre de acero pueda producir este efecto a un nivel máximo para aumentar la resistencia del perno, es importante hacer un ajuste apropiado sobre la relación entre la tasa de reducción del área total del alambre de acero para pernos en el trefilado de alambre en frío en el momento de fabricación del alambre de acero (en lo sucesivo, denominada tasa de reducción del área del valor A), la tasa de reducción total del mismo en la reducción del diámetro en el momento de la formación de la forma del vástago del perno (denominada tasa de reducción del área del valor B) y el C_{eq} (carbono equivalente). La resistencia del alambre de acero para pernos de la presente invención se puede mejorar mediante el endurecimiento por trabajo en el trefilado de alambre en frío; sin embargo, si la resistencia del acero se hace demasiado alta mediante trefilado de alambre en frío, en el momento de la fabricación del alambre de acero en un perno, la dureza del perno debajo de su cuello aumenta para aumentar la sensibilidad del perno a la fractura retardada. Por lo tanto, el límite superior de la tasa de reducción del área total en el trefilado de alambre en frío se especifica al 80 % o menos. En la reducción de diámetro, el acero puede no sufrir un endurecimiento por trabajo o puede disminuir su resistencia al revés cuando la tasa de área es baja. Por consiguiente, en el procedimiento de fabricación de pernos de la invención, se realiza un control apropiado sobre los tres puntos siguientes: la resistencia del alambre de acero para pernos; el aumento de resistencia del acero que se basa en la reducción del diámetro en el vástago del perno; y el C_{eq} (carbono equivalente), que es alto en correlación con la resistencia. El control permite alcanzar una resistencia de perno de 1200 MPa o más (preferiblemente de 1300 MPa o más), y frenar aún más el aumento de la dureza del perno debajo de su cuello y la caída en la resistencia a la fractura retardada.

El trefilado y la reducción del diámetro son diferentes entre sí en forma de trabajo o velocidad de trabajo. Por lo tanto, entre ellos, la resistencia del perno se ve afectada en diferentes grados incluso cuando se alcanza la misma tasa de reducción de área. Por lo tanto, teniendo en cuenta los efectos respectivos producidos en la resistencia del perno por la tasa de reducción de área total en el trefilado de alambre, la tasa de reducción del área total en la reducción del diámetro y el carbono equivalente, específicamente, la tasa de reducción del área del valor A, la tasa

de reducción del área del valor B, y el C_{eq} (carbono equivalente) se ajusta para satisfacer la siguiente desigualdad (1):

$$1020 \geq 5,4$$

$$\times (\text{la tasa de reducción de área de valor A}) + 3,15 \times (\text{la tasa de reducción de área de valor B}) + 652 \times C_{eq} \geq 880 \quad (1)$$

5 En la desigualdad (1), los coeficientes respectivos de la tasa de reducción de área del valor A y la tasa de reducción de área del valor B se obtienen como se describe a continuación.

10 Coeficiente de la tasa de reducción del área de valor A:

10 Se ha utilizado un acero que tiene cada una de las composiciones químicas de los Ejemplos, que se describirán más adelante, para la fabricación de alambres de acero, mientras que la tasa de reducción del área total en el trefilado del alambre (la tasa de reducción del área del valor A) se ha variado dentro de un rango del 10% o más. Se han medido las respectivas resistencias de los alambres de acero resultantes y entre la resistencia del alambre de acero cuando la tasa de reducción del área del valor A se ha ajustado al 10 % y las resistencias del alambre de acero con las respectivas tasas de reducción del área, se obtuvo una diferencia (ΔTS). Una relación entre las velocidades de reducción del área y ΔTS se ha aproximado linealmente. Como resultado, se ha obtenido un coeficiente de 5,4.

20 Coeficiente de la tasa de reducción del área de valor B:

20 Se ha utilizado un acero que tiene cada una de las composiciones químicas de los Ejemplos, que se describirán más adelante, para la producción, con una relación constante de trefilado en frío, de alambres de acero. A continuación, los alambres de acero se han sometido a una reducción de diámetro, mientras que la tasa de reducción de área (la tasa de reducción de área del valor B) se ha variado dentro de un rango del 15 % o más. El aumento de la resistencia (de cada uno de los alambres de acero) después de la reducción del diámetro de la resistencia antes de que se haya obtenido el trabajo. Se ha aproximado linealmente una relación entre las tasas de reducción del área del valor B y las cantidades de aumento de la resistencia. Como resultado, se ha obtenido un coeficiente de 3,15.

30 Coeficiente de C_{eq} :

30 El siguiente C_{eq} es un C_{eq} típico utilizado para el acero al carbono para estructuras mecánicas; y se ha especificado un coeficiente de cada elemento como se describe a continuación, ya que el coeficiente tiene una buena correlación con las resistencias a la tracción de los alambres de acero después de que los alambres hayan sido sometidos a transformación isotérmica, las resistencias a la tracción se describen en los Ejemplos:

$$C_{eq} = [C] + [Si]/7 + [Mn]/5 + [Cu]/7 + [Cr]/9 + [Ni]/20$$

35 donde el símbolo "[cualquiera de estos elementos]" significa el contenido en porcentaje (% en masa) del elemento.

40 El límite superior de la desigualdad es de 1020 o menos.

La tasa de reducción del área de valor B es de 35 a 50, y el valor de C_{eq} es de 0,6 a 0,8.

45 Después de que el alambre de acero se somete a la reducción del diámetro para satisfacer la relación de la desigualdad (1), el alambre de acero se presiona mediante un procedimiento ordinario para formar una cabeza de perno. A partir de entonces, este acero se somete a un corte de perno en una etapa de laminación en frío. Es aconsejable formar un objeto en forma de perno a través de este procedimiento. La capacidad de fraguado en frío a la que se hace referencia en relación con la presente invención se evalúa sobre la base de la vida útil de un troquel de forjado utilizado en la formación de cualquier cabeza de perno presionando, como también se describirá en los Ejemplos.

50 En la presente invención, es importante que después de que el objeto con forma de perno se forme mediante el modelado del vástago, la conformación de la cabeza y el corte de tornillo, el objeto con forma de perno se cueza a una temperatura de 200 a 400 °C. La cocción a la temperatura hace posible mejorar el límite elástico del perno resultante mediante endurecimiento por envejecimiento basado en elementos de soluto residual, así como por la precipitación de partículas finas de carburo. Mediante este tratamiento de cocción, el perno puede satisfacer una resistencia en la clase 12,9 de JIS (resistencia a la tracción: 1200 MPa o más, límite elástico: 1080 MPa o más y relación de límite elástico: 0,9 o más). Si la temperatura de cocción es superior a 400 °C, la tensión introducida por el trabajo en frío se libera para que la resistencia del perno disminuya. Por lo tanto, el perno no puede alcanzar una fuerza objetivo. La temperatura de cocción es preferiblemente de 250 o más y de 350 °C o menos.

El perno obtenido por el procedimiento de fabricación de la presente invención tiene una resistencia a la tracción de 1200 MPa o más, un límite elástico del 0,2 % de 1080 MPa o más, y una relación de límite elástico de 0,90 o más. Este perno también se incluye en la presente invención. La resistencia a la tracción es preferiblemente de 1300 MPa o más, el límite elástico del 0,2% es preferiblemente de 1150 MPa o más, y la relación de límite elástico es preferiblemente de 0,92 o más. Los límites superiores respectivos de la resistencia a la tracción, el límite elástico del 0,2 % y la relación de límite elástico son los siguientes. La resistencia a la tracción, el límite elástico del 0,2 % y la relación de límite elástico son 1400 MPa o menos, 1300 MPa o menos y 0,95 o menos, respectivamente.

La presente invención hace posible realizar un perno que tiene una alta resistencia de 1200 MPa o más y que logra simultáneamente capacidad de fraguado en frío y resistencia a la fractura retardada. En consecuencia, se pueden hacer piezas de sujeción que en gran medida sean pequeñas y ligeras. La invención puede hacer que las partes del motor de los automóviles y otras partes ligeras contribuyan en gran medida a reducir el consumo de combustible y disminuir el CO₂.

15 Ejemplos

En lo sucesivo, la presente invención se especificará más por medio de ejemplos prácticos. La invención no está limitada por estos ejemplos. Los ejemplos pueden ser variados, y los ejemplos variados pueden llevarse a cabo naturalmente en la medida en que los ejemplos variados puedan emparejarse con el tema que se ha descrito anteriormente y que se describirá más adelante. Los ejemplos variados se incluyen cada uno en el alcance técnico de la invención.

Se produjo un acero que tiene cada una de las composiciones químicas mostradas en las Tablas 1 y 2 en un lingote mediante un procedimiento ordinario, y luego el lingote fue laminado en caliente para producir un acero laminado con un diámetro de acero laminado (de ϕ 15,5 a 28,0 mm) que se muestra en la Tabla 3 o 4. Posteriormente, el acero laminado se pasó a través de un horno continuo y se calentó en una condición que se muestra en la Tabla 3 o 4 para ser austenitizado (período de calentamiento: aproximadamente 7 minutos). El acero se sumergió en un baño de plomo para someterse a un tratamiento de transformación isotérmica. El período para el tratamiento de transformación isotérmica se ajustó para satisfacer lo siguiente: [período de inmersión "t" (segundo)]/[diámetro del acero laminado "D" (mm)] = 8-11

Después de la transformación isotérmica, el acero se enfrió a una temperatura de 370 a 420 °C a una velocidad de enfriamiento de 0,6 a 2,0 °C/segundo. Posteriormente, el acero se pasó a través de un tanque de arena para eliminar el plomo fundido que se adhiere a la capa superficial del acero laminado. Posteriormente, el acero se enfrió con aire y se enfrió con agua caliente (aproximadamente 80 °C) para eliminar el calor. El acero fue luego enrollado en forma de bobina. A continuación, el acero laminado se lavó con un ácido para eliminar una capa de escala oxidada generada en la capa superficial y luego se sometió a un tratamiento de recubrimiento con fosfato de zinc. El resultado se sometió a trefilado en una tasa de reducción de área total (la tasa de reducción de área del valor A) que se muestra en la Tabla 3 o 4 para fabricar un alambre de acero que tiene un diámetro de alambre trefilado de 10,0 a 14,1 mm

Se utilizó el alambre de acero y se forjó en frío, utilizando un formador de piezas, para fabricar pernos M10. El procedimiento de fabricación de pernos M10 conllevó un trabajo de reducción de vástago basado en la extrusión hacia adelante, y una etapa de formación de la prensa para la cabeza de perno. La capacidad de fraguado en frío del alambre o de los pernos de acero se evaluó sobre la base de la vida útil del troquel de forja en una etapa de formación de pernos que proporciona la mayor carga de prensado (tercer punzón). Después de que se formó la cabeza del perno, cada uno de los pernos se sometió a un corte de tornillo en una conformación en frío por laminación y luego se coció en las condiciones mostradas en la Tabla 3 o 4.

En cada uno de los aceros de alambre obtenidos como se describió anteriormente, la estructura de los mismos se evaluó mediante los procedimientos descritos a continuación, y además se midió su resistencia a la tracción en base a JIS Z2241. Se midieron las respectivas resistencias a la tracción de cinco piezas de prueba de este alambre de acero, y su promedio se usó como la resistencia a la tracción del alambre de acero.

55 (a) Identificación de la estructura

El alambre de acero se incrustó en una resina de modo que se pudo observar una sección transversal del alambre de acero (sección transversal perpendicular a la dirección de laminación del alambre de acero), y se pulió la superficie de la pieza resultante. La pieza se sometió a grabado Nital para hacer que la estructura de la misma hiciera su aparición. La estructura de cada uno de sus restos se identificó de acuerdo con la situación de las áreas blancas, grises y negras observables con un microscopio óptico (potencia de aumento: 400 aumentos). Cualquier resto que tuviera un área blanca sin tener un área gris o negra fue considerado como una fase de ferrita; cualquier resto que tuviera una región negra, incluyendo áreas grises dispersas, como una fase de perlita; y cualquier resto que tuviera una región en la que las áreas blancas estuvieran entremezcladas entre sí en forma de agujas, como una fase de bainita. La estructura del resto considerado como una fase de bainita se fotografió por separado a aumentos respectivos de 2000 y 8000 mediante un microscopio electrónico de barrido (SEM). De esta manera, se

verificó si la sentencia era o no un juicio equivocado.

(b) Medición de la proporción de perlita

- 5 [0061] De cada una de las regiones D/4 y D/ 8 (D: diámetro del alambre de acero) de una sección transversal de cada uno de los alambres de acero, se seleccionaron arbitrariamente 4 puntos, y se observaron a 400 aumentos con un microscopio óptico (campo visual de observación: $225\ \mu\text{m} \times 175\ \mu\text{m}$). Su estructura fue fotografiada para obtener un total de 8 fotografías. Cada una de las fotografías de la estructura se binarizó en puntos blancos y puntos negros a través de un software de procesamiento de imágenes. A partir de la proporción de los puntos negros correspondientes a una fase de perlita, se calculó la proporción de perlita. El promedio de los valores de las 8 fotografías se usó como la proporción de perlita de cada uno de los alambres de acero de muestra.

(c) Medición de la separación laminar de perlita

- 15 La región AD/4 (D: diámetro del alambre de acero) de una sección transversal del alambre de acero se observó a 8000 aumentos con el microscopio electrónico de barrido (SEM) (campo visual de observación: $8,75\ \mu\text{m} \times 11,25\ \mu\text{m}$) para medir el número de láminas presentes dentro de una longitud dada de los granos de perlita. De esta manera, se obtuvo la separación laminar. La medición se realizó en dos puntos en cada uno de los campos visuales observados. El número de campos visuales observados fue de tres. La respectiva separación laminar en los puntos, cuyo número total era seis, se dispuso a su vez a partir del valor mínimo de la misma para obtener frecuencias acumuladas. Un gráfico obtenido al reajustar una relación entre las frecuencias acumulativas (eje transversal) y la separación laminar (eje vertical) se aproximó linealmente para obtener una intersección (separación laminar mínima). El valor de ["el valor de intersección" $\times 1,65$] se usó como separación laminar media.
- 20
- 25 La capacidad de fraguado en frío se evaluó sobre la base de la vida útil del troquel de forja y el agrietamiento del alambre de acero en la conformación de la prensa en la etapa de formación del perno en la que la carga de formación de la prensa fue la más alta (tercer punzón). El agrietamiento en la conformación de la prensa se evaluó mediante una operación de extracción de un perno cada vez que se completó la formación de aproximadamente 10 a 20 pernos. Simultáneamente, la vida útil del troquel de forja de cada uno de los alambres de acero de muestra se determinó examinando una lesión transcrita a la cabeza de algunos de los pernos resultantes y generada con una fractura del molde.
- 30

- Además, sobre los pernos descritos anteriormente, se midieron sus propiedades mecánicas (la resistencia a la tracción, el límite elástico y la relación de límite elástico de este perno) (de acuerdo con JIS Z2241), y se realizó una prueba de resistencia a la fractura retardada. En la prueba de resistencia a la fractura retardada, algunos de los pernos se sumergieron en HCl al 15 % durante 30 minutos, se lavaron con agua y se secaron. Se usó un probador de fractura con retardo de tensión de tipo bucle para aplicar una tensión (90 % de la resistencia a la tracción) a cada uno de los pernos en la atmósfera. Después de 100 horas, la resistencia a la fractura retardada del perno se evaluó examinando si los pernos se fracturaron o no. Sobre cada una de la resistencia a la tracción y el límite elástico del perno, se midieron 5 pernos de prueba de los pernos. Los promedios respectivos de los valores medidos se utilizaron como resistencia a la tracción y límite elástico del perno.
- 35
- 40

- Estos resultados se muestran en las Tablas 3 y 4. Cualquier expresión "Ferrita + perlita" en su columna "Estructura" significa que en el punto mencionado anteriormente "(a) Identificación de la estructura", no se ha podido reconocer ninguna otra estructura que no sea ferrita y perlita.
- 45

[Tabla 1]

Acero n.º	Composición química (% en masa) * El balance consiste en hierro e impurezas inevitables.														Ceq
	c	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Al	N	B	Ti	V	Nb	
D-1	0,32	0,06	1,43	0,008	0,007	0,01	0,02	0,14	0,034	0,0036	0,0022	0,034	-	-	0,63
D-2	0,46	0,05	1,45	0,006	0,008	0,01	0,01	0,12	0,033	0,0032	0,0020	0,032	-	-	0,77
D-3	0,35	0,07	1,42	0,007	0,007	0,02	0,02	0,14	0,042	0,0035	0,0021	0,038	-	-	0,66
D-4	0,36	0,04	1,60	0,007	0,007	0,02	0,02	0,14	0,041	0,0036	0,0017	0,035	-	-	0,71
D-5	0,35	0,05	1,45	0,007	0,007	0,01	0,01	0,70	0,037	0,0036	0,0019	0,035	-	-	0,73
D-6	0,34	0,06	1,43	0,006	0,007	0,02	0,02	0,12	0,040	0,0036	0,0021	0,056	-	-	0,65
D-7	0,34	0,03	1,34	0,002	0,005	0,08	0,09	0,16	0,037	0,0035	0,0019	0,040	-	-	0,65
D-8	0,36	0,05	1,41	0,008	0,007	0,01	0,01	0,14	0,043	0,0035	0,0016	-	0,07	-	0,67
D-9	0,36	0,06	1,44	0,007	0,006	0,01	0,01	0,13	0,040	0,0036	0,0018	-	0,20	-	0,67
D-10	0,35	0,05	1,46	0,007	0,006	0,01	0,01	0,14	0,038	0,0034	0,0019	-	-	0,05	0,67

[Tabla 2]
Composición química (% en masa) * El balance consiste en hierro e impurezas inevitables.

Acero n.º	Composición química (% en masa) * El balance consiste en hierro e impurezas inevitables.														Ceq
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Al	N	B	Ti	V	Nb	
C-1	0,25	0,05	1,41	0,007	0,007	0,01	0,01	0,16	0,035	0,0034	0,0018	0,035	-	-	0,56
C-2	0,33	0,04	1,40	0,007	0,007	0,01	0,01	0,15	0,040	0,0033	0,0019	-	-	-	0,63
C-3	0,85	0,24	0,75	0,007	0,007	0,01	0,01	0,12	0,038	0,0034	0,0019	0,032	-	-	1,05
C-4	0,57	0,04	1,34	0,007	0,007	0,01	0,01	0,12	0,038	0,0034	0,0019	0,031	-	-	0,86
C-5	0,34	0,29	1,43	0,007	0,007	0,02	0,02	0,14	0,044	0,0036	0,0020	0,035	-	-	0,69
C-6	0,34	0,04	0,70	0,006	0,008	0,01	0,01	0,13	0,036	0,0033	0,0018	0,033	-	-	0,50
C-7	0,35	0,03	2,20	0,007	0,006	0,02	0,02	0,12	0,038	0,0034	0,0018	0,035	-	-	0,81
C-8	0,34	0,03	1,33	0,004	0,005	0,24	0,22	0,15	0,035	0,0035	0,0021	0,039	-	-	0,67
C-9	0,34	0,04	1,43	0,008	0,006	0,01	0,01	0,02	0,038	0,0037	0,0018	0,038	-	-	0,64
C-10	0,35	0,05	1,41	0,007	0,007	0,01	0,01	1,50	0,038	0,0036	0,0021	0,039	-	-	0,81
C-11	0,33	0,04	1,32	0,008	0,007	0,01	0,01	0,11	0,034	0,0057	-	0,036	-	-	0,61
C-12	0,35	0,04	1,43	0,006	0,008	0,01	0,01	0,12	0,037	0,0032	0,0072	0,033	-	-	0,66
C-13	0,36	0,04	1,45	0,007	0,008	0,01	0,01	0,12	0,042	0,0033	0,0024	0,150	-	-	0,67
C-14	0,34	0,04	1,42	0,007	0,008	0,01	0,01	0,13	0,044	0,0034	0,0017	-	0,50	-	0,65
C-15	0,35	0,04	1,45	0,008	0,007	0,01	0,01	0,14	0,038	0,0034	0,0022	-	-	0,50	0,66
C-16	0,36	0,05	1,43	0,007	0,007	0,01	0,01	0,14	0,002	0,0049	0,0022	0,037	-	-	0,67
C-17	0,35	0,06	1,44	0,006	0,007	0,01	0,01	0,13	0,180	0,0034	0,0019	0,034	-	-	0,66
C-18	0,35	0,06	1,42	0,006	0,007	0,01	0,01	0,13	0,034	0,0150	0,0021	0,033	-	-	0,66

[Tabla 3]

Experimento n.º	Muestra	Diámetro de acero laminado		Temperatura de calentamiento (°C)	Temperatura de transformación isotérmica (°C)	Resistencia a la tracción (MPa) tras transformación isotérmica	Trefilado			Microestructura del material trefilado				Trabajo de reducción de diámetro		Trabajabilidad de los pernos		Desigualdad (1)	Condiciones de cocción	Propiedades del perno			Resistencia a la fractura retardada	Notas
		Diámetro de alambre trefilado (mm)	Reducción del área del valor A (%)				Resistencia a la tracción (MPa)	Microestructura	Separación laminar (mm)	Proporción de área de perita (%)	Díametro de vástago del perno (mm)	Reducción del área del valor B (%)	Vida útil del molde (número de pernos)	Agrietamientos en el forjado	Resistencia a la tracción (MPa)	Límite elástico (MPa)	Relación de límite elástico							
1	D-1	20,0	63,4	1092	Ferrita +perita	238	42,0	9,15	42,8	97,900	No	890	250 °C x 2 h	1218	1150	0,94	o							
2		20,0	63,4	1015	Ferrita +perita	245	42,5	9,15	57,9	86,700	No	865	250 °C x 2 h	1184	1065	0,90	-						Agrietamiento, generado en la región del vástago de diámetro reducido	
3		20,0	63,4	1084	Ferrita +perita	228	41,5	9,15	16,3	103,500	No	815	250 °C x 2 h	1145	1015	0,89	-						Resistencia del perno no alcanzada	
4	D-2	20,0	63,4	1200	Ferrita +perita	214	73,6	9,15	42,8	90,500	No	981	250 °C x 2 h	1320	1217	0,92	o							
5		20,0	63,4	1235	Ferrita +perita	184	76,2	9,15	42,8	89,600	No	1015	250 °C x 2 h	1354	1240	0,92	o							
6		20,0	63,4	1050	Ferrita +perita	272	72,2	9,15	42,8	97,500	No	849	250 °C x 2 h	1189	1034	0,87	-						Resistencia del perno no alcanzada	
7		20,0	63,4	1165	Ferrita +perita	278	73,7	9,15	42,8	88,000	No	981	250 °C x 2 h	1254	1110	0,89	(o)						Relación de límite elástico del perno no unida	
8		20,0	63,4	1116	Ferrita +perita	-	-	9,15	42,8	92,000	No	981	250 °C x 2 h	1240	1085	0,88	-						Relación de límite elástico del perno no unida	

ES 2 715 598 T3

Experimento n.º	Muestra	Diámetro de acero laminado	Temperatura de calentamiento (°C)	Temperatura de transformación isotérmica (°C)	Resistencia a la tracción (MPa) tras transformación isotérmica	Trefilado			Microestructura del material trefilado			Trabajo de reducción de diámetro		Trabajabilidad de los pernos		Desigualdad (1)	Condiciones de cocción	Propiedades del perno			Resistencia a la fractura retardada	Notas
						Diámetro de alambre trefilado (mm)	Reducción del área del valor A (%)	Resistencia a la tracción (MPa)	Microestructura	Separación laminar (mm)	Proporción de área de perita (%)	Díametro de vástago del perno (mm)	Reducción del área del valor B (%)	Vida útil del molde (número de pernos)	Agritamientos en el forjado			Relación de límite elástico (MPa)	Límite elástico (MPa)	Resistencia a la tracción (MPa)		
9	D-3	20,0	970	540	745	12,10	63,4	1120	Ferrita +perita	238	47,1	9,15	42,8	89,900	No	910	250 °C x 2 h	1250	1175	0,94	○	
10		20,0	970	540	745	12,10	63,4	1120	Ferrita +perita	238	47,1	9,15	42,8	89,900	No	910	-	1215	1060	0,87	-	Límite elástico y relación de límite elástico del perno no alcanzadas
11		20,0	970	540	745	12,10	63,4	1120	Ferrita +perita	238	47,1	9,15	42,8	89,900	No	910	250 °C x 2 h	1225	1135	0,93	○	
12		20,0	970	540	745	12,10	63,4	1120	Ferrita +perita	238	47,1	9,15	42,8	89,900	No	910	250 °C x 2 h	1103	945	0,88	-	Resistencia del perno no alcanzada
13		20,0	1250	540	704	12,10	63,4	1080	Ferrita +perita	268	49,3	9,15	42,8	94,500	No	910	250 °C x 2 h	1185	1073	0,91	-	Resistencia del perno no alcanzada
14	D-4	20,0	970	540	782	12,10	63,4	1143	Ferrita +perita	242	44,1	9,15	42,8	85,700	No	937	250 °C x 2 h	1278	1180	0,92	○	
15	D-5	20,0	970	540	835	12,10	63,4	1205	Ferrita +perita	241	42,0	9,15	42,8	87,600	No	951	250 °C x 2 h	1318	1206	0,92	○	
16	D-6	20,0	970	540	739	12,10	63,4	1108	Ferrita +perita	236	41,9	9,15	42,8	89,400	No	902	250 °C x 2 h	1262	1162	0,92	○	
17	D-7	20,0	970	540	760	12,10	63,4	1112	Ferrita +perita	245	42,4	9,15	42,8	86,500	No	898	250 °C x 2 h	1253	1136	0,91	○	
18	D-8	20,0	970	540	755	12,10	63,4	1123	Ferrita +perita	232	44,8	9,15	42,8	89,300	No	912	250 °C x 2 h	1246	1130	0,91	○	
19	D-9	20,0	970	540	753	12,10	63,4	1125	Ferrita +perita	231	43,6	9,15	42,8	89,100	No	916	250 °C x 2 h	1257	1154	0,92	○	
20	D-10	20,0	970	540	758	12,10	63,4	1119	Ferrita +perita	228	43,1	9,15	42,8	89,700	No	912	250 °C x 2 h	1253	1146	0,91	○	

[Tabla 4]

Experimento n.º	Muestra	Diámetro de acero laminado	Temperatura de calentamiento (°C)	Temperatura de transformación isotérmica (°C)	Resistencia a la tracción (MPa) tras transformación isotérmica	Trefilado			Microestructura del material trefilado			Trabajo de reducción de diámetro			Trabajabilidad de los pernos		Desigualdad (1)	Condiciones de cocción	Propiedades del perno			Resistencia a la fractura retardada	Notas
						Diámetro de alambre trefilado (mm)	Reducción del área del valor A (%)	Resistencia a la tracción (MPa)	Microestructura	Separación laminar (mm)	Proporción de área de perlitita (%)	Diámetro de vástago del perno (mm)	Reducción del área del valor B (%)	Vida útil del molde (número de pernos)	Agrietamientos en el forjado	842			250 °C x 2 h	Resistencia a la tracción (MPa)	Límite elástico (MPa)		
21	C-1	20,0	970	540	673	12,10	63,4	1035	Ferrita +perlitita	266	32,8	9,15	42,8	105,900	No	842	250 °C x 2 h	1100	1005	0,91	-	Resistencia del perno no alcanzada	
22		28,0	970	540	670	12,10	81,3	1138	Ferrita +perlitita	268	32,8	9,15	42,8	88,700	Si	938	250 °C x 2 h	1267	1187	0,94	-	Reborde agrietado	
23	C-2	20,0	970	540	705	12,10	41,4	1070	Ferrita +perlitita	278	38,0	9,15	42,8	86,500	No	772	250 °C x 2 h	1139	1040	0,91	-	Resistencia del perno no alcanzada	
24	C-3	20,0	970	540	1038	12,10	63,4	1407	Ferrita +perlitita	248	100,0	9,15	42,8	64,300	Si	1162	250 °C x 2 h	1530	1380	0,90	-	Reborde agrietado	
25	C-4	20,0	970	540	905	12,10	63,4	1272	Ferrita +perlitita	202	91,8	9,15	42,8	82,600	No	1037	250 °C x 2 h	1389	1265	0,91	(o)	Vida útil del molde, reducida	
26	C-5	20,0	970	540	752	12,10	63,4	1117	Ferrita +perlitita	253	43,6	9,15	42,8	82,700	No	925	250 °C x 2 h	1258	1145	0,91	(o)	Vida útil del molde, reducida	
27	C-6	20,0	970	540	642	12,10	63,4	1011	Ferrita +perlitita	278	46,4	9,15	42,8	111,800	No	805	250 °C x 2 h	1113	1025	0,92	-	Resistencia del perno no alcanzada	
28	C-7	20,0	970	540	844	12,10	63,4	1212	Ferrita +perlitita	175	42,3	9,15	42,8	82,500	No	1006	250 °C x 2 h	1351	1245	0,92	x	Vida útil del molde, reducida	

ES 2 715 598 T3

Experimento n.º	Muestra	Diámetro de acero laminado	Temperatura de calentamiento (°C)	Temperatura de transformación isotérmica (°C)	Resistencia a la tracción (MPa) tras transformación isotérmica	Trefilado			Microestructura del material trefilado			Trabajo de reducción de diámetro		Trabajabilidad de los pernos		Desigualdad (1)	Condiciones de cocción	Propiedades del perno			Resistencia a la fractura retardada	Notas
						Diámetro de alambre trefilado (mm)	Reducción del área del valor A (%)	Resistencia a la tracción (MPa)	Microestructura	Separación laminar (mm)	Proporción de área de perlitita (%)	Diámetro de vástago del perno (mm)	Reducción del área del valor B (%)	Vida útil del molde (número de pernos)	Agrietamientos en el forjado			Vida útil del molde (número de pernos)	Reducción del diámetro	Resistencia a la tracción (MPa)		
29	C-8	20,0	970	540	775	12,10	63,4	1144	Ferrita +perlitita	233	43,1	9,15	42,8	93,000	Si	916	250 °C x 2 h	1265	1154	0,91	-	Reborde agrietado
30	C-9	28,0	970	540	710	12,10	63,4	1075	Ferrita +perlitita	262	41,3	9,15	42,8	99,100	No	892	250 °C x 2 h	1190	1078	0,91	-	Resistencia del perno no alcanzada
31	C-10	20,0	970	540	946	12,10	63,4	1322	Ferrita +perlitita	143	41,3	9,15	42,8	68300	No	1004	250 °C x 2 h	1359	1240	0,91	x	Vida útil del molde, reducida
32	C-11	20,0	970	540	715	12,10	63,4	1075	Ferrita +perlitita	286	51,4	9,15	42,8	83500	Si	877	250 °C x 2 h	1239	1136	0,91	-	Reborde agrietado
33	C-12	20,0	970	540	744	12,10	63,4	1114	Ferrita +perlitita	238	45,4	9,15	42,8	92.300	Si	906	250 °C x 2 h	1245	1138	0,91	-	Reborde agrietado
34	C-13	20,0	970	540	765	12,10	63,4	1125	Ferrita +perlitita	236	44,4	9,15	42,8	81400	Si	915	250 °C x 2 h	1254	1145	0,91	-	Reborde agrietado
35	C-14	28,0	970	540	740	12,10	63,4	1109	Ferrita +perlitita	232	47,6	9,15	42,8	83300	Si	898	250 °C x 2 h	1239	1124	0,91	-	Reborde agrietado
36	C-15	20,0	970	540	751	12,10	63,4	1116	Ferrita +perlitita	228	48,2	9,15	42,8	82800	Si	910	250 °C x 2 h	1251	1134	0,91	-	Reborde agrietado
37	C-16	20,0	970	540	755	12,10	63,4	1132	Ferrita +perlitita	231	52,7	9,15	42,8	78900	Si	914	250 °C x 2 h	1255	1141	0,91	-	Reborde agrietado
38	C-17	20,0	970	540	767	12,10	63,4	1135	Ferrita +perlitita	230	53,4	9,15	42,8	80600	Si	909	250 °C x 2 h	1270	1156	0,91	-	Reborde agrietado
39	C-18	20,0	970	540	765	12,10	63,4	1133	Ferrita +perlitita	232	51,3	9,15	42,8	81000	Si	907	250 °C x 2 h	1248	1185	0,95	-	Reborde agrietado

Los experimentos n.ºs 1, 4, 5, 9, 11 y 14 a 20 son ejemplos en cada uno de los cuales los componentes químicos de un acero satisfacen el requisito de la presente invención y además un alambre de acero para pernos y un procedimiento de fabricación de pernos cumplieron los requisitos de la invención, y cada uno fue excelente en cuanto a la capacidad de fraguado en frío cuando se fabricaron los pernos, y además excelente en resistencia a la fractura retardada, mientras que estos ejemplos de experimentos tuvieron una resistencia a la tracción superior a 1100 MPa, que generalmente se dice que muestra una notable fragilidad por hidrógeno. Además, cada uno de los pernos de la invención resultó en la satisfacción de las propiedades mecánicas suficientes para los pernos de alta resistencia, es decir, cumplió los requisitos de que la resistencia a la tracción es de 1200 MPa o más, el límite elástico del 0,2 % es de 1080 MPa o más, y la relación del límite elástico (límite elástico/resistencia a la tracción del 0,2 %) es de 0,90 o más. Las propiedades mecánicas satisfacen una sección de resistencia de clase 12,9, que se clasifica en la sección de mayor resistencia de acuerdo con JIS B1051.

Por el contrario, los Experimentos n.ºs 2, 3, 6 a 8, 10, 12 y 13 son ejemplos en cada uno de los cuales los componentes químicos de un acero satisfacen los requisitos de la invención, pero o bien el alambre de acero para pernos o el procedimiento de fabricación de pernos no cumplieron los requisitos de la invención.

En los Experimentos n.ºs 2 y 3, la resistencia de los pernos resultantes fue baja, ya que los respectivos procedimientos de fabricación de los pernos no satisfacían la relación según la desigualdad (1).

En el experimento n.º 6, la resistencia del perno era baja, ya que la tasa de reducción del área total en el trefilado de alambre (la tasa de reducción del área del valor A) era pequeña y además el procedimiento de fabricación de los pernos no satisfacía la relación según la desigualdad (1).

En el experimento n.º 7, la temperatura del tratamiento de transformación isotérmica fue alta, por lo que la separación laminar de perlita fue grande y se redujo la relación de límite elástico de los pernos. Dado que la relación de límite elástico era baja, la deformación plástica avanzó en la prueba de fractura retardada, de modo que las muestras se hicieron más bajas en esfuerzo de carga sustancial que las otras muestras, de modo que fueran buenas en la resistencia a la fractura retardada.

En el experimento n.º 8, la temperatura del tratamiento de transformación isotérmica era baja, por lo que se produjo bainita. Por lo tanto, la relación de límite elástico de los pernos era pequeña.

En el Experimento n.º 10, no se realizó ninguna cocción después de la formación en la forma del perno, las muestras eran pequeñas en cuanto al límite elástico y a la relación de límite elástico. En el Experimento n.º 12, la temperatura de cocción era alta después de la formación en forma de perno; por lo tanto, la resistencia se redujo.

En el experimento n.º 13, la temperatura de calentamiento después de la laminación en caliente era alta, por lo que la separación laminar de perlita era grande. Por lo tanto, la resistencia del perno se redujo.

Los experimentos n.ºs 21 a 39 son ejemplos en cada uno de los cuales los componentes químicos de un acero no satisfacían el requisito de la invención.

Los experimentos n.ºs 21 y 22 son ejemplos en cada uno de los cuales la proporción de C era pequeña. En el experimento n.º 21, la resistencia del perno se redujo, mientras que en el experimento n.º 22, la tasa de reducción del área total en el trefilado del alambre (la tasa de reducción del área del valor A) fue superior al 80 %, de modo que se redujo la capacidad de fraguado en frío.

En el experimento n.º 23, Ti, Nb y V no se agregaron en absoluto, y no satisfacían la desigualdad (1). Por lo tanto, la resistencia del perno se redujo.

En el experimento n.º 24, la proporción de C y la proporción de Si eran grandes y la proporción de Mn era pequeña. Por lo tanto, el acero estaba hecho de solo una fase de perlita para reducir su capacidad de fraguado en frío. En el Experimento n.º 25, la proporción de C era grande, por lo que la proporción de perlita era grande. Por lo tanto, la capacidad de fraguado en frío del acero se redujo.

En el experimento n.º 26, la proporción de Si era grande, de modo que el acero era grande en la separación laminar de perlita de las láminas para disminuir su capacidad de fraguado en frío.

El experimento n.º 27 fue un ejemplo en el que la proporción de Mn era pequeña, de modo que la separación laminar de perlita del alambre de acero para pernos era grande, y además la relación según la desigualdad (1) no se cumplió en la fabricación de los pernos de manera que la resistencia del perno se redujo. En el Experimento n.º 28, la proporción de Mn era grande, por lo que capacidad de fraguado en frío del acero se redujo.

En el experimento n.º 29, las proporciones de Cu y Ni eran grandes, por lo que capacidad de fraguado en frío del acero se redujo.

En el experimento n.º 30, la proporción de Cr era pequeña, de modo que la separación laminar de perlita del alambre de acero para pernos era grande para disminuir la resistencia del perno. En el Experimento n.º 31, la proporción de Cr era grande, por lo que la capacidad de fraguado en frío del acero se redujo.

5 En el experimento n.º 32, no se añadió B, de modo que el efecto de disminución del envejecimiento dinámico por deformación basado en el soluto N fue insuficiente y, además, no se produjo el efecto de mejora de la capacidad de enfriamiento basado en el soluto B. Por lo tanto, la separación laminar de perlita del alambre de acero para pernos era grande para reducir su capacidad de fraguado en frío. Como el soluto N era alto, se promovió el endurecimiento por envejecimiento en el trefilado de alambre o la forja en frío, de modo que la resistencia era alta.

10 El experimento n.º 33 es un ejemplo en el que B se añadió excesivamente. B se adhiere a N para dispersarse y precipitarse normalmente en forma de BN en el acero. Los átomos de B que no están unidos a N se disuelven parcialmente en forma de solución sólida en el acero. Sin embargo, los átomos de B que corresponden a una cantidad por encima del límite de la solución sólida se unen a Fe para ser segregados en forma de Fe₂B en los límites de grano. Por esta razón, la excesiva adición de B hace que la resistencia del borde sea más baja para aumentar la generación de grietas en la forja en frío. En la presente evaluación, el resto en donde la cantidad de deformación por trabajo fue mayor (el reborde de los pernos) se agrietó.

20 Los experimentos n.ºs 34 a 36 son ejemplos en cada uno de los cuales se añadió excesivamente Ti, V o Nb. Estos elementos son elementos útiles para disminuir la solución sólida disuelta en forma de C o N, lo que causa un envejecimiento dinámico por deformación; sin embargo, cuando cada uno de los elementos se agrega en una gran proporción, se producen carbonitruro de Ti grueso, carbonitruro de V y carbonitruro de Nb, respectivamente. Sin embargo, estos funcionan como fuentes de concentración de tensión en la forja en frío. Por lo tanto, particularmente, el reborde de los pernos, en el cual la cantidad de deformación de trabajo era grande, se agrietó.

25 En el Experimento n.º 37, la proporción de Al era pequeña, por lo que la solución sólida disuelta en forma de N permaneció en el acero. Por lo tanto, el límite de iniciación de grietas se redujo mediante el envejecimiento dinámico por deformación después del calor generado mediante el trabajo de forja en frío. Por lo tanto, el reborde de los pernos se agrietó.

30 El experimento n.º 38 es un ejemplo en el que se añadió excesivamente Al. El Al se une a la solución sólida en forma de N disuelto que se precipitará en forma de AlN, por lo que el Al tiene el efecto de restringir el efecto negativo de envejecimiento dinámico por deformación en la forja en frío. Sin embargo, en el caso de la adición excesiva, el Al unido al oxígeno en el acero se dispersa en forma de Al₂O₃ duro para funcionar como fuentes de concentración de tensión en la forja en frío, y el Al adicionalmente se disuelve en la solución sólida en el acero provocando el endurecimiento de la fase de ferrita, con el fin de disminuir también la deformabilidad del acero. Por lo tanto, el límite de iniciación de grietas se reduce. En la presente evaluación, por lo tanto, el reborde de los pernos se agrietó.

40 El experimento n.º 39 es un ejemplo en el que la proporción de N era grande. De la misma manera que en el caso en el que el Al era demasiado pequeño en cantidad, el envejecimiento dinámico por deformación basado en una solución sólida disuelta en N se hizo notable para reducir el límite de iniciación de grietas en la forja en frío. También en la presente evaluación, el reborde de los pernos, en los que la cantidad de deformación por trabajo era la más grande, se agrietó.

45

REIVINDICACIONES

1. Alambre de acero para pernos, que consiste, por porcentaje en masa para las composiciones químicas, en
- 5 C: 0,30 a 0,50%
 Si: 0,02 a 0,1%;
 Mn: 1,0 a 2,0%;
 P: 0,002 a 0,025%;
 S: 0,002 a 0,025%;
 Cr: 0,05 a 1,0%;
- 10 Al: 0,01 a 0,1%;
 N: 0,01% o menos, y excluyendo 0%;
 B: 0,0005 a 0,005%; y
 al menos uno seleccionado del grupo que consiste en Ti: 0,005 a 0,07 %, V: 0,05 a 0,4 % y Nb: 0,05 a 0,1 %, y
 opcionalmente Cu: 0,20 % o menos, y excluyendo 0 %, y/o Ni: 0,20 % o menos, y excluyendo 0 %, con el resto
 15 consistente en hierro e impurezas inevitables,

donde el carbono equivalente $C_{eq} = [C] + [Si]/7 + [Mn]/5 + [Cu]/7 + [Cr]/9 + [Ni]/20$ es de 0,6 a 0,8, donde el símbolo "[cualquiera de estos elementos]" significa el contenido por porcentaje en masa del elemento,
 donde el alambre de acero tiene una microestructura en la que la tasa de área total de ferrita y perlita es 98 % o
 20 más, la separación laminar de perlita es de 250 nm o menos, y una tasa de área de la perlita superior a 40 % y 80 %
 o menos; y
 donde el alambre de acero tiene una resistencia a la tracción de 1000 MPa o más y 1300 MPa o menos.

2. Procedimiento de fabricación de un alambre de acero para pernos de acuerdo con la reivindicación 1, que
 25 comprende:

laminar en caliente un acero que tiene la composición química mencionada en la reivindicación 1;
 calentar el acero a una temperatura desde un punto Ac_3 hasta 1100 °C para que sea austenitizado
 30 enfriar el acero a una temperatura de 450 a 600 °C a una velocidad de 45 a 450 °C/segundo;
 mantener el acero a una temperatura de 450 a 600 °C durante 8 a 11 segundos por milímetro de un diámetro del
 acero laminado en caliente mediante la inmersión del acero laminado en caliente en un baño de plomo, un baño
 de sal o una fase líquida, lo que provoca que el acero sufra transformación isotérmica;
 enfriar el acero a una temperatura de 300 a 420 °C a una velocidad de 0,4 a 4,0 °C/segundos; y
 35 posteriormente, someter el acero al trefilado de alambre en frío en una tasa de reducción del área total de 50 a
 80 %,

donde el punto Ac_3 es una temperatura calculada de acuerdo con la siguiente ecuación: $Ac_3 (°C) = 908 - 224 [C] + 4385 [P] + 30,5 [Si] - 34,4 [Mn] - 23 [Ni]$ donde el símbolo "[cualquiera de estos elementos]" significa el contenido en
 40 porcentaje en masa del elemento.

3. Procedimiento de fabricación de pernos mediante el uso de una combinación de conformado del vástago,
 conformado de la cabeza y corte de tornillo para formar un alambre de acero en el perno,
 donde el alambre de acero para pernos obtenido por el procedimiento de fabricación de acuerdo con la
 reivindicación 2 se somete a una reducción de diámetro en una condición que satisface la siguiente desigualdad (1)
 45 como conformación del vástago, seguido de conformación adicional de la cabeza y corte de tornillo para realizar un
 objeto en forma de perno; y posterior cocción a una temperatura de 200 a 400 °C,

$$1020 \geq 5,4 \times (\text{la tasa de reducción de área de valor A}) + 3,15 \times (\text{la tasa de reducción de área de valor B}) + 652 \times C_{eq} \geq 880 \quad (1)$$

- 50 Tasa de reducción del área del valor A: la tasa de reducción del área total del acero en el momento del trefilado
 en frío, y
 Tasa de reducción del área del valor B: una tasa de reducción del área total del acero en el momento de la
 reducción del diámetro, donde la tasa de reducción del área del valor B es de 35 a 50,

55
$$C_{eq} = [C] + [Si]/7 + [Mn]/5 + [Cu]/7 + [Cr]/9 + [Ni]/20,$$

que es de 0,6 a 0,8, donde el símbolo "[cualquiera de estos elementos]" significa el contenido en porcentaje en masa
 del elemento.

- 60 4. Perno obtenido por el procedimiento de fabricación de acuerdo con la reivindicación 3, donde el perno tiene una
 resistencia a la tracción de 1200 MPa o más y de 1400 MPa o menos, un límite elástico del 0,2 % de 1080 MPa o
 más y 1300 MPa o menos, y una relación de límite elástico de 0,90 o más y 0,95 o menos.