

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 731 643**

51 Int. Cl.:

C22C 38/00	(2006.01)
C21D 1/06	(2006.01)
C21D 6/00	(2006.01)
C21D 9/32	(2006.01)
C21D 9/40	(2006.01)
C22C 38/06	(2006.01)
C22C 38/60	(2006.01)
C23C 8/32	(2006.01)
C23C 8/50	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **15.01.2010 PCT/JP2010/050742**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **22.07.2010 WO10082685**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.01.2010 E 10731349 (6)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.04.2019 EP 2388351**

54 Título: **Acero para endurecimiento de superficies para uso estructural en máquinas y componente para uso estructural en máquinas**

30 Prioridad:

16.01.2009 JP 2009007756

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
18.11.2019

73 Titular/es:

**NIPPON STEEL CORPORATION (100.0%)
6-1, Marunouchi 2-chome, Chiyoda-ku
Tokyo, JP**

72 Inventor/es:

**MIZUNO, ATSUSHI;
HASHIMURA, MASAYUKI;
MIYANISHI, KEI y
KOZAWA, SHUJI**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 731 643 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Acero para endurecimiento de superficies para uso estructural en máquinas y componente para uso estructural en máquinas

Campo técnico

- 5 La presente invención se refiere a una pieza de acero para uso estructural en máquinas. Más particularmente, se refiere a piezas que tienen una elevada resistencia a la fatiga superficial que se usan para automóviles y otras piezas de transmisión de energía, en particular, engranajes, transmisiones variables continuas, cojinetes, juntas de velocidad constante, bujes y otras piezas para uso estructural en máquinas.

Técnica anterior

- 10 Es necesario que las piezas para uso estructural en máquinas, por ejemplo, engranajes de transmisiones automáticas y poleas de transmisiones variables, cojinetes, juntas de velocidad constante, bujes y otras piezas de transmisión de energía, tengan una elevada resistencia a la fatiga superficial. En el pasado, para las piezas anteriores, generalmente se han usado JIS SCr420, SCM420 y otros aceros endurecidos de revestimiento con un contenido de C de aproximadamente un 0,2 %, mientras que se ha formado una capa endurecida de una estructura de martensita con un contenido de C de aproximadamente un 0,8 % sobre la superficie de la pieza por medio de templado carburizado para elevar la resistencia la fatiga superficial durante el uso.

- 15 No obstante, el templado carburizado es un tratamiento que dura de 5 a 10 horas, en algunos casos más de 10 horas, junto con la transformación de austenita a temperatura elevada de aproximadamente 950 °C, de manera que la deformación por tratamiento térmico (deformación por templado) debido al engrosamiento del grano del cristal se hace inevitablemente mayor. Por este motivo, las piezas para las cuales se demanda una elevada precisión dimensional deben someterse a trituración, perfeccionamiento y otro tipo de acabado tras el templado carburizado.

- 20 En los últimos años, se ha producido una demanda creciente en favor de la reducción de ruido en los motores de automóvil etc., de forma que el endurecimiento de superficies con menos deformación térmica en comparación con el templado carburizado, tal como endurecimiento por inducción y el tratamiento con nitruro suave, han acaparado el centro de atención.

El endurecimiento por inducción calienta el material de acero en un corto período de tiempo. Debido a que únicamente la parte necesaria de la capa superficial se transforma para austenita y se endurece, existe una escasa deformación por endurecimiento y es posible obtener una pieza endurecida en superficie con elevada precisión dimensional.

- 25 No obstante, para obtener el equivalente de dureza al de un material templado carburizado únicamente por medio de endurecimiento por inducción, es necesario añadir un 0,8 % o más de C al material de acero. La dureza del interior del material, que no tiene relación alguna con la mejora de la resistencia a la fatiga superficial, también aumenta y tiene lugar un deterioro apreciable de la maquinabilidad. Por tanto, no es posible aumentar la cantidad de C en el material de acero sin la consideración apropiada, ya que existe un límite para mejorar la resistencia a la fatiga superficial justo mediante endurecimiento por inducción.

- 30 El tratamiento con nitruro suave es un método de endurecimiento superficial que provoca la difusión y permeación principalmente de nitrógeno y carbono de forma simultánea en la superficie del material de acero en la región de temperatura por debajo del punto de transformación de aproximadamente 500 a 600 °C, de manera que tiene lugar la formación de una capa endurecida y se mejora la resistencia al desgaste, resistencia al agarrotamiento, resistencia la fatiga, etc.

- 35 En la superficie del material de acero, el nitrógeno difundido forma nitruros en el acero, forma una capa compuesta formada principalmente por Fe₃N, Fe₄N y otros nitruros de Fe en la capa más superficial de un material de acero general, y forma una capa de nitruro en la que N difunde al interior desde la capa más superficial del material de acero.

- 40 El tratamiento con nitruro suave se puede llevar a cabo a baja temperatura. En comparación con el caso del templado carburizado, un tiempo de tratamiento corto de aproximadamente 2 a 4 horas resulta suficiente, de manera que con frecuencia esto se aplica a piezas de acero donde se requiere baja deformación.

45 No obstante, con dicho tratamiento con nitruro suave, la profundidad de la capa endurecida es pequeña, de manera que la aplicación a un engranaje etc. de una transmisión en la cual se aplica elevada presión superficial resulta complicada.

- 50 Recientemente, como método para compensar los defectos del endurecimiento por inducción y el tratamiento con nitruro suave y obtener mejores propiedades mecánicas, en particular la mejora de la resistencia a la fatiga superficial, se está experimentando con la realización del tratamiento con nitruro suave y el posterior endurecimiento por inducción.

PTL1 propone un método de producción que combina el tratamiento con nitruro suave con gas y un endurecimiento por inducción para compensar los defectos individuales y mejorar la resistencia al reblandecimiento y obtener

propiedades mecánicas superiores, en particular elevada resistencia a la fatiga superficial.

5 El método de producción de PTL 1 trata un material de acero por medio de tratamiento con nitruro suave con gas con el fin de formar una capa compuesta, posteriormente trata el mismo por medio de endurecimiento por inducción hasta la ruptura y difusión en el interior del acero de los compuestos de nitrógeno de la capa compuesta que se forma por medio del tratamiento con nitruro suave con gas, para formar una capa endurecida sometida a tratamiento con nitruro.

10 Nótese que, en la siguiente explicación, la capa que está formada por Fe_3N , Fe_4N y otros nitruros de Fe que se forman en la capa más superficial del material de acero por medio de tratamiento con nitruro suave se denomina "capa compuesta", mientras que la capa sometida a tratamiento con nitruro que se forma por medio de difusión de N al interior del material de acero procedente de la capa más superficial, cuando se forma sin endurecimiento por inducción, se denomina "capa sometida a tratamiento con nitruro" y, cuando se forma con endurecimiento por inducción, se denomina "capa endurecida sometida a tratamiento con nitruro" para diferenciarlas.

15 El material de acero que se produce por medio del método de producción del documento PLT 1 tiene una dureza superficial elevada, pero baja concentración de N en la capa endurecida sometida a tratamiento de nitruro, de manera que la dureza del material de acero en el momento de temperatura elevada es baja y no es posible obtener una resistencia al reblandecimiento suficiente en la superficie de los engranajes etc., que se convierta en elevada temperatura durante la operación. Como resultado de ello, no es posible obtener una elevada resistencia a la fatiga superficial.

20 El documento PLT 2 propone un método de producción que combina el tratamiento con nitruro suave y el endurecimiento por inducción para obtener una pieza para uso estructural en máquinas que presenta propiedades mecánicas superiores. En el método de producción del documento PLT 2, se añaden elementos con elevada afinidad por N al material de acero, para provocar que los nitruros del material de acero se rompan y se difundan.

25 No obstante, con el método de producción del documento PLT 2, las cantidades de adición de los elementos para la ruptura y difusión de los nitruros en el material de acero no resultan suficientes, de manera que es necesario calentar el material de acero a $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$, una temperatura extremadamente elevada, por medio de calentamiento por inducción y preparar la forma de N como disolución de sólidos en el acero. Por este motivo, se forma una capa gruesa de óxido en la superficie del material de acero. Debido a esa capa de óxido, inevitablemente las propiedades mecánicas del material de acero se degradan de forma notable.

30 Además, cuando se convierte la capa compuesta que se obtiene por medio de tratamiento con nitruro suave en una capa endurecida sometida a tratamiento con nitruro por medio de endurecimiento por inducción, en el método de producción del documento PLT 2, no tiene cabida un método de aumento del espesor de la capa endurecida sometida a tratada con nitruro.

Por tanto, la pieza para uso estructural en máquinas que se obtiene por medio del método de producción del documento PLT 2 no tiene el espesor suficiente de la capa endurecida sometida a tratamiento con nitruro, de forma que no tiene una resistencia a la fatiga superficial suficientemente buena para su uso a presión superficial elevada.

35 El documento PLT 3 propone la técnica de combinar el tratamiento con nitruro y el endurecimiento por inducción para obtener una pieza para uso estructural en máquinas que tenga propiedades mecánicas superiores. La pieza para uso estructural en máquinas del documento PLT 3 se obtiene por medio de tratamiento con nitruro de un material de acero a $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ o una temperatura más elevada para formar una capa compuesta y posterior endurecimiento por inducción para formar una capa endurecida sometida a tratamiento con nitruro.

40 No obstante, el tratamiento con nitruro en el documento PLT 3 se lleva a cabo a $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ o una temperatura más elevada, de forma que la capa compuesta que se forma es fina y la concentración de N en la capa compuesta también es baja. Por tanto, incluso si tiene lugar el tratamiento con nitruro, posteriormente el endurecimiento por inducción, los compuestos de nitrógeno de la capa compuesta que se forma por medio de tratamiento con nitruro se descomponen y la cantidad de N que difunde al interior del material de acero es pequeña.

45 Es decir, con el tratamiento de nitruro llevado a cabo a $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ o una temperatura más elevada, incluso si es posible formar una capa compuesta, después realizar el endurecimiento por inducción para formar una capa endurecida sometida a tratamiento con nitruro, el espesor de la capa endurecida sometida a tratamiento con nitruro resulta insuficiente, no se puede obtener una resistencia al reblandecimiento suficiente, y como resultado de ello no es posible obtener una pieza para uso estructural en máquinas que tenga buena resistencia a la fatiga superficial.

50 El documento PLT 4 propone un método de producción de una pieza estructural para máquinas que comprende llevar a cabo un tratamiento con nitruro suave en condiciones que proporcionen una profundidad de capa sometida a tratamiento con nitruro de $150\text{ }\mu\text{m}$ o más, posteriormente llevar a cabo el endurecimiento por inducción en condiciones en las que la capa sometida a tratamiento con nitruro se transforme en austenita, para formar de este modo una capa endurecida sometida a tratamiento con nitruro.

55 No obstante, la pieza para uso estructural en máquinas que se produce por medio del método de producción que se propone en el documento PLT 4 tiene un espesor de capa endurecida sometida a tratamiento con nitruro de $0,3\text{ mm}$

incluso en el máximo. La resistencia a la fatiga superficial no resulta suficiente.

El documento PLT 5 propone una pieza para uso estructural en máquinas que se obtiene por medio de tratamiento térmico de un material de acero procesado para precipitación de grafito, posterior procesado por enfriamiento del mismo y finalmente tratamiento con nitruro del mismo.

- 5 No obstante, la pieza para uso estructural en máquinas del documento PLT 5 usa grafito precipitado para mejorar la maquinabilidad. El grafito precipitado en la superficie del material de acero provoca la disminución de la resistencia a la fatiga superficial.

10 Por tanto, incluso si se trata la pieza para uso estructural en máquinas del documento PLT 5 por medio de endurecimiento por inducción para formar una capa endurecida sometida a tratamiento con nitruro, resulta difícil usar la pieza para uso estructural en máquinas del documento PLT 5 como engranaje u otra pieza de transmisión de energía donde se aplica elevada presión superficial a la superficie de la pieza para uso estructural en máquinas.

15 Además, en general, los engranajes y otras piezas de transmisión de energía se obtienen por medio de forja, posterior maquinizado de los materiales para el acabado de los mismos con la forma de las piezas, y posterior endurecimiento de los mismos para obtener las piezas terminadas. La finalidad de los documentos anteriores PLT 1 a 5 son técnicas destinadas a elevar la resistencia de las superficies de operación por medio de tratamiento del acero con contenido medio de carbono que contiene elementos de aleación para el endurecimiento superficial.

Por tanto, debido a que no se considera la maquinabilidad, el aumento innecesario de la dureza en el interior del material de acero provoca una disminución de la productividad en el momento del maquinizado y, por tanto, los costes de fabricación aumentan de manera inevitable.

- 20 Por consiguiente, resulta deseable mejorar la resistencia a la fatiga superficial de un material de acero, al tiempo que se reduce el aumento de dureza del interior del material de acero y se evita una disminución de la maquinabilidad.

Listado de citas

Bibliografía de patentes

- PLT 1: Publicación de Patente Japonesa A) No. 6-172961
- 25 PLT 2: Publicación de Patente Japonesa A) No. 7-90363
- PLT 3: Publicación de Patente Japonesa A) No. 2007-77411
- PLT 4: Publicación de Patente Japonesa A) No. 7-90364
- PLT 5: Publicación de Patente Japonesa A) No. 2008-169485

Sumario de la invención

30 Problemas técnicos

La presente invención, a la vista de la situación anterior, tiene como objeto el suministro de una pieza de acero para uso estructural en máquinas que tenga buena precisión dimensional, que no se puede obtener por medio de templado carburizado, que presente una dureza superficial, dureza interior, y resistencia al reblandecimiento mejoradas, que son insuficientes con el tratamiento individual de nitruro suave o endurecimiento por inducción, que tenga una elevada resistencia a la fatiga superficial, y que se someta a elevada presión superficial no solo a la temperatura ordinaria de curso, sino también a 300 °C o una temperatura elevada.

35

Solución al problema

Para mejorar la resistencia a la fatiga superficial de la pieza de acero, es necesario mejorar la dureza superficial, aumentar la profundidad de la capa endurecida superficial, y mejorar la resistencia al reblandecimiento para mantener una elevada resistencia a la temperatura y superficie de operación que se vean favorecidas a temperatura elevada (aproximadamente 300 °C).

40

Además, con el fin de evitar la disminución de la productividad, también resulta deseable evitar la disminución de la maquinabilidad de un material junto con la mejora de la resistencia a la fatiga superficial y la formación de una película lubricante en la superficie del material de acero con el fin de evitar el agarrotamiento o la adherencia de las superficies de operación unas con otras.

45

Para tratar estos problemas, los inventores prevén en varios estudios sobre la aptitud de dureza superficial de los materiales de acero combinar el tratamiento con nitruro suave y el endurecimiento por inducción, con el fin de mejorar la resistencia a la fatiga superficial de los materiales de acero, al tiempo que también han estudiado la maquinabilidad y las películas lubricantes. Como resultado de ello, obtuvieron los siguientes hallazgos:

a) Para aumentar la resistencia al reblandecimiento, resulta efectivo aumentar el grosor de la capa endurecida sometida a tratamiento con nitruro que se forma sobre la superficie del material de acero y aumentar la concentración de N en la capa endurecida sometida a tratamiento con nitruro.

5 El tratamiento con nitruro suave forma una capa compuesta sobre la capa más superficial del material de acero y forma una capa sometida a tratamiento con nitruro en el interior, a partir de la capa más superficial. No obstante, la capa compuesta que se forma por medio de tratamiento con nitruro suave es muy fina. La capa sometida a tratamiento con nitruro que se forma en el interior, a partir de la capa compuesta, tampoco tiene un espesor que sea suficiente para aumentar la resistencia al reblandecimiento. La concentración de N en el interior de la capa sometida a tratamiento con nitruro tampoco es suficiente.

10 Por tanto, la invención lleva a cabo el tratamiento con nitruro suave, posterior endurecimiento por inducción para romper la capa compuesta que se forma por medio de tratamiento con nitruro suave (capa principalmente formada por Fe_3N , Fe_4N y otros nitruros de Fe) mediante calentamiento por inducción, lo que provoca que una cantidad suficiente de N difunda al interior del acero y se forme una capa endurecida sometida a tratamiento con nitruro.

15 La capa endurecida sometida a tratamiento con nitruro obtenida de este modo proporciona al material de acero una resistencia al reblandecimiento suficiente y tiene como resultado una dureza de Vicker de 650 o más cuando se atempera a 300 °C. Además, el material de acero que tiene dicha capa endurecida sometida a tratamiento con nitruro tiene buena resistencia a la fatiga superficial y se puede usar no solo a la temperatura ordinaria de curso, sino también a 300 °C o una temperatura elevada.

20 La Fig. 1 es una vista que muestra un ejemplo de comparación de distribuciones de dureza en corte transversal de materiales de acero desde la superficie hasta la dirección del núcleo tanto para un material de acero sometido a tratamiento con nitruro suave como para un material de acero que no está sometido a tratamiento con nitruro suave, y posterior endurecimiento por inducción. En la Fig. 1, el número de referencia 1 muestra una distribución de dureza de corte transversal de un material de acero sometido a tratamiento con nitruro suave, mientras que el número de referencia 2 muestra la distribución de dureza del material de acero que está sometido a tratamiento con nitruro suave, y posterior endurecimiento por inducción.

25 Como se muestra en la Fig. 1, el material de acero 1 sometido a tratamiento con nitruro suave se forma con una capa compuesta en su superficie más externa. Este exhibe una dureza extremadamente elevada, pero el espesor de la capa compuesta es pequeño. Por otra parte, el material de acero 2 que está sometido a tratamiento con nitruro suave, posterior endurecimiento por inducción tiene nitruros de Fe que están presentes en la capa compuesta de la capa más superficial descompuesta por medio de calentamiento por inducción y tiene N procedente de los nitruros de Fe descompuestos difundidos en el interior del material de acero. Como resultado de ello, aunque la dureza de la capa más superficial del material de acero 2 disminuya bastante, se forma una capa endurecida sometida a tratamiento con nitruro que tiene dureza suficiente, de forma gruesa en el interior, a partir de la capa más superficial. Es decir, la capa compuesta de la capa más superficial que se forma por medio de tratamiento con nitruro suave funciona como fuente de N para la formación de la capa endurecida sometida a tratamiento con nitruro.

Nótese que, la capa superficial del material de acero 2 tras el endurecimiento por inducción es una estructura de martensita, mientras que la parte del núcleo es una estructura de ferrita-perlita.

40 Mediante la realización del espesor de la capa compuesta que se descompone por medio de calentamiento por inducción de 10 μm o más, se obtiene profundamente una capa endurecida sometida a tratamiento con nitruro de elevada concentración de N. La capa compuesta que se forma por medio de tratamiento con nitruro suave se vuelve frágil dependiendo de las condiciones de tratamiento con nitruro suave y, en ocasiones, degrada las propiedades mecánicas, de manera que la capa compuesta generalmente se vuelve fina.

45 En la presente invención, la capa compuesta se hace deliberadamente más gruesa. Es decir, preparando la capa compuesta de 10 μm o más, es posible convertir la capa sometida a tratamiento con nitruro endurecida que se forma por medio de endurecimiento por inducción en una estructura de martensita de elevada concentración de N. El material de acero aumenta notablemente en cuanto a resistencia al reblandecimiento.

50 b) Para formar una capa compuesta gruesa por medio de tratamiento con nitruro suave, resulta efectivo reducir la interferencia de S con el enlace de N con el acero. Si el S del material de acero forma una disolución de sólidos solo, el S se concentra fácilmente en la superficie del material de acero y obstruye la entrada de N en el interior de la superficie del material de acero. Para evitar esto, se añade una determinada cantidad o más de Mn y se inmoviliza el S en el acero en estado de MnS y, de este modo, se convierte en inofensivo. El efecto de dicha conversión aparece notablemente haciendo que $\text{Mn/S} \geq 70$. Como resultado de ello, es posible formar una capa compuesta de un espesor de 10 μm o más.

55 c) Para evitar la degradación de la maquinabilidad incluso si aumenta la resistencia a la fatiga superficial, es preferible no aumentar la dureza del interior del material de acero más de lo necesario. Además, es preferible añadir elementos que eleven la resistencia a la fatiga superficial al tiempo que mejoran la maquinabilidad.

Para evitar el aumento de dureza del interior del material de acero más de lo necesario, es efectivo no añadir

excesivamente Mn, N y otros elementos de aleación.

Además, también es posible añadir Al y B en forma de composite como elementos que mejoran la resistencia a la fatiga superficial al tiempo que mejoran la maquinabilidad. B se combina con N en el acero para permanecer en el acero como BN y, de este modo, se mejora la maquinabilidad.

- 5 B forma BN durante el enfriamiento en un proceso de forja. En el proceso de forja, la velocidad de enfriamiento del material de acero normalmente es baja, de forma que, si se forma BN, la dureza no aumenta y la maquinabilidad no se ve reducida.

10 El BN que se forma en el proceso de forja se descompone por medio de calentamiento por inducción en el momento del endurecimiento por inducción y se vuelve una disolución de sólidos. Por medio de enfriamiento rápido en el momento del endurecimiento, esto provoca el aumento de la dureza de la capa superficial del material de acero en gran medida y también contribuye a la mejora de la resistencia a la fatiga superficial.

15 Al es un elemento que permanece en el acero en estado de disolución de sólidos para mejorar notablemente de este modo la maquinabilidad. Al apenas tiene efecto en el aumento de la dureza del material de acero. Además, en el momento del tratamiento con nitruro suave, Al tiene el efecto de que forma un compuesto con N y aumenta la concentración de N cerca de la capa superficial. También es un elemento efectivo para mejorar la resistencia a la fatiga superficial.

20 Además, por medio de la adición de Al y B en forma de composite, el B forma BN que resulta efectivo para mejorar la maquinabilidad. Además, este BN se descompone por medio de endurecimiento por inducción en B y N. Por tanto, es posible obtener una capa endurecida sometida a tratamiento con nitruro con una elevada concentración de N. El B resultante mejora la templabilidad del material de acero, de forma que se puede obtener una elevada resistencia a la fatiga superficial.

Además, por medio de la formación de BN y con ello el consumo de N del material de acero, es posible evitar que Al forme un compuesto con N y obtener más Al en disolución de sólidos. La maquinabilidad también se ve mejorada.

25 d) Para evitar el agarrotamiento o adherencia de las superficies de operación, resulta efectivo proporcionar un depósito de aceite de manera que se forme un lubricante de modo continuo sobre la superficie de la pieza de acero. La pieza de acero de la presente invención tiene una capa endurecida sometida a tratamiento con nitruro que se obtiene por medio del uso de endurecimiento con nitruro suave para formar una capa compuesta, posterior ruptura de los nitruros de Fe de la capa compuesta por medio de calentamiento por inducción y transformación del material de acero en austenita para el endurecimiento.

30 La Figura 2 proporciona vistas que muestran las estructuras de una capa endurecida sometida a tratamiento con nitruro que se observa al microscopio óptico y microscopio electrónico de tipo barrido. La Figura 2A muestra la estructura que se aprecia al microscopio óptico, mientras que la Figura 2B muestra la estructura que se obtiene al microscopio electrónico de tipo barrido.

35 Como se muestra en las Figura 2, la capa 10 endurecida sometida a tratamiento con nitruro tiene un número grande de orificios 20 que se forman por medio de descomposición de los compuestos de nitrógeno en la capa compuesta y forma una capa 30 porosa dura. Esta capa 30 porosa dura funciona como depósito de aceite. Mejora el efecto de lubricación y mejora además la resistencia al desgaste y la durabilidad del material de acero.

40 Nótese que, por medio del control de las condiciones de tratamiento con nitruro suave y las condiciones de calentamiento por inducción, es posible hacer que el tamaño del orificio 20 sea de 0,1 a 1 μm en un diámetro de círculo equivalente, la densidad de la presencia de orificios 20 sea de 10.000 orificios/ mm^2 o más, y el intervalo de presencia de orificios 20 una profundidad de 5 μm o más desde la superficie de la pieza de acero. Estos funcionan de forma efectiva como depósito de aceite.

La presente invención se completó en base a los descubrimientos anteriores y es como se define en las reivindicaciones adjuntas.

45 **Efectos ventajosos de la invención**

La pieza de acero para uso estructural en máquinas de la presente invención, por medio de tratamiento con nitruro suave, posterior endurecimiento por inducción, aumenta notablemente en cuanto a dureza en la superficie del material de acero y aumenta en cuanto a resistencia al reblandecimiento para, de este modo, proporcionar una elevada resistencia a la fatiga superficial.

50 Las piezas para uso estructural en máquinas de la presente invención se pueden usar para piezas de transmisión de energía en automóviles etc., para las cuales se requiere una elevada resistencia a la fatiga superficial no solo a la temperatura ordinaria de curso, sino también en condiciones de uso que son el resultado de una temperatura elevada de aproximadamente 300 $^{\circ}\text{C}$, por ejemplo, engranajes, transmisiones variables continuas, cojinetes, juntas de velocidad constante, bujes, etc. Contribuyen en gran medida a un rendimiento mayor y menores costes del automóvil,

etc.

Breve descripción de los dibujos

5 La Fig. 1 es una vista que muestra un ejemplo de comparación de distribuciones de dureza en corte transversal de materiales de acero desde la superficie hasta la dirección del núcleo tanto para un material de acero sometido a tratamiento con nitruro suave como para un material de acero que no está sometido a tratamiento con nitruro suave, y posterior endurecimiento por inducción.

10 La Fig. 2 proporciona vistas que muestran la estructura de una capa endurecida sometida a tratamiento con nitruro que se observa al microscopio óptico y microscopio electrónico de tipo barrido. La Fig. 2A muestra la estructura que se observa al microscopio óptico, mientras que la Figura 2B muestra la estructura que se observa al microscopio electrónico de tipo barrido.

La Fig. 3 es una vista que muestra la relación entre Mn/S en el momento del tratamiento con nitruro suave y el espesor del compuesto.

15 La Fig. 4 es una vista que muestra la relación entre la concentración de N a una profundidad de 0,2 mm desde la superficie del acero tras el endurecimiento por inducción y la dureza de Vicker (Hv) en el momento del atemperado a 300 °C.

Descripción de las realizaciones

20 La presente invención hace referencia a un material de acero, al cual se han añadido cantidades apropiadas de Si, Mn y Al, por medio de tratamiento con nitruro suave, posterior endurecimiento por inducción para formar una capa profunda endurecida sometida a tratamiento con nitruro con una elevada concentración de N y mejorar la dureza superficial y la resistencia al reblandecimiento para, de este modo, obtener una elevada resistencia a la fatiga superficial no solo a la temperatura ordinaria de uso, sino también a 300 °C o temperatura elevada.

En primer lugar, se explican los motivos para la limitación de los elementos añadidos necesarios en la presente invención. Nótese que, el % de la composición química muestra el % en masa.

C: de un 0,3 a un 0,6 %

25 C es un elemento importante para obtener la resistencia del acero. En particular, es un elemento que es necesario para reducir la fracción de ferrita de la micro estructura antes del endurecimiento por inducción, mejorar la templabilidad en el momento del endurecimiento por inducción, y aumentar la profundidad de la capa endurecida. Si la cantidad de adición de C es menor de un 0,3 %, la fracción de ferrita es elevada y el endurecimiento en el momento del endurecimiento por inducción se hace insuficiente, de manera que el límite inferior de la cantidad de adición de C se hizo de un 0,3 %. Por otra parte, si la cantidad de adición de C es excesiva, la maquinabilidad y la aptitud de forja en el momento de fabricación de la pieza se ven notablemente impedidas y, además, aumenta mucho la posibilidad de fisuras que aparezcan en el momento del endurecimiento por inducción, de manera que el límite superior de la cantidad de adición de C se hizo de un 0,6 %.

Si: de un 0,02 a un 2,0 %

35 Si tiene el efecto de aumentar la resistencia al reblandecimiento de la capa endurecida para mejorar la resistencia a la fatiga superficial. Para obtener ese efecto, la cantidad de adición de Si tiene que ser de al menos un 0,02 %. Por otra parte, si la cantidad de adición de Si está por encima de un 2,0 %, la descarburización en el momento de la forja se vuelve notable, de manera que se hace que un 2,0 % sea el límite superior.

Mn: de un 0,35 a menos de un 1,5 %

40 Mn es un elemento efectivo para mejorar la templabilidad y aumentar la resistencia al reblandecimiento para mejorar la resistencia a la fatiga superficial. Además, tiene los efectos de inmovilizar el S en el acero en forma de MnS para evitar que el S se concentre en la superficie del material de acero y que N invada el acero y de favorecer la formación de una capa de compuesto grueso por medio de tratamiento con nitruro suave. Para inmovilizar el S en el acero en forma de MnS y convertirlo en inofensivo, es necesario hacer que $Mn/S \geq 70$. Además, rebaja la fracción de ferrita de la estructura antes del endurecimiento por inducción y mejora la templabilidad en el momento del endurecimiento por inducción. Para obtener ese efecto, se tiene que añadir Mn en un 0,35 % o más. Si se añade una cantidad apropiada de Mn, se mejora la templabilidad en el momento del endurecimiento por inducción, de manera que aumenta la dureza del material de acero y se mejora la resistencia a la fatiga superficial. No obstante, si se añade Mn en un 1,5 % o más, la dureza del material aumenta más de lo necesario, la maquinabilidad del material antes del tratamiento con nitruro suave se degrada notablemente y la productividad también se ve degradada. Por este motivo, la cantidad de adición de Mn se hace menor de un 1,5 %.

Mn/S: de 70 a 30000

Como se ha explicado anteriormente, para evitar la concentración de S en la superficie del material de acero, es

necesario añadir Mn al S en una determinada relación o más y hacer el S inofensivo por medio de la formación de MnS. Si la relación de Mn/S de las cantidades de adición de Mn y S es de 70 o más, se mejora notablemente el efecto de conversión del S en inofensivo. No obstante, si Mn/S es menor de 70, S se concentra en la superficie del material de acero y se inhibe la formación de una capa de compuesto en el momento del tratamiento con nitrado suave, de manera que la relación de Mn/S se hace 70 o más.

La Fig. 3 es una vista que muestra la relación entre Mn/S en el momento del tratamiento con nitrado suave en las condiciones explicadas a continuación y el espesor del compuesto. Como resulta evidente a partir de la Figura 3, haciendo que Mn/S sea de 70 o más, tras el tratamiento con nitrado suave, se obtiene una capa compuesta de espesor de 10 µm o más. Por otra parte, incluso sin Mn/S supera 30000, el efecto de conversión del S en inofensivo se satura, de forma que el límite superior de Mn/S se hace de 30000.

Al: de un 0,01 a un 0,5 %

Al es un elemento que precipita y difunde en el acero como nitruros de Al y actúa efectivamente de este modo para aumentar la finura de grano de la estructura de austenita en el momento del endurecimiento por inducción y, además, mejora la templabilidad y aumenta la profundidad de la capa endurecida. Además, es un elemento que es efectivo para mejorar la maquinabilidad. Por tanto, la cantidad de adición de Al tiene que ser de un 0,01 % o más. Además, es un elemento que tiene el efecto de unión con N en el momento del tratamiento con nitrado suave y aumento de la concentración de N cerca de la capa superficial del material de acero y también es efectivo para mejorar la resistencia a la fatiga superficial. Por tanto, la cantidad de adición de Al tiene que ser de un 0,01 % o más. Por otra parte, si la cantidad de adición de Al supera un 0,5 %, los precipitados (nitruros de Al) se vuelven más bastos y provocan que el acero se vuelva frágil, de forma que el límite superior se ajustó en un 0,5 %.

B: menos de un 0,0003 %

Inevitablemente, B se incluye en el acero. Incluso, restringiendo el contenido de B a menos de un 0,0003 %, no limita el efecto ventajoso de la presente invención.

B: de un 0,0003 a un 0,005 %

Si se añade B al acero, N y B del acero se unen para formar BN, pero en el momento del calentamiento por inducción, BN descompone y libera B. Esto mejora en gran medida la templabilidad y mejora la resistencia a la fatiga superficial. Para obtener el efecto, la cantidad de adición de B tiene que ser de un 0,0003 % o más. Por otra parte, incluso sin la cantidad de adición de B está por encima de un 0,005 %, el efecto se vuelve saturado. Además, es una causa de fisuración en el momento del laminado y la forja, de manera que se ajusta a un 0,005 % el límite superior. Nótese que, BN se forma durante el tratamiento térmico con una baja velocidad de enfriamiento y durante el enfriamiento en frío con una velocidad de enfriamiento normalmente baja. Por tanto, en el momento del maquinizado llevado a cabo tras el procesado en frío y antes del tratamiento con nitrado suave y el endurecimiento por inducción, BN mejora la maquinabilidad. Tras el maquinizado, el endurecimiento por inducción provoca la ruptura de BN dando como resultado una capa endurecida sometida a tratamiento con nitrado. Esa capa endurecida sometida a tratamiento con nitrado mejora la resistencia a la fatiga superficial. Por tanto, esto es perfecto para la producción de una parte para uso estructural en máquinas en las cuales se demanda elevada resistencia a la fatiga superficial.

S: de un 0,0001 a un 0,021 %

S tiene el efecto de mejorar la maquinabilidad. No obstante, S es un elemento inhibidor del tratamiento con nitrado suave que se concentra en la superficie del material de acero para, de este modo, obstruir la entrada de N al material de acero en el momento del tratamiento con nitrado suave. Si la cantidad de adición de S supera un 0,021 %, la entrada de N en el interior del material de acero queda inhibida de forma notable y, además, la aptitud de forja se ve notablemente degradada. Por tanto, para mejorar la maquinabilidad, cuando se incluye S, es necesario hacer que el contenido de S sea de un 0,021 % o menos. Por otra parte, el límite inferior industrial de la cantidad de adición de S se hizo de un 0,0001 %. Nótese que, como se ha explicado anteriormente, para inmovilizar el S en el acero como MnS y eliminar su efecto inhibidor sobre el tratamiento con nitrado suave, el límite inferior de Mn/S se ajusta en 70. Por otra parte, incluso si Mn/S supera 30.000, el efecto de eliminación del efecto inhibidor sobre el tratamiento con nitrado suave se vuelve saturado, de forma que el límite superior de Mn/S tiene que ser de 30.000.

N: de un 0,003 a un 0,0055 %

N forma diversos tipos de nitruros y es efectivo para aumentar la finura de grano de la estructura de austenita en el momento del endurecimiento por inducción. Para obtener ese efecto, es necesario hacer que la cantidad de adición de N sea de un 0,003 % o más. Por otra parte, si se añade excesivo N, la dureza aumenta. Además, N y Al se unen para formar AlN, de manera que la cantidad de Al en disolución de sólidos efectivo para mejorar la maquinabilidad se reduce, de modo que la maquinabilidad se ve degradada. Además, N añadido de forma excesiva provoca la disminución de la ductilidad en la región de alta temperatura. Además, se forma AlN basto o BN basto, lo que hace que el material se vuelva notablemente frágil dando como resultado fisuras en el momento del laminado y la forja. Por tanto, la cantidad de adición de N se tiene que limitar a un 0,0055 % o menos.

ES 2 731 643 T3

P: de un 0,0001 a un 0,03 %

P se segrega en las fronteras de grano y provoca que la tenacidad disminuya, de forma que preferentemente se reduce tanto como resulte posible. Tiene que limitarse a un 0,03 % o menos. Se hace que el límite inferior de la cantidad de adición de P sea el límite industrial de un 0,0001 %.

5 O: de un 0,0001 a un 0,0050 %

O está presente en el acero como Al_2O_3 , SiO_2 , y otras inclusiones basadas en óxido, pero si la cantidad de O es grande, dichos óxidos se vuelven de gran tamaño. Dichos óxidos alargados forman puntos de partida para la ruptura de las partes de transmisión de energía, de manera que el contenido de O se tiene que limitar a un 0,0050 % o menos. Cuanto menor sea el contenido de O, mejor, de manera que es más preferible un 0,0020 % o menos. En el caso de las piezas de transmisión de energía que persiguen un tiempo de vida de servicio prolongado, además es preferible un 0,0015 % o menos. Nótese que el límite inferior del contenido de O se ajusta al límite industrial de un 0,0001 %.

A continuación, se explican los motivos de la restricción de los elementos opcionalmente añadidos.

Elementos para el Fortalecimiento del Material de Acero

W: de un 0,0025 a un 0,5 %

15 W es un elemento que mejora la templabilidad y de este modo mejora la resistencia a la fatiga superficial. No obstante, debido a la adición de W, la dureza del material de acero aumenta y la maquinabilidad se ve deteriorada, de forma que existe un límite para la adición de W. Con el fin de mejorar la templabilidad, para lograr una gran mejora en la resistencia a la fatiga superficial, la cantidad de adición de W es preferentemente de un 0,0025 % o más. Más preferentemente, se hace de un 0,03 % o más. Por otra parte, si la cantidad de adición de W está por encima de un 20 0,5 %, el efecto se satura y la rentabilidad se ve impedida, de forma que se hace que el límite superior sea de un 0,5 %.

Cr: de un 0,2 a un 2,0 %

Cr tiene el efecto, mediante adición, de mejorar las características de tratamiento con nitruro y la resistencia al reblandecimiento de la capa endurecida y de mejorar la resistencia a la fatiga por presión superficial. Para obtener ese efecto, la cantidad de adición de Cr tiene que ser preferentemente de un 0,2 % o más. Por otra parte, si la cantidad de adición de Cr supera un 2,0 %, la maquinabilidad se ve deteriorada, de forma que el límite superior de la cantidad de adición de Cr es preferentemente de un 2,0 %.

Mo: de un 0,05 a un 1,0 %

Mo, mediante adición, tiene el efecto de mejorar la resistencia al reblandecimiento de la capa endurecida y mejorar la resistencia a la fatiga superficial más el efecto de fortalecimiento y endurecimiento de la capa endurecida para mejorar la resistencia a la fatiga por plegado. Para obtener esos efectos, la cantidad de adición de Mo tiene que ser preferentemente de un 0,05 % o más. Por otra parte, incluso si la cantidad de adición de Mo supera un 1,0 %, estos efectos se saturan y la rentabilidad se ve impedida, de manera que el límite superior de la cantidad de adición de Mo es preferentemente de un 1,0 %.

35 V: de un 0,05 a un 1,0 %

V, mediante adición, precipita y difunde en forma de nitruros en el acero y resulta efectivo para aumentar la finura de grano de la estructura de austenita en el momento del endurecimiento por inducción. Para obtener ese efecto, la cantidad de adición de V tiene que ser de un 0,05 % o más. Por otra parte, incluso si la cantidad de adición de V supera un 1,0 %, ese efecto se satura y la rentabilidad se ve impedida, de manera que el límite superior de la cantidad de adición de V es preferentemente de un 1,0 %.

Nb: de un 0,005 a un 0,3 %

Nb, mediante adición, precipita y difunde en forma de nitruros en el acero y resulta efectivo para aumentar la finura de grano de la estructura de austenita en el momento del endurecimiento por inducción. Para obtener ese efecto, la cantidad de adición de Nb tiene que ser preferentemente de un 0,005 % o más. Por otra parte, incluso si la cantidad de adición de Nb supera un 0,3 %, ese efecto se satura y la rentabilidad se ve impedida, de manera que el límite superior de la cantidad de adición de Nb es preferentemente de un 0,3 %.

Ti: de un 0,005 a un 0,2 %

Ti, mediante adición, precipita y difunde en forma de nitruros en el acero y resulta efectivo para aumentar la finura de grano de la estructura de austenita en el momento del endurecimiento por inducción. Para obtener ese efecto, la cantidad de adición de Ti tiene que ser preferentemente de un 0,0005 % o más. Por otra parte, si la cantidad de adición de Ti supera un 0,2 %, los precipitados (nitruros de Ti) se vuelven más bastos y provocan que el acero se vuelva frágil, de forma que el límite superior de la cantidad de adición de Ti se ajusta preferentemente en un 0,2 %.

Ni: de un 0,05 a un 2,0 %

Ni, mediante adición, tiene el efecto de mejorar de forma adicional la tenacidad. Para obtener ese efecto, es necesario hacer que la cantidad de adición de Ni sea de un 0,05 % o más. Por otra parte, si la cantidad de adición de Ni supera un 2,0 %, la maquinabilidad se ve deteriorada, de forma que el límite superior de la cantidad de adición de Ni es preferentemente de un 2,0 %.

Cu: de un 0,01 a un 2,0 %

Cu es efectivo para el fortalecimiento de la ferrita y la mejora de la templabilidad y la resistencia a la corrosión. Si la cantidad de adición de Cu es menor de un 0,01 %, no se puede observar el efecto, de forma que la cantidad de Cu es preferentemente de un 0,01 % o más. Por otra parte, si la cantidad de adición de Cu supera un 2,0 %, el efecto de mejora de las propiedades mecánicas debido a la mejora de la templabilidad se satura, de forma que el límite superior de la cantidad de adición de Cu es preferentemente de un 2,0 %. Nótese que, si se añade Cu, la aptitud de laminado en caliente se reduce y surgen defectos fácilmente en el momento del laminado, de forma que preferentemente Cu se añade simultáneamente con Ni.

Elementos para la Mejora de la Resistencia al Plegado

Cuando se desea una mejora de la resistencia a la fatiga por plegado de la pieza para uso estructural en máquinas, se pueden añadir uno o más de los siguientes contenidos de Ca, Mg, Zr y Te en los siguientes intervalos.

Ca: de un 0,0005 a un 0,01 %, Mg: de un 0,0005 a un 0,01%, Zr: de un 0,0005 a un 0,05 %, Te: de un 0,0005 a un 0,1 %

Ca, Mg, Zr y Te son todos los elementos que evitan el aplanamiento del MnS presente en el acero, mejoran más la resistencia a la fatiga superficial por plegado, y dificultan la fractura por fatiga y plegado de los engranajes y la fractura por fatiga de las partes inferiores de las chavetas de las piezas de eje. El efecto de supresión del aplanamiento de MnS se obtiene por medio de adición de Ca en un 0,0005 % o más, Mg en un 0,0005 % o más, Zr en un 0,0005 % o más y Te en un 0,0005 % o más. Por tanto, es preferible hacer que Ca: 0,0005 %, Mg: 0,0005 %, Zr: 0,0005 % y Te: 0,0005 % sean los límites inferiores de las cantidades de adición. Por otra parte, incluso si se añade Ca en más de un 0,01 %, Mg en más de un 0,01 %, Zr en más de un 0,05 % y Te en más de un 0,1 %, el efecto de supresión del aplanamiento de MnS se satura y la rentabilidad se ve impedida. Por tanto, es preferible hacer que Ca: 0,01 %, Mg: 0,01%, Zr: 0,05% y Te: 0,1% sean los límites inferiores de las cantidades de adición.

Además, aparte de los elementos prescritos anteriormente, es posible incluir Pb, Bi, Sn, Zn, Rem y Sb en intervalos que no impidan los efectos ventajosos de la presente invención.

A continuación, se explica el espesor y la dureza de la capa endurecida y sometida a tratamiento con nitruro en la capa superficial de la pieza de acero.

La pieza de acero de la presente invención es una pieza de acero que se trata por medio de tratamiento con nitruro suave, posterior endurecimiento por inducción para formar una capa endurecida sometida a tratamiento con nitruro. La templabilidad superficial del acero tras la formación de la capa endurecida y sometida a tratamiento con nitruro tiene que ser una dureza de Vicker de 650 o más cuando se atempera a 300 °C. Si la dureza de Vicker es menor de 650 cuando se atempera a 300 °C, la resistencia al reblandecimiento no aumenta de manera suficiente y, como resultado de ello, aparecen fisuras y fractura por fatiga superficial en las superficies de operación (superficies de la pieza de acero) que se vuelven elevadas en cuanto a temperatura (aproximadamente 300 °C).

Además, el intervalo de dureza de Vicker de 650 o más cuando se atempera a 300 °C preferentemente es bajo hasta una profundidad de 0,2 mm a partir de la superficie del acero. Si el intervalo de dureza de Vicker de 650 o más cuando se atempera a 300 °C es más superficial de 0,2 mm desde la superficie del acero, la pieza de acero no puede soportar la presión superficial que se aplica. En particular, no puede soportar la presión superficial que se aplica a una temperatura de 300 °C o tan elevada. Por tanto, la pieza de acero se fractura por fatiga.

Además, el espesor de la capa endurecida sometida a tratamiento con nitruro es preferentemente de 0,4 mm o más. Si el espesor de la capa endurecida sometida a tratamiento con nitruro es menor de 0,4 mm, cuando se somete la pieza de acero a una elevada presión superficial, se forman fisuras superficiales. Antes de que estas fisuras superficiales formen puntos de partida para la fractura, tiene lugar la fractura interna debido a resquebrajamiento y, por tanto, la vida de fatiga de la pieza de acero se acorta.

En la pieza de acero real, si la pieza de acero es una sometida a tratamiento con nitruro suave, entonces el endurecimiento por inducción se puede juzgar a partir de la distribución de las microestructuras que se aprecian por medio del microscopio óptico tras la corrosión de Nital de una muestra tomada a partir de la pieza de acero y la distribución de dureza desde la superficie hasta el núcleo.

Para formar una capa endurecida sometida a tratamiento con nitruro y obtener una elevada resistencia a la fatiga superficial, es necesario llevar a cabo un tratamiento con nitruro suave para formar una capa compuesta (una capa

- principalmente formada por Fe_3N , Fe_4N y otros nitruros de Fe) en la capa más superficial del acero. Los nitruros de Fe en la capa compuesta se descomponen por medio de calentamiento por inducción llevado a cabo tras el tratamiento con nitruro suave, de modo que se provoca la difusión de una cantidad suficiente de N en el acero y se forma una capa endurecida sometida a tratamiento con nitruro. Es decir, es necesario llevar a cabo un tratamiento con nitruro suave para formar una capa compuesta que sirva como fuente de suministro de N para la formación de una capa endurecida y sometida a tratamiento con nitruro. Además, la capa endurecida y sometida a tratamiento con nitruro que se obtiene por medio de tratamiento con nitruro suave y posterior endurecimiento por inducción exhibe una concentración elevada de N.
- Para provocar la difusión de una cantidad suficiente de N en el acero y la formación de una capa gruesa endurecida y sometida a tratamiento con nitruro que resulte dura y pueda mejorar la resistencia al reblandecimiento, en particular la resistencia al reblandecimiento endurecida, es preferible hacer que el espesor de la capa compuesta tras el tratamiento con nitruro suave sea de 10 μm o más.
- Además, preferentemente la temperatura de tratamiento con nitruro suave está dentro del intervalo de 500 a 600 $^{\circ}C$. Si la temperatura de tratamiento con nitruro suave está por encima de 600 $^{\circ}C$, no es posible hacer que la capa compuesta sea de 10 μm o más. Además, la concentración de N en la capa compuesta también se reduce. Además, si la temperatura de tratamiento con nitruro suave supera 600 $^{\circ}C$, tiene lugar la deformación térmica, la oxidación de la frontera de grano, etc. del material de acero. Por otra parte, si la temperatura de tratamiento con nitruro suave es menor de 500 $^{\circ}C$, la penetración del acero en el material de acero falla de manera notable, de forma que preferentemente el límite inferior de la temperatura de tratamiento con nitruro suave es de 500 $^{\circ}C$.
- Si se alarga el tiempo de tratamiento con nitruro suave, la profundidad de la capa compuesta y la capa sometida a tratamiento con nitruro aumenta, pero ese efecto se satura en aproximadamente 3 horas, de manera que preferentemente el tiempo de tratamiento con nitruro suave es de 1 a 3 horas.
- El enfriamiento tras el tratamiento con nitruro suave se puede llevar a cabo por medio de cualquier método de enfriamiento al aire, enfriamiento con gas de N_2 , enfriamiento con aceite, etc.
- Además, como el tratamiento con nitruro suave, se puede aplicar cualquier tratamiento con nitruro suave con gas o tratamiento con nitruro suave con baño de sal.
- Nótese que, siempre que el método proporcione nitrógeno a la superficie del material de acero y se forme una capa más superficial del material de acero con una capa compuesta de 10 μm o más, se puede aplicar no solo tratamiento con nitruro suave, sino también tratamiento con nitruro (que haga referencia a un método de endurecimiento superficial que trate la superficie por medio únicamente de NH_3 durante un largo período de tiempo y se diferencie industrialmente del tratamiento con nitruro suave que usa una atmósfera mixta de NH_3 y CO_2 (en algunos casos, una atmósfera mixta que además tiene N_2 mezclado) para permitir un tratamiento en un período corto de 1 a 3 horas).
- En la presente invención, el tratamiento con nitruro suave es más preferible que el tratamiento con nitruro en el sentido de que se puede formar la capa más superficial del acero con una capa compuesta de 10 μm o más en un corte período de tiempo, pero la invención no se limita al tratamiento con nitruro suave.
- Además, para romper la capa compuesta que se forma por medio de tratamiento con nitruro suave sobre la capa más superficial del material de acero y provocar que el N difunda desde la capa más superficial hasta el interior del material de acero y, con ello, se obtiene una elevada templabilidad superficial de una dureza de Vicker de 650 o más cuando se atempera a 300 $^{\circ}C$, es necesario, tras el tratamiento con nitruro suave, tratar el material de acero por medio de endurecimiento por inducción que calienta el material por medio de calentamiento por inducción para convertirlo en austenita para el endurecimiento y formar una capa endurecida sometida a tratamiento con nitruro.
- El método de calentamiento que lleva a cabo el endurecimiento por inducción tiene que considerar la ruptura de la capa compuesta que se forma por medio del tratamiento con nitruro suave. La temperatura de calentamiento por inducción se considera el punto de transformación de austenita hasta menos de 900 $^{\circ}C$. Además, el tiempo de retención es de 0,05 a 5 segundos. Nótese que, "tiempo de retención" hace referencia a tiempo de retención de la temperatura del material de acero dentro del intervalo del punto de transformación de austenita hasta menos de 900 $^{\circ}C$, desde el instante en el que la temperatura del material de acero sometido a calentamiento por inducción alcanza el punto de transformación de austenita.
- La Fig. 4 es una vista que muestra la relación entre la concentración de N a una profundidad de 0,2 mm desde la superficie del acero tras el endurecimiento por inducción y la dureza de Vicker (Hv) en el momento del atemperado a 300 $^{\circ}C$.
- Como resulta evidente a partir de la Figura 4, cuando la dureza de Vicker tras el atemperado a 300 $^{\circ}C$ a una profundidad de 0,2 mm desde la superficie del acero es de 650 o más, la concentración de N a una profundidad de 0,2 mm desde la superficie del acero es de un 0,5 % o más.
- Además, si la temperatura de calentamiento por inducción es de 900 $^{\circ}C$ o más, innecesariamente el N difunde al interior, la concentración de N a una profundidad de 0,2 mm desde la superficie no alcanza un 0,5 % o más, la dureza

de Vicker cuando se atempera a 300 °C es de menos de 650 y, como resultado de ello, no resulta posible mejorar la resistencia a la fatiga superficial. Además, si la temperatura del calentamiento por inducción es de 900 °C o más, el aumento de la capa de óxido en la superficie del material de acero provoca la degradación de las propiedades mecánicas.

- 5 Por otra parte, si la temperatura del calentamiento por inducción es menor que el punto de transformación de austenita, el material de acero no se transforma en martensita, de forma que no es posible obtener una elevada dureza superficial.

10 Si el tiempo de retención es menor de 0,05 segundos, la ruptura de la capa compuesta y la difusión del N producido por la descomposición de la capa compuesta resultan insuficientes. Por otra parte, si el tiempo de retención está por encima de 5 segundos, innecesariamente N difunde al interior, la concentración de N a una profundidad de 0,2 mm desde la superficie no alcanza un 0,5 % o más, la dureza de Vicker cuando se atempera a 300 °C es menor de 650 y, como resultado de ello, no es posible mejorar la resistencia a la fatiga superficial.

La frecuencia cuando se lleva a cabo el calentamiento por inducción es preferentemente, para una pieza pequeña, de aproximadamente 400 kHz y, para una pieza grande, de aproximadamente 5 kHz.

- 15 El refrigerante que se usa para el endurecimiento puede ser agua, un agente de inactivación polimérico, u otro refrigerante de base acuosa con una gran capacidad de enfriamiento.

Tras el endurecimiento por inducción, es preferible llevar a cabo un atemperado a baja temperatura de aproximadamente 150 °C, de acuerdo con las piezas carburizadas generales para garantizar la tenacidad de la pieza.

20 A continuación, se explica la estructura de la capa superficial de la pieza de acero de la presente invención. La pieza de acero de la presente invención se somete a tratamiento con nitruro suave, posteriormente se somete a endurecimiento por inducción, para que tenga 10.000 orificios/mm² o más de 0,1 a 1 µm de diámetro de círculo equivalente hacia abajo hasta una profundidad de 5 µm o más desde la superficie.

25 Por ejemplo, en un miembro tal como un engranaje en el que la fatiga superficial debida al laminado se convierte en una causa de fractura, la lubricación de la superficie de operación es importante. Si no se lubrica de manera suficiente, las piezas entran en contacto unas con otras dando como resultado un agarrotamiento o adherencia y tiene lugar la fractura por fatiga. Para formar una película lubricante suficiente, resulta efectivo proporcionar un depósito de aceite en la superficie de operación, de modo que se forme una película de lubricante de manera continua.

30 La pieza de acero de la presente invención tiene, en la capa más superficial del material de acero, una capa endurecida sometida a tratamiento con nitruro que se obtiene por medio del uso de tratamiento con nitruro suave para formar una capa compuesta que comprende principalmente Fe₃N, Fe₄N y otros nitruros de Fe, ruptura de estos nitruros de Fe por medio de calentamiento por inducción y transformación del acero en austenita para el endurecimiento. Esta capa endurecida y sometida a tratamiento con nitruro se forma por medio de los nitruros de Fe en la capa compuesta que se descompone y el N que se libera y que difunde al interior del material de acero. En el presente proceso de formación, las ubicaciones en las que estuvieron presentes los nitruros de Fe en la capa compuesta forman un número grande de orificios dispersados. Por tanto, la capa endurecida y sometida a tratamiento con nitruro se vuelve una capa porosa dura. Además, este número grande de orificios dispersados funciona como un depósito de aceite, de manera que se mejora el efecto de lubricación y se mejora la resistencia al desgaste y la durabilidad del material de acero.

40 Los orificios tienen un tamaño de 0,1 a 1 µm de diámetro de círculo equivalente y una densidad de 10.000 orificios/mm² o más. Además, estos orificios funcionan como depósito de aceite si están presentes hacia abajo hasta una profundidad de 5 µm o más desde la superficie. Dichos orificios se obtienen por medio de control de las condiciones de tratamiento de nitruro suave y calentamiento por inducción.

45 Aunque la capa compuesta sometida a tratamiento con nitruro suave tenga un número pequeño de orificios, de forma que éstos tengan la función de depósito de aceite, la capa compuesta sometida a tratamiento con nitruro suave es extremadamente frágil y no puede soportar una gran presión superficial, de manera que el material sometido a tratamiento con nitruro invita a la fractura por fatiga superficial.

50 Si el tamaño de los orificios tiene un diámetro de círculo equivalente por encima de 1 µm, se produce el deterioro de la suavidad superficial de la pieza de acero y se forman puntos de partida para el cabeceo y otra fractura de fatiga superficial y se reduce la resistencia a la fatiga superficial. Por otra parte, si la dimensión principal de los orificios tiene un diámetro de círculo equivalente menor de 0,1 µm, no es posible obtener una función suficiente como depósito de aceite.

Si la densidad de los orificios es menor de 10.000 orificios/mm², los orificios no funcionan de manera efectiva como depósito de aceite.

55 Además, los engranajes y otros miembros de deslizamiento se usan generalmente hasta un desgaste de aproximadamente 5 µm desde la superficie del miembro, de manera que los orificios están presentes preferentemente hacia abajo hasta una profundidad de 5 µm o más desde la superficie de la pieza de acero.

El tamaño y la densidad de los orificios dependen del tratamiento con nitruro suave y las condiciones de calentamiento por inducción. Para obtener el tamaño y la densidad de los orificios que funcionan de manera efectiva como depósito de aceite, preferentemente la temperatura de tratamiento con nitruro suave es de 580 °C a menos de 600 °C, la temperatura de calentamiento por inducción es de 880 °C a menos de 900 °C, y el tiempo de retención es de 1 a 4 segundos. Nótese que, estas condiciones satisfacen las condiciones para obtener una capa endurecida sometida a tratamiento con nitruro proporcionada en un material de acero y una pieza de acero que tiene una elevada resistencia a la fatiga superficial.

Además, la capa superficial tras el endurecimiento se convierte en una estructura de martensita, mientras que el núcleo se deja como estructura de ferrita-perlita. Esto es porque provocando únicamente la transformación de la capa superficial en martensita, se proporciona tensión residual de compresión a la capa superficial y se mejora la resistencia a la fatiga superficial. Si se transforma incluso la parte de núcleo en martensita, tiene lugar una reducción de la tensión residual de compresión de la capa superficial y, como consecuencia, se produce un fallo de la resistencia a la fatiga superficial.

Nótese que, lo explicado anteriormente, es justo una ilustración de una realización de la presente invención. Se pueden llevar a cabo diversos cambios dentro del alcance de las reivindicaciones.

Ejemplos

A continuación, se explica la presente invención de forma adicional por medio de los ejemplos, pero las condiciones de los ejemplos son únicamente ilustraciones de las condiciones que se emplean para confirmar la operabilidad y efectos ventajosos de la presente invención. La presente invención no se limita a estas ilustraciones de las condiciones. La presente invención puede emplear diversas condiciones con tal de que no se aparten del alcance de las reivindicaciones.

Se sometió a forja y recocido cada uno de los materiales de acero con las composiciones químicas mostradas en las Tablas 1 y 2 y las Tablas 4 y 5, posteriormente se fabricaron piezas de ensayo para cabeceo de rodillos para la evaluación de la resistencia a la fatiga superficial, es decir, una pieza de ensayo para rodillo pequeño que tiene una parte cilíndrica con un diámetro de 26 mm y una anchura de 28 mm y una pieza de ensayo para rodillo grande con un diámetro de 130 mm y una anchura de 18 mm.

Se sometió a tratamiento con nitruro suave la pieza de ensayo de rodillo pequeña y la pieza de ensayo de rodillo grande (durante 2 horas a las temperaturas mostradas en la Tabla 3 y la Tabla 6, posteriormente se enfriaron con gas de N₂, composición de gas de tratamiento con nitruro: N₂ (0,45 Nm³/h)+NH₃ (0,5 Nm³/h)+CO₂ (0,05 Nm³/h)), posteriormente se sometieron a endurecimiento por inducción (frecuencia 100 kHz). El refrigerante usado en el momento del endurecimiento por inducción fue agua corriente o un agente de inactivación polimérico. Después de eso, se atemperaron las piezas de ensayo a 150 °C durante 60 minutos y se usaron para los ensayos de fatiga.

Se usaron la pieza de ensayo de rodillo pequeña y la pieza de ensayo de rodillo grande para un ensayo de fatiga superficial convencional, es decir, un ensayo de fatiga por cabeceo de rodillo.

Se llevó a cabo el ensayo de fatiga por cabeceo de rodillo presionando la pieza de ensayo de rodillo pequeña contra tensiones de varios hertzios (presiones superficiales) por parte de la pieza de ensayo de rodillo grande y ajustando la velocidad de deslizamiento en -40 % (siendo la velocidad periférica de la pieza de ensayo de rodillo grande un 40 % más grande que la pieza de ensayo de rodillo pequeña en las partes de contacto de la pieza de ensayo de rodillo pequeña y la pieza de ensayo de rodillo grande). Nótese que, la dirección rotacional y las partes de contacto de la pieza de ensayo de rodillo pequeña y la pieza de ensayo de rodillo grande son las mismas. Además, la temperatura del aceite de engranaje que se alimentó a las partes de contacto de la pieza de ensayo de rodillo pequeña y la pieza de ensayo de rodillo grande fue de 90 °C.

El número límite del ensayo fue de 10 millones de ciclos (10⁷ ciclos), lo cual muestra el límite de fatiga del acero general, al tiempo que la tensión máxima en hertzios a la cual se alcanzaron los 10 millones de ciclos en la pieza de ensayo de rodillo pequeña sin la presencia de cabeceo fue el límite de fatiga de la pieza de ensayo de rodillo pequeña. Se detectó la presencia de cabeceo por medio de un medidor de vibración ligado al dispositivo de ensayo. Tras detectar la vibración, se detuvieron las rotaciones tanto de la pieza de ensayo de rodillo pequeña como de la pieza de ensayo de rodillo grande y se confirmaron la presencia de cabeceo y la velocidad rotacional.

Además, para la evaluación de la resistencia al reblandecimiento por atemperado, se fabricó una pieza de ensayo cilíndrica de medición de dureza de un diámetro de 26 mm y una longitud de 100 mm. Se sometió la pieza de ensayo para medición de dureza a tratamiento con nitruro suave y endurecimiento por inducción en las mismas condiciones que para la pieza de ensayo de rodillo pequeña y la pieza de ensayo de rodillo grande. Después de eso, se atemperó a 300 °C durante 60 minutos, se cortó en la dirección transversal, posteriormente se midió la distribución de dureza desde la superficie hasta el núcleo de la pieza de ensayo de medición de dureza por medio de un medidor de dureza de Vicker. Nótese que, la capa superficial de la pieza de ensayo de medición de dureza tras el endurecimiento por inducción fue una estructura de martensita, mientras que la parte del núcleo se dejó como estructura de ferrita-perlita. Además, junto con esto, se midió la concentración de N a una profundidad de 0,2 mm desde la superficie de la pieza de ensayo de medición de dureza por medio de EPMA.

Además, se descubrió la densidad de los orificios que tienen un diámetro de círculo equivalente de 0,1 a 1 μm cortando la pieza de ensayo de medición de dureza, que se sometió a tratamiento de nitruro suave y endurecimiento por inducción en las mismas condiciones que la pieza de ensayo de rodillo pequeña y la pieza de ensayo de rodillo grande, en un corte transversal perpendicular al laminado, enterrando la misma en resina, puliendo hasta obtener un acabado de espejo y posteriormente procesando por imágenes la parte de la capa más superficial. Se llevó a cabo el procesado por imágenes a 3000 aumentos para 40 campos de 50 μm^2 cada uno. Se convirtió el número de orificios encontrado por medio del procesado de imágenes en el número de orificios por mm^2 .

Además, para la evaluación de la maquinabilidad, se fabricó una pieza de ensayo cilíndrica de 45 mm de diámetro y 100 mm de longitud. Se evalúa la maquinabilidad en el estado del material antes del tratamiento con nitruro suave y endurecimiento por inducción, de forma que la pieza de ensayo para evaluación de la maquinabilidad se usa como tal para la forja y el recocido. Se evaluó la maquinabilidad por medio de ensayo de perforación de orificio profundo usando un MQL (lubricación en cantidad mínima) por medio de un centro de maquinizado NC usado para la producción de engranajes, cigüeñales y otras piezas para automóvil. Se midió el número de orificios perforados hasta ruptura de la broca cuando se perfora en las condiciones mostradas en la Tabla 7. No obstante, cuando se alcanzan 1000 orificios o más, se estima que la maquinabilidad es buena y se interrumpe el ensayo.

La Tabla 3 y la Tabla 6 muestran los resultados. Como se aprecia en la Tabla 3, en cada uno de los ejemplos de la invención de los Ejemplos 1 a 40, la resistencia a la fatiga superficial (tensión máxima en hertzios) a 10 millones de ciclos (10^7 ciclos) en un ensayo de fatiga de cabeceo de rodillo es un valor elevado de 3700 MPa o más. Resulta evidente que cada uno tiene una resistencia a la fatiga superficial superior. Se confirmó que es posible obtener buenos resultados en comparación con los ejemplos comparativos de los Ejemplos 41 a 62 mostrados en la Tabla 6. Debido a dicha resistencia a la fatiga superficial superior, la pieza de acero de la presente invención se puede usar para miembros sobre los cuales se aplica una elevada presión superficial tanto a la temperatura ordinaria de curso como también a temperatura elevada de aproximadamente 300 $^{\circ}\text{C}$.

Por ejemplo, cada uno de los ejemplos de invención de los Ejemplos 1 a 8 es un acero al cual se han añadido Si, Mn y Al en cantidades apropiadas. Debido a la formación de una capa compuesta de espesor de 10 μm o más por medio de tratamiento con nitruro suave de menos de 600 $^{\circ}\text{C}$ y de 0,08 a 4,9 segundos de endurecimiento por inducción después de la misma en el punto de transformación de austenita de 900 $^{\circ}\text{C}$, se podría confirmar que se obtiene una dureza de Vicker de 650 o más tras el atemperado a 300 $^{\circ}\text{C}$ y, como resultado de ello, se logra una resistencia a la fatiga superficial superior. Además, en cada uno de los ejemplos de invención de los Ejemplos 1 a 8, el espesor de la capa endurecida sometida a tratamiento con nitruro es de 0,4 mm o más. Se podría confirmar que la concentración de N hacia abajo hasta una posición de 0,2 mm desde la superficie es elevada. Además, desde la consideración de que el número de orificios perforados es de 1000 o más, se podría confirmar que la maquinabilidad tras la forja (antes del tratamiento con nitruro suave y el endurecimiento por inducción) también resultó superior.

Además, incluso en los Ejemplos 9 a 24 en los cuales se añadieron elementos opcionales, la resistencia a la fatiga superficial (tensión máxima en hertzios) a 10 millones de ciclos (10^7 ciclos) en una resistencia a la fatiga por cabeceo de rodillo es un valor elevado de 3700 MPa o más. Se podría confirmar que se obtiene una buena resistencia a la fatiga superficial.

Además, en cada uno de los ejemplos de invención de los Ejemplos 25 a 40, existen 10.000 orificios/ mm^2 o más de un diámetro de círculo equivalente de 0,1 a 1 μm presentes hacia abajo hasta una profundidad de 5 μm desde la superficie de la capa endurecida y sometida a tratamiento con nitruro, pero la resistencia a la fatiga superficial (tensión máxima en hertzios) a 10 millones de ciclos (10^7 ciclos) en una resistencia a la fatiga por cabeceo de rodillo es un valor elevado de 3700 MPa o más. Se podría confirmar que se obtiene una buena resistencia a la fatiga superficial.

En oposición a esto, en cada uno de los ejemplos comparativos de los Ejemplos 41 a 62, donde los aceros con composiciones químicas fuera del intervalo de la presente invención se someten a tratamiento con nitruro suave, y posterior endurecimiento por inducción, el tiempo de vida del ensayo de fatiga fue el valor de resistencia a la fatiga superficial (tensión máxima en hertzios) a un tiempo de vida de 10 millones de ciclos (10^7 ciclos) de menos de 3700 MPa. En comparación con los ejemplos de la invención, se podría confirmar que la resistencia a la fatiga superficial fue inferior.

En el ejemplo comparativo del Ejemplo 42, la cantidad de adición de B estuvo por encima del límite superior de la presente invención, mientras que en el ejemplo comparativo del Ejemplo 43, la cantidad de adición de N estuvo por encima del límite superior, de forma que el acero fue notablemente frágil, aparecieron fisuras durante la forja y no fue posible evaluar el acero.

En cada uno de los ejemplos comparativos de los Ejemplos 44 y 48, la relación Mn/S es baja, no se pudo evitar la concentración de S en la superficie del material de acero, y, por este motivo, el espesor de la capa compuesta tras el tratamiento con nitruro suave es fino, la dureza de Vicker tras el atemperado a 300 $^{\circ}\text{C}$ es menor de 650, y, como resultado de ello, la resistencia a la fatiga superficial (tensión máxima en hertzios) es baja. Además, el espesor de la capa endurecida sometida a tratamiento con nitruro de la pieza de acero tras el endurecimiento por inducción es fino y menor de 0,4 mm, mientras que la concentración de N hacia abajo hasta una profundidad de 0,2 mm desde la superficie también es baja.

El ejemplo comparativo del Ejemplo 49 tiene un Mn/S bajo, de manera que tiene un espesor bajo de la capa compuesta, y tiene una dureza de Vicker tras atemperado a 300 °C menor de 650, y, como resultado de ello, se confirma que la resistencia a la fatiga superficial (tensión máxima en hertzios) es baja.

5 Cada uno de los ejemplos comparativos de los Ejemplos 51 a 54 tiene una composición química dentro del intervalo de la presente invención, pero tiene una dureza de Vicker menor de 650 tras atemperado a 300 °C y, como resultado de ello, se confirmó que tenía una tensión máxima en hertzios menor de 3000 MPa. Esto es porque, en cada uno de los Ejemplos 51 a 54, mientras que la capa compuesta tras el tratamiento con nitruro suave tiene un espesor suficiente, en el Ejemplo 51, la temperatura de calentamiento por inducción es demasiado elevada, de manera que N difunde innecesariamente al interior del material de acero, mientras que el espesor de la capa endurecida y sometida a tratamiento con nitruro es suficiente y de 0,65 mm, la dureza de Vicker tras el atemperado a 300 °C es de 506, o menor de 650 y, además, se forma una capa de óxido en la superficie del material de acero, de forma que la resistencia a la fatiga superficial (tensión máxima en hertzios) se reduce. Además, la concentración de N a una profundidad de 0,2 mm desde la superficie del material de acero también es baja de un 0,09 %. En el Ejemplo 53, el tiempo de retención (tiempo de calentamiento por inducción) es demasiado largo, de forma que el N innecesariamente difunde al interior del material de acero, mientras que el espesor de la capa endurecida sometida a tratamiento con nitruro es suficiente y de 0,70 mm, la dureza de Vicker tras atemperado a 300 °C es de 540, o menor de 650, y, como resultado de ello, la resistencia a la fatiga superficial (tensión máxima en hertzios) es baja. Además, la concentración de N a una profundidad de 0,2 mm desde la superficie del material de acero también es baja de un 0,20 %.

20 Cada uno de los ejemplos comparativos de los Ejemplos 55 a 5 tiene una dureza de Vicker menor de 650 tras atemperado a 300 °C y, como resultado de ello, se confirma que la resistencia a la fatiga superficial (tensión máxima en hertzios) es menor de 3000 MPa. Esto es porque la capa compuesta tras tratamiento de nitruro suave es fina, de forma que el espesor de la capa endurecida sometida a tratamiento con nitruro también es fino. Por ejemplo, en el Ejemplo 56, la composición química está dentro del intervalo de la presente invención, pero la temperatura de tratamiento con nitruro suave es demasiado baja, de manera que la capa compuesta es fina, la dureza de Vicker tras atemperado a 300 °C es menor de 650 y, como resultado de ello, la resistencia a la fatiga superficial (tensión máxima en hertzios) es baja. Además, el espesor de la capa endurecida sometida a tratamiento con nitruro es de 0,16 mm.

30 El ejemplo comparativo del Ejemplo 57 tiene una cantidad de adición de Mn menor que el intervalo de la presente invención, tiene una cantidad de adición de S mayor que el intervalo de la presente invención, tiene un Mn/S menor que el intervalo de la presente invención, y tiene una temperatura de tratamiento con nitruro suave demasiado elevada, de forma que la capa compuesta es fina, la dureza de Vicker tras atemperado a 300 °C es de 387, o menor de 650, y, como resultado de ello, se confirma que la resistencia a la fatiga superficial (tensión máxima en hertzios) es baja. Además, el espesor de la capa endurecida sometida a tratamiento con nitruro es fino y de 0,15 mm, mientras que la concentración de N a una profundidad de 0,2 mm desde la superficie del material de acero es baja y de un 0,08 %.

35 Cada uno de los ejemplos comparativos de los Ejemplos 58 a 60 tiene una dureza de Vicker menor de 650 tras atemperado a 300 °C y, como resultado de ello, tiene una resistencia a la fatiga superficial baja (tensión máxima en hertzios). Esto es porque cada uno de los Ejemplos 58 a 60 tiene una capa compuesta fina y condiciones de calentamiento por inducción inapropiadas, de forma que tiene una capa endurecida y fina sometida a tratamiento con nitruro. Por ejemplo, el Ejemplo 58 tiene una cantidad de adición de Mn menor que el intervalo de la presente invención y tiene un Mn/S menor que el intervalo de la presente invención, de forma que la capa compuesta es fina. Además, la temperatura de calentamiento por inducción es elevada, de forma que la dureza de Vicker tras atemperado a 300 °C se hace de 507, o menor de 650, y, como resultado de ello, la resistencia a la fatiga superficial (tensión máxima en hertzios) es baja. Además, el espesor de la capa endurecida sometida a tratamiento con nitruro es fino y de 0,14 mm, mientras que la concentración de N a una profundidad de 0,2 mm desde la superficie del material de acero es baja y de un 0,07 %.

45 El ejemplo comparativo del Ejemplo 62 tiene un Mn/S de 15 o menor que el intervalo de la presente invención y tiene una temperatura elevada de tratamiento con nitruro suave, de forma que la capa compuesta es fina, y tiene una temperatura de calentamiento por inducción elevada, de manera que tiene una dureza de Vicker menor de 650 tras atemperado a 300 °C, como resultado de lo cual la resistencia a la fatiga superficial (tensión máxima en hertzios) es extremadamente baja y de 2600 MPa. Además, el espesor de la capa endurecida sometida a tratamiento con nitruro es fino y de 0,23 mm, mientras que la concentración de N a una profundidad de 0,2 mm desde la superficie del material de acero es baja y de un 0,16 %.

55 A partir de lo anterior, se podría confirmar que los ejemplos de la invención, que están compuestos de acero al cual se añaden Si, Mn y Al en cantidades apropiadas y donde Mn/S se encuentra en un intervalo apropiado, que se someten a tratamiento con nitruro suave, posteriormente se endurecen por inducción, y que tiene una templabilidad superficial de una dureza de Vicker de 650 o más cuando se atempera a 300 °C, exhiben una resistencia a la fatiga superficial superior de una tensión máxima en hertzios de 3700 MPa o más.

ES 2 731 643 T3

Tabla 1

Ejemplo	Clase	Composición química (% en masa)								
		C	Si	Mn	P	S	Al	O	N	B
1	Ej. Inv.	0,32	0,61	0,66	0,014	0,006	0,120	0,002	0,0034	0,0004
1a	Ej. Inv.	0,55	0,19	0,81	0,020	0,008	0,030	0,001	0,0039	0,0001
1b	Ej. Inv.	0,53	0,19	0,79	0,025	0,010	0,022	0,002	0,0044	0,0002
2	Ej. Inv.	0,37	0,59	1,15	0,022	0,008	0,035	0,001	0,0034	0,0005
3	Ej. Inv.	0,49	0,45	1,16	0,009	0,009	0,069	0,004	0,0042	0,0010
4	Ej. Inv.	0,51	1,20	1,40	0,025	0,016	0,153	0,002	0,0040	0,0006
5	Ej. Inv.	0,54	0,25	0,80	0,019	0,007	0,126	0,003	0,0031	0,0015
6	Ej. Inv.	0,55	0,85	0,96	0,012	0,010	0,159	0,001	0,0038	0,0023
7	Ej. Inv.	0,55	1,32	1,23	0,021	0,014	0,080	0,002	0,0041	0,0004
8	Ej. Inv.	0,59	0,85	0,72	0,021	0,006	0,099	0,004	0,0049	0,0038
9	Ej. Inv.	0,54	1,30	0,85	0,017	0,009	0,025	0,002	0,0030	0,0004
10	Ej. Inv.	0,46	0,85	0,79	0,023	0,009	0,021	0,003	0,0043	0,0009
11	Ej. Inv.	0,44	0,69	1,07	0,015	0,010	0,192	0,001	0,0044	0,0008
12	Ej. Inv.	0,41	1,41	1,44	0,014	0,011	0,102	0,001	0,0040	0,0017
13	Ej. Inv.	0,51	0,79	0,85	0,022	0,012	0,110	0,001	0,0036	0,0005
14	Ej. Inv.	0,55	0,34	1,12	0,015	0,008	0,099	0,001	0,0044	0,0009
15	Ej. Inv.	0,45	0,91	0,67	0,020	0,009	0,089	0,001	0,0042	0,0006
16	Ej. Inv.	0,45	0,75	1,29	0,021	0,018	0,021	0,003	0,0037	0,0005
17	Ej. Inv.	0,35	0,40	0,50	0,020	0,005	0,089	0,004	0,0049	0,0005
18	Ej. Inv.	0,46	0,54	0,71	0,020	0,007	0,021	0,002	0,0041	0,0005
19	Ej. Inv.	0,45	1,41	0,53	0,010	0,007	0,087	0,005	0,0050	0,0021
20	Ej. Inv.	0,51	0,29	0,85	0,023	0,007	0,045	0,004	0,0050	0,0005
21	Ej. Inv.	0,50	1,67	0,56	0,021	0,004	0,089	0,004	0,0042	0,0004
22	Ej. Inv.	0,49	0,55	0,83	0,013	0,010	0,310	0,004	0,0050	0,0029
23	Ej. Inv.	0,48	1,00	1,20	0,024	0,010	0,110	0,004	0,0040	0,0008
24	Ej. Inv.	0,45	0,89	1,32	0,011	0,011	0,109	0,002	0,0038	0,0010
25	Ej. Inv.	0,40	0,25	0,55	0,010	0,005	0,082	0,001	0,0041	0,0006
26	Ej. Inv.	0,45	1,43	0,69	0,011	0,009	0,096	0,001	0,0042	0,0015
27	Ej. Inv.	0,48	0,59	1,00	0,020	0,009	0,085	0,002	0,0038	0,0029
28	Ej. Inv.	0,51	1,00	0,85	0,018	0,007	0,101	0,003	0,0031	0,0006

ES 2 731 643 T3

Ejemplo	Clase	Composición química (% en masa)								
		C	Si	Mn	P	S	Al	O	N	B
29	Ej. Inv.	0,55	1,56	0,75	0,013	0,008	0,123	0,002	0,0042	0,0005
30	Ej. Inv.	0,56	1,90	0,84	0,020	0,006	0,030	0,003	0,0040	0,0005
31	Ej. Inv.	0,43	0,25	0,43	0,017	0,003	0,193	0,003	0,0051	0,0033
32	Ej. Inv.	0,50	0,95	0,75	0,020	0,005	0,102	0,003	0,0043	0,0006
33	Ej. Inv.	0,48	0,72	1,02	0,013	0,007	0,110	0,003	0,0035	0,0010
34	Ej. Inv.	0,41	0,81	0,75	0,013	0,009	0,099	0,002	0,0040	0,0004
35	Ej. Inv.	0,45	0,31	0,83	0,020	0,011	0,123	0,001	0,0033	0,0004
36	Ej. Inv.	0,53	0,51	1,01	0,011	0,013	0,025	0,002	0,0041	0,0009
37	Ej. Inv.	0,57	0,46	1,07	0,015	0,015	0,243	0,002	0,0051	0,0022
38	Ej. Inv.	0,50	0,66	1,13	0,010	0,011	0,034	0,002	0,0046	0,0007
39	Ej. Inv.	0,45	1,01	0,83	0,018	0,010	0,025	0,003	0,0046	0,0010
40	Ej. Inv.	0,42	0,26	0,58	0,016	0,006	0,027	0,002	0,0036	0,0004

Tabla 2 (continuación de la Tabla 1)

Ej.	Clase	Composición química (% en masa)												Mn/S
		Cr	Mo	W	V	Nb	Ti	Ni	Cu	Ca	Mg	Zr	Te	
1	Ej. Inv.													116
1a	Ej. Inv.													101
1b	Ej. Inv.													79
2	Ej. Inv.													142
3	Ej. Inv.													126
4	Ej. Inv.													90
5	Ej. Inv.													108
6	Ej. Inv.													94
7	Ej. Inv.													91
8	Ej. Inv.													126
9	Ej. Inv.	0,75												93
10	Ej. Inv.		0,28											90
11	Ej. Inv.			0,19	0,23									112
12	Ej. Inv.						0,13							135
13	Ej. Inv.	0,51			0,12									74

ES 2 731 643 T3

Ej.	Clase	Composición química (% en masa)												Mn/S
		Cr	Mo	W	V	Nb	Ti	Ni	Cu	Ca	Mg	Zr	Te	
14	Ej. Inv.	1,13					0,09							145
15	Ej. Inv.	1,30			0,10									71
16	Ej. Inv.	0,79	0,31											72
17	Ej. Inv.	0,43		0,14	0,22		0,09							99
18	Ej. Inv.	1,84	0,12	0,14	0,44		0,10							105
19	Ej. Inv.					0,02	0,11							77
20	Ej. Inv.			0,30			0,10			0,0011		0,0011		121
21	Ej. Inv.		0,38			0,05		0,48	0,11		0,0044			148
22	Ej. Inv.	1,63	0,69		0,25	0,12	0,14						0,009	82
23	Ej. Inv.	0,79	0,35	0,11	0,13					0,0009	0,0008			122
24	Ej. Inv.	0,78	0,09	0,11	0,15	0,06	0,07	0,24	0,08	0,0006	0,0006	0,0027	0,009	123
25	Ej. Inv.													120
26	Ej. Inv.													76
27	Ej. Inv.													108
28	Ej. Inv.													128
29	Ej. Inv.													95
30	Ej. Inv.													142
31	Ej. Inv.	1,13												132
32	Ej. Inv.						0,10							140
33	Ej. Inv.	0,79					0,12							142
34	Ej. Inv.	1,01		0,07	0,11									80
35	Ej. Inv.	0,52	0,01		0,10									73
36	Ej. Inv.	1,10	0,07	0,06	0,10		0,02							76
37	Ej. Inv.	0,61						0,26	0,11					71
38	Ej. Inv.	0,95	0,09	0,06	0,11			0,62	0,14					101
39	Ej. Inv.	0,85	0,11		0,12		0,02	0,25	0,11					82
40	Ej. Inv.	0,94	0,05	0,12	0,13	0,06	0,04	0,36	0,09	0,0005	0,0006	0,0026	0,010	91

Tabla 3

Ej.	Clase	Maquinabilidad, nº. de orificios	Tratamiento con nitruro suave		Condiciones de calentamiento por inducción		Tras endurecimiento por inducción			Resistencia a la fatiga superficial (tensión máxima en hertzios) (MPa)
			Temp. (°C)	Espesor de capa compuesta (µm)	Temp. (°C)	Tiempo (s)	Espesor de la capa endurecida sometida a tratamiento con nitruro (mm)	Atemperado a 300 °C a una profundidad de 0,2 mm desde la superficie, dureza de Vicker	Densidad de orificios (orificios/mm ²)	
1	Ej. Inv.	>1000	552	28	897	1,6	0,40	691	7435	3700
1a	Ej. Inv.	>1000	575	24	899	4,9	0,40	720	8352	3700
1b	Ej. Inv.	>1000	575	26	898	4,9	0,41	709	7257	3700
2	Ej. Inv.	>1000	582	30	877	2,5	0,42	705	7432	3700
3	Ej. Inv.	>1000	566	23	837	4,2	0,42	718	6614	3700
4	Ej. Inv.	>1000	575	21	894	2,9	0,41	691	5457	3700
5	Ej. Inv.	>1000	583	24	881	4,9	0,40	764	6684	3700
6	Ej. Inv.	>1000	577	23	832	4,4	0,41	819	6357	3700
7	Ej. Inv.	>1000	590	19	854	4,9	0,40	675	8532	3700
8	Ej. Inv.	>1000	553	21	893	2,4	0,42	894	8533	3700
9	Ej. Inv.	>1000	598	27	898	0,9	0,41	689	7607	3750
10	Ej. Inv.	>1000	552	20	861	0,08	0,42	709	8381	3750
11	Ej. Inv.	>1000	587	25	859	3,2	0,42	757	7006	3800
12	Ej. Inv.	>1000	588	22	801	2,4	0,40	759	8725	3750
13	Ej. Inv.	>1000	575	20	890	1,8	0,42	679	5469	3750
14	Ej. Inv.	>1000	582	26	882	0,9	0,41	728	5453	3750
15	Ej. Inv.	>1000	591	28	892	0,5	0,40	704	5737	3750
16	Ej. Inv.	>1000	595	29	855	3,4	0,42	698	5133	3750
17	Ej. Inv.	>1000	570	22	885	2,2	0,42	746	8739	3800
18	Ej. Inv.	>1000	569	25	893	4,5	0,40	765	8153	3800
19	Ej. Inv.	>1000	590	24	882	4,4	0,41	805	7211	3750
20	Ej. Inv.	>1000	571	22	881	2,5	0,41	801	7724	3800
21	Ej. Inv.	>1000	580	31	872	4,5	0,42	693	7031	3750
22	Ej. Inv.	>1000	574	27	898	0,5	0,40	909	7759	3750
23	Ej. Inv.	>1000	571	24	895	0,8	0,41	715	7058	3750
24	Ej. Inv.	>1000	588	28	822	3,2	0,41	840	8906	3800
25	Ej. Inv.	>1000	589	25	882	1,2	0,40	831	20880	3800

ES 2 731 643 T3

Ej.	Clase	Maquinabilidad, n°. de orificios	Tratamiento con nitruro suave		Condiciones de calentamiento por inducción		Tras endurecimiento por inducción			Resistencia a la fatiga superficial (tensión máxima en hertzios) (MPa)
			Temp. (°C)	Espesor de capa compuesta (µm)	Temp. (°C)	Tiempo (s)	Espesor de la capa endurecida sometida a tratamiento con nitruro (mm)	Atemperado a 300 °C a una profundidad de 0,2 mm desde la superficie, dureza de Vicker	Densidad de orificios (orificios/mm ²)	
26	Ej. Inv.	>1000	582	28	890	2,9	0,42	791	26862	3800
27	Ej. Inv.	>1000	593	27	899	2,4	0,41	909	19154	3800
28	Ej. Inv.	>1000	591	26	896	1,9	0,42	701	42901	3800
29	Ej. Inv.	>1000	581	25	894	2,4	0,42	690	21158	3800
30	Ej. Inv.	>1000	598	28	882	2,8	0,42	696	43255	3800
31	Ej. Inv.	>1000	583	33	893	1,2	0,41	994	11438	3800
32	Ej. Inv.	>1001	599	30	888	3,4	0,41	70 ^o 1	20960	3800
33	Ej. Inv.	>1002	587	29	884	1,2	0,42	744	17667	3800
34	Ej. Inv.	>1000	585	24	889	3,4	0,42	798	37155	3850
35	Ej. Inv.	>1000	596	26	893	1,3	0,41	678	29928	3850
36	Ej. Inv.	>1000	596	29	888	1,3	0,41	841	47635	3850
37	Ej. Inv.	>1000	581	23	882	3,1	0,42	809	34410	3800
38	Ej. Inv.	>1000	588	28	893	2,8	0,42	778	30449	3850
39	Ej. Inv.	>1000	581	26	898	1,2	0,41	739	10752	3850
40	Ej. Inv.	>1000	596	27	895	2,1	0,41	790	47202	3850

Tabla 4

Ej.	Clase	Composición química (% en masa)								
		C	Si	Mn	P	S	Al	O	N	B
41	Ej. Comp.	0,15	0,83	1,45	0,022	0,016	0,015	0,002	0,0090	
42	Ej. Comp.	0,55	0,10	0,89	0,009	0,011	0,025	0,001	0,0052	0,0152
43	Ej. Comp.	0,45	0,25	0,50	0,010	0,006	0,450	0,001	0,0160	0,0030
44	Ej. Comp.	0,44	1,33	0,51	0,015	0,051	0,074	0,002	0,0090	
48	Ej. Comp.	0,55	0,28	0,31	0,010	0,025	0,020	0,005	0,0047	
49	Ej. Comp.	0,56	0,26	0,85	0,005	0,013	0,030	0,001	0,0056	
50	Ej. Comp.	0,11	0,80	2,59	0,013	0,012	0,029	0,001	0,0110	0,0005
51	Ej. Comp.	0,35	0,32	1,44	0,016	0,010	0,025	0,002	0,0053	0,0008
52	Ej. Comp.	0,40	0,25	1,35	0,018	0,011	0,017	0,002	0,0052	0,0009

ES 2 731 643 T3

Ej.	Clase	Composición química (% en masa)								
		C	Si	Mn	P	S	Al	O	N	B
53	Ej. Comp.	0,44	0,68	1,23	0,012	0,013	0,013	0,003	0,0047	0,0008
54	Ej. Comp.	0,45	0,10	1,11	0,014	0,012	0,025	0,003	0,0051	0,0006
55	Ej. Comp.	0,47	0,45	1,45	0,013	0,011	0,026	0,004	0,0047	0,0006
56	Ej. Comp.	0,55	0,45	1,34	0,021	0,018	0,052	0,003	0,0050	0,0005
57	Ej. Comp.	0,44	0,86	0,30	0,022	0,024	0,027	0,002	0,0047	0,0006
58	Ej. Comp.	0,45	0,25	0,25	0,005	0,015	0,030	0,001	0,0050	0,0010
59	Ej. Comp.	0,55	0,25	0,33	0,005	0,013	0,029	0,001	0,0047	0,0006
60	Ej. Comp.	0,55	0,25	0,28	0,003	0,010	0,033	0,001	0,0053	
61	Ej. Comp.	0,11	0,12	0,79	0,009	0,010	0,020	0,001	0,0090	
62	Ej. Comp.	0,20	0,25	0,25	0,010	0,017	0,015	0,001	0,0047	

Tabla 5 (continuación de la Tabla 4)

Ej.	Clase	Composición química (% en masa)											Mn/S	
		Cr	Mo	W	V	Nb	Ti	Ni	Cu	Ca	Mg	Zr		Te
41	Ej. Comp.													91
42	Ej. Comp.													81
43	Ej. Comp.													83
44	Ej. Comp.	0,51	1,43											10
48	Ej. Comp.	0,60	0,11		0,37									12
49	Ej. Comp.	0,49	0,59		0,51		0,0018							65
50	Ej. Comp.												0,050	216
51	Ej. Comp.													144
52	Ej. Comp.	1,89	0,41											123
53	Ej. Comp.	0,91												95
54	Ej. Comp.		0,48	0,07	0,31									93
55	Ej. Comp.	1,34			0,22							0,0020		132
56	Ej. Comp.				0,15									105
57	Ej. Comp.	0,54	0,09		0,30			0,10						13
58	Ej. Comp.				0,50		0,0016							17
59	Ej. Comp.				0,49		0,0017							25
60	Ej. Comp.													28

ES 2 731 643 T3

Ej.	Clase	Composición química (% en masa)											Mn/S	
		Cr	Mo	W	V	Nb	Ti	Ni	Cu	Ca	Mg	Zr		Te
61	Ej. Comp.	0,30												79
62	Ej. Comp.	0,90			0,50		0,50							15

Tabla 6

Ej.	Clase	Maquinabilidad, n°. de orificios	Tratamiento con nitruro suave		Condiciones de calentamiento por inducción		Tras endurecimiento por inducción			Resistencia a la fatiga superficial (tensión máxima en hertzios) (MPa)
			Temp. (°C)	Espesor de capa compuesta (µm)	Temp. (°C)	Tiempo (s)	Espesor de la capa endurecida sometida a tratamiento con nitruro (mm)	Atemperado a 300 °C a una profundidad de 0,2 mm desde la superficie, dureza de Vicker	Densidad de orificios (orificios/mm²)	
41	Ej. Comp.	81	593	15	876	1,4	0,33	595	3312	2900
42	Ej. Comp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
43	Ej. Comp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
44	Ej. Comp.	189	590	2	850	3,2	0,13	465	4934	2600
48	Ej. Comp.	65	559	4	884	5,0	0,29	570	2754	2800
49	Ej. Comp.	66	585	1	879	3,2	0,09	467	2038	2300
50	Ej. Comp.	45	587	12	880	4,7	0,65	575	4271	2900
51	Ej. Comp.	>1000	590	24	980	4,0	0,65	506	2394	2700
52	Ej. Comp.	>1000	595	25	700	3,5	0,20	398	2816	2150
53	Ej. Comp.	>1000	577	20	890	8,0	0,70	540	1865	2900
54	Ej. Comp.	>1000	580	21	845	0,03	0,07	425	880	2600
55	Ej. Comp.	>1000	680	5	837	4,9	0,10	401	3082	2600
56	Ej. Comp.	>1000	490	4	880	3,0	0,16	551	1155	2700
57	Ej. Comp.	>1000	700	3	886	2,1	0,15	387	4670	2500
58	Ej. Comp.	>1000	570	2	910	2,5	0,14	507	575	2600
59	Ej.	>1000	570	3	690	1,2	0,10	401	4366	2200

Ej.	Clase	Maquinabilidad, n°. de orificios	Tratamiento con nitruro suave		Condiciones de calentamiento por inducción		Tras endurecimiento por inducción			Resistencia a la fatiga superficial (tensión máxima en hertzios) (MPa)
			Temp. (°C)	Espesor de capa compuesta (µm)	Temp. (°C)	Tiempo (s)	Espesor de la capa endurecida sometida a tratamiento con nitruro (mm)	Atemperado a 300 °C a una profundidad de 0,2 mm desde la superficie, dureza de Vicker	Densidad de orificios (orificios/mm²)	
	Comp.									
60	Ej. Comp.	33	570	3	920	4,2	0,12	565	2865	2700
61	Ej. Comp.	89	590	10	1000	4,0	0,32	572	3482	2800
62	Ej. Comp.	45	650	4	1000	2,0	0,23	518	1293	2600

Tabla 7

Condiciones de maquinizado	Broca	Otros
Velocidad de maquinizado: 65 m/min Alimentación: 0,17 mm/rev Lubricación: Lubricación de Niebla (MQL)	Tamaño: $\phi 5\text{mm} \times$ longitud 168 mm Material: Carburo Cementado con revestimiento cerámico Cantidad de proyección: 105 mm	Profundidad de apertura: 90 mm Juicio de vida: Número total de orificios hasta que la broca se rompe (valor límite a 1000)

5 Nótese que, lo que se explica anteriormente únicamente ilustra realizaciones de la presente invención. La presente invención se puede modificar de varias formas dentro del alcance del lenguaje de las reivindicaciones.

Aplicabilidad industrial

10 Como se ha explicado anteriormente, por medio de tratamiento con nitruro suave, posterior endurecimiento por inducción, la pieza de acero para uso estructural en máquinas de la presente invención aumenta notablemente la dureza en la superficie del material de acero y aumenta la resistencia al reblandecimiento para, de este modo, proporcionar una elevada resistencia a la fatiga superficial. La presente invención es de alto valor de uso en la industria.

15 Además, las piezas para uso estructural en máquinas de la presente invención se pueden usar para piezas de transmisión de energía en automóviles etc., para las cuales se requiere una elevada resistencia a la fatiga superficial no solo la temperatura ordinaria de curso, sino también en condiciones de uso que son el resultado de una temperatura elevada de aproximadamente 300 °C, por ejemplo, engranajes, transmisiones variables continuas, cojinetes, juntas de velocidad constante, bujes, etc. Contribuyen en gran medida a un rendimiento mayor y menores costes del automóvil, etc. y tienen efectos ventajosos en la industria.

Listado de Señales de Referencia

- 1: distribución de dureza de corte transversal del material de acero sometido a tratamiento con nitruro suave
- 20 2: distribución de dureza de corte transversal del material de acero sometido a tratamiento con nitruro suave y posterior endurecimiento por inducción
- 10: capa endurecida sometida a tratamiento con nitruro
- 20: orificio
- 30: capa porosa
- 40: capa más superficial

REIVINDICACIONES

- 1.- Una pieza de acero para uso estructural en máquinas caracterizada por comprender un acero, en la que el acero consiste en, en % en masa,
- C: de un 0,3 a un 0,6 %,
- 5 Si: de un 0,02 a un 2,0 %,
- Mn: de 0,35 a menos de un 1,5 %,
- Al: de un 0,01 a un 0,5 % y
- además opcionalmente, en % en masa, uno o más de
- W: de un 0,0025 a un 0,5 %,
- 10 Cr: de un 0,2 a un 2,0 %,
- Mo: de un 0,05 a un 1,0 %,
- V: de un 0,05 a un 1,0 %,
- Nb: de un 0,005 a un 0,3 %,
- Ti: de un 0,005 a un 0,2 %,
- 15 Ni: de un 0,05 a un 2,0 %,
- Cu: de 0,01 a 2,0 %,
- Ca: de un 0,0005 a un 0,01 %,
- Mg de un 0,0005 a un 0,01 %,
- Zr de un 0,0005 a un 0,05 % y
- 20 Te de un 0,0005 a un 0,1 %,
- está restringido a
- B: bien menos de un 0,0003 % o de un 0,0003 % a un 0,005 %,
- S: de un 0,0001 a un 0,021 %,
- N: de un 0,003 a un 0,0055 %,
- 25 P: de un 0,0001 a un 0,03 % y
- O: de un 0,0001 a un 0,0050 %,
- tiene una relación de Mn/S y S que cumple de 70 a 30.000,
- tiene un equilibrio de Fe e impurezas inevitables, y
- 30 en la que la pieza de acero tiene una capa superficial endurecida y sometida a tratamiento con nitruro, y en la que la pieza de acero tiene una dureza de Vicker de 650 o más hacia abajo hasta una profundidad de 0,2 mm desde la superficie de dicho acero, y en la que la pieza de acero tiene orificios de 0,1 a 1 μm en un diámetro de círculo equivalente hacia abajo hasta una profundidad de al menos 5 μm desde la superficie de dicha capa endurecida y sometida a tratamiento con nitruro presente en una escala de 10.000 orificios/ mm^2 o más.
- 35 2.- La pieza de acero para uso estructural en máquinas de acuerdo con la reivindicación 1, en la que el acero contiene B: menos de un 0,0003 %.
- 3.- La pieza de acero para uso estructural en máquinas de acuerdo con la reivindicación 1, en la que el acero contiene B: de un 0,0003 % a un 0,005 %.
- 4.- La pieza de acero para uso estructural en máquinas de acuerdo con una cualquiera de la reivindicación 1 a 3, en la que dicho acero contiene, en % en masa, uno o más de
- 40 W: de un 0,0025 a un 0,5 %,

ES 2 731 643 T3

Cr: de un 0,2 a un 2,0 %,

Mo: de un 0,05 a un 1,0 %,

V: de un 0,05 a un 1,0 %,

Nb: de un 0,005 a un 0,3 %,

5 Ti: de un 0,005 a un 0,2 %,

Ni: de un 0,05 a un 2,0 % y

Cu: de 0,01 a 2,0 %.

5.- La pieza de acero para uso estructural en máquinas de acuerdo con una cualquiera de la reivindicación 1 a 4, en la que dicho acero contiene, en % en masa, uno o más de

10 Ca: de un 0,0005 a un 0,01 %,

Mg: de un 0,0005 a un 0,01 %,

Zr: de un 0,0005 a un 0,05 % y

Te: de un 0,0005 a un 0,1 %.

15 6.- La pieza de acero para uso estructural en máquinas de acuerdo con una cualquiera de la reivindicación 1 a 3, en la que dicho acero contiene, en % en masa, uno o más de

W: de un 0,0025 a un 0,5 %,

Cr: de un 0,2 a un 2,0 %,

Mo: de un 0,05 a un 1,0 %,

V: de un 0,05 a un 1,0 %,

20 Nb: de un 0,005 a un 0,3 %,

Ti: de un 0,005 a un 0,2 %,

Ni: de un 0,05 a un 2,0 % y

Cu: de un 0,01 a un 2,0 % y

uno o más de

25 Ca: de un 0,0005 a un 0,01 %,

Mg: de un 0,0005 a un 0,01 %,

Zr: de un 0,0005 a un 0,05 % y

Te: de un 0,0005 a un 0,1 %.

Fig.1

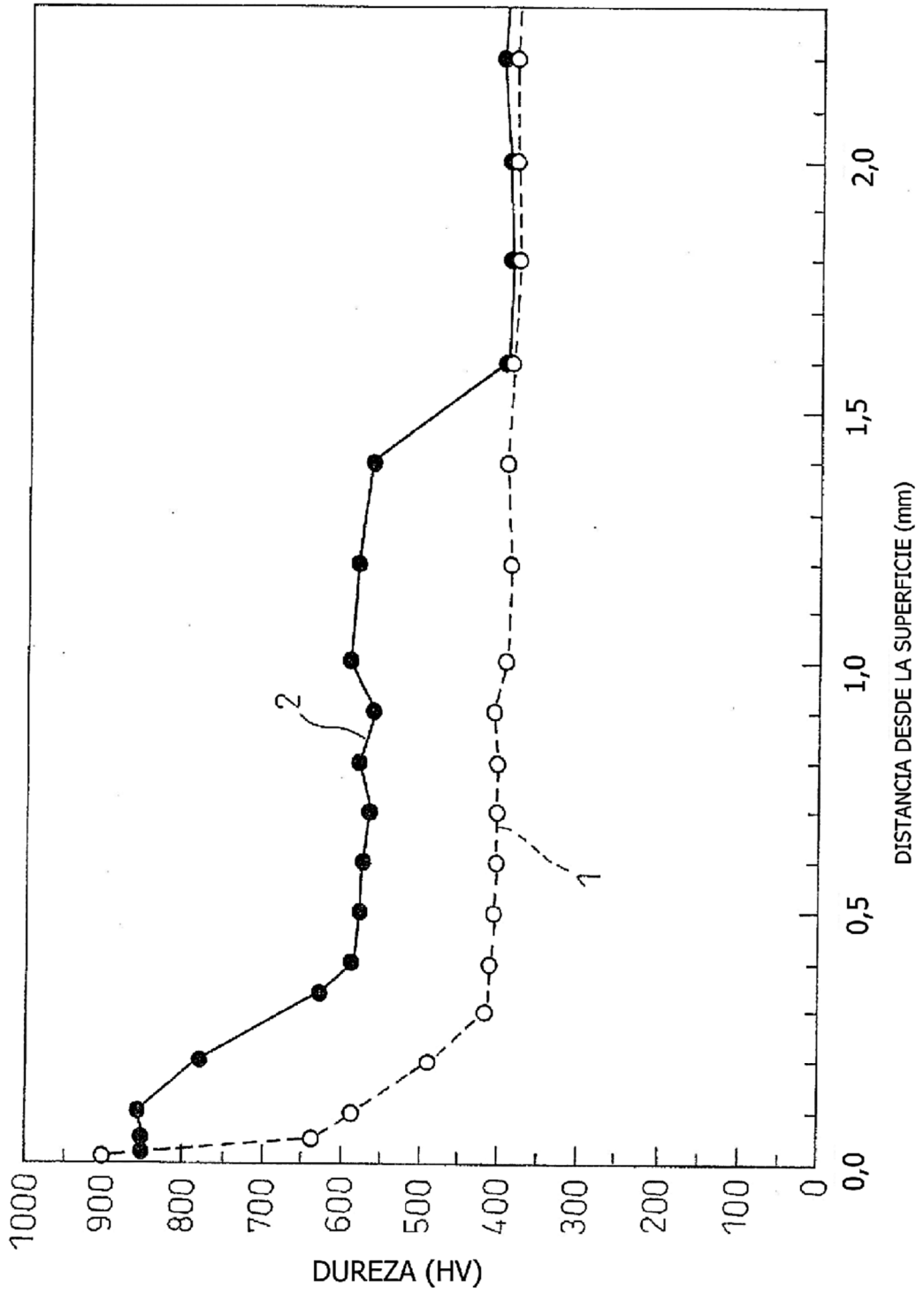
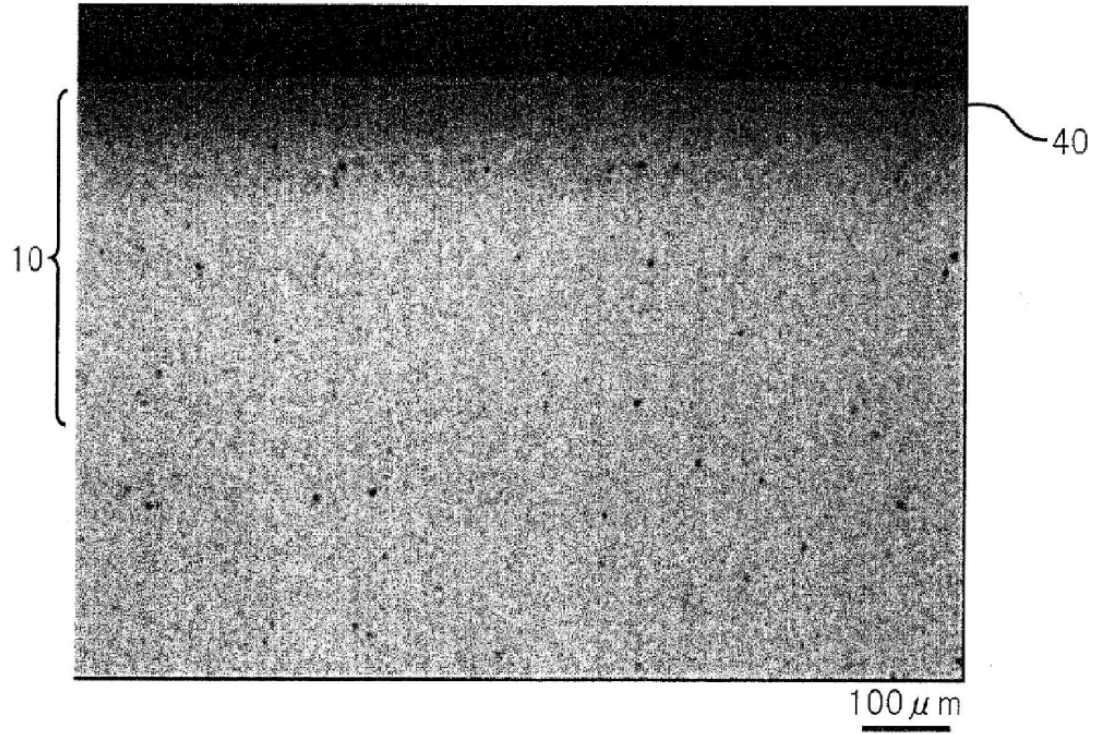


Fig.2

(a)



(b)

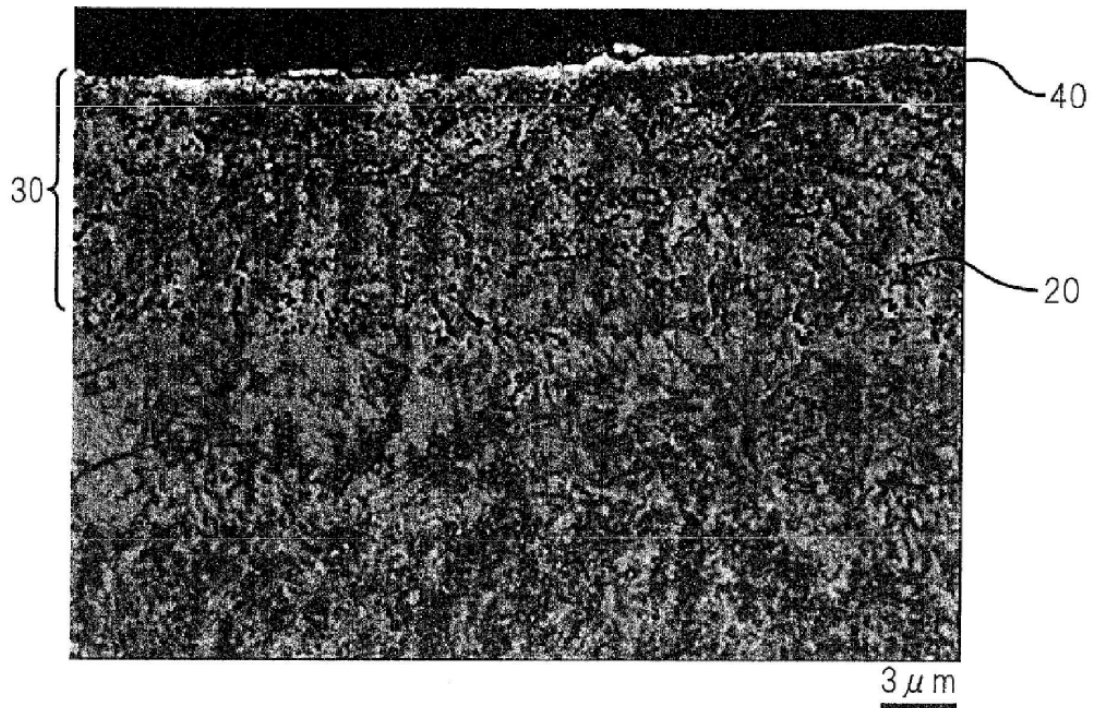


Fig.3

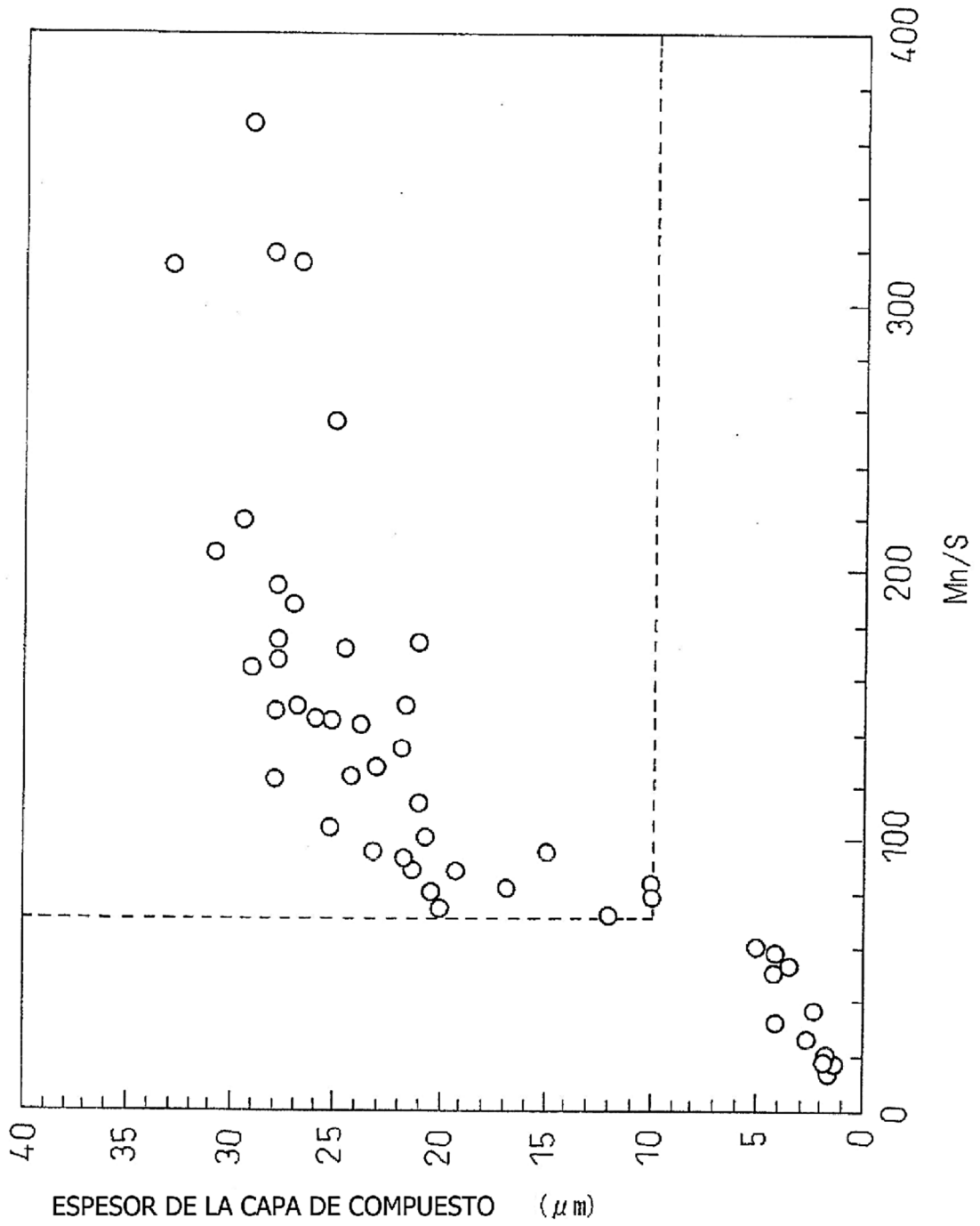


Fig.4

