

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 769 257**

51 Int. Cl.:

<b>C22C 38/00</b>	(2006.01)	<b>C22C 38/42</b>	(2006.01)	<b>C22C 38/04</b>	(2006.01)
<b>C22C 38/60</b>	(2006.01)	<b>C22C 38/44</b>	(2006.01)		
<b>C21D 8/00</b>	(2006.01)	<b>C22C 38/46</b>	(2006.01)		
<b>C21D 9/00</b>	(2006.01)	<b>C22C 38/48</b>	(2006.01)		
<b>C21D 6/00</b>	(2006.01)	<b>C22C 38/58</b>	(2006.01)		
<b>C21D 6/02</b>	(2006.01)	<b>C22C 38/20</b>	(2006.01)		
<b>C21D 8/06</b>	(2006.01)	<b>C22C 38/22</b>	(2006.01)		
<b>C21D 9/52</b>	(2006.01)	<b>C22C 38/24</b>	(2006.01)		
<b>C22C 38/02</b>	(2006.01)	<b>C22C 38/38</b>	(2006.01)		
<b>C22C 38/06</b>	(2006.01)	<b>C21D 1/18</b>	(2006.01)		

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **16.03.2016 PCT/JP2016/058391**

87 Fecha y número de publicación internacional: **22.09.2016 WO16148206**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.03.2016 E 16765035 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.01.2020 EP 3272896**

54 Título: **Acero endurecible por envejecimiento, y método para fabricar componentes que incluyen acero endurecible por envejecimiento**

30 Prioridad:

**16.03.2015 JP 2015052557**

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

**25.06.2020**

73 Titular/es:

**NIPPON STEEL CORPORATION (50.0%)  
6-1, Marunouchi 2-chome, Chiyoda-ku  
Tokyo, JP y  
DENSO CORPORATION (50.0%)**

72 Inventor/es:

**YUYA, MASATO;  
TAKASUGA, MOTOKI;  
MAKINO, TAIZO;  
HIGASHIDA, MASASHI;  
HASEGAWA, TATSUYA;  
NISHIWAKI, TADASHI;  
MORITA, KOUJI;  
ITO, TOSHIMASA;  
TANIMURA, YOSHIRO y  
FUKUOKA, TOMOMITSU**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

**ES 2 769 257 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 endurecible por envejecimiento, y método para fabricar componentes que incluyen acero endurecible por envejecimiento

**Campo técnico**

5 La presente invención se refiere a acero endurecible por envejecimiento. Más específicamente, se refiere al acero para la producción de una pieza mecánicas para automóviles, maquinaria industrial, y maquinaria de construcción que se trabaja para obtener una forma predeterminada mediante forjado en caliente y mecanizado, se trata para lograr un endurecimiento por envejecimiento (en lo sucesivo, se denomina sencillamente "tratamiento de envejecimiento"), y tiene la resistencia y la tenacidad deseadas garantizadas mediante este tratamiento de envejecimiento. Además, la  
10 presente invención también se refiere a dicho método de producción de una pieza que utiliza acero endurecible por envejecimiento.

**Técnica anterior**

Desde los puntos de vista de aumentar el rendimiento del motor, aligerar el peso con el objetivo de mejorar el ahorro de combustible, etc., se requiere que las piezas mecánicas para automóviles, maquinaria industrial, maquinaria de  
15 construcción, etc., tengan una alta resistencia a la fatiga. Si sólo se proporciona acero con una alta resistencia a la fatiga, es posible lograrlo fácilmente utilizando elementos de aleación y/o tratamiento térmico para aumentar la dureza del acero. Sin embargo, en general, las piezas mecánicas se conforman mediante forjado en caliente, luego se mecanizan para terminarlas con formas de producto predeterminadas. Por este motivo, el acero utilizado como material para las piezas mecánicas se debe dotar simultáneamente de una alta resistencia a la fatiga junto con  
20 suficiente maquinabilidad.

En general, la resistencia a la fatiga mejora cuanto mayor es la dureza del material. Por otro lado, en la maquinabilidad, la resistencia al mecanizado y la vida útil tienden a ser inferiores cuanto mayor es la dureza del material. Además, entre las piezas que forman el motor, se requiere que las piezas mecánicas conformadas con precisión permanezcan sin cambios en sus dimensiones durante el uso. Dependiendo del ambiente de uso, estas piezas mecánicas  
25 conformadas con precisión se pueden someter instantáneamente a cargas superiores en comparación con las cargas de magnitudes de uso habitual. También se requiere un límite elástico para que las dimensiones no cambien frente a dichas cargas.

Por lo tanto, se han dado a conocer varias técnicas que pueden proporcionar propiedades todas juntas tales como resistencia a la fatiga, resistencia a la fluencia y maquinabilidad, al mantener la dureza baja en la etapa de conformación donde se requiere una buena maquinabilidad al tiempo que se aumenta la dureza mediante el  
30 tratamiento de envejecimiento en la etapa final del producto donde se requiere resistencia.

Por ejemplo, el documento de patente japonesa publicado nº 2006-37177A (DP 1) describe el "acero endurecible por envejecimiento" obtenido por laminación, forja o soluciónización de acero en el que los elementos endurecedores por precipitación de Mo y V están presentes en cantidades limitadas por fórmulas específicas y un enfriamiento entre una  
35 temperatura de 800 °C y 300 °C a una velocidad media de enfriamiento de 0,05 a 10 °C/s, que tiene, antes del tratamiento de envejecimiento, una fracción de área de estructuras de bainita del 50 % o superior y una dureza de 40 HRC o menos y que tiene, después del tratamiento de envejecimiento, una dureza de 7 HRC o más alta que la dureza antes de realizar el tratamiento de envejecimiento.

El documento de patente japonesa publicado nº 2011-236452A (DP 2) describe el acero bainítico que contiene cantidades específicas de Mo y V como elementos de endurecimiento por precipitación, como un acero excelente en forjabilidad en caliente y maquinabilidad después de la forja en caliente y que puede aumentar su resistencia mediante el endurecimiento por envejecimiento después del mecanizado.

El documento de patente japonesa publicado nº 2000-17374A (DP 3) propone, como acero bainítico de alta resistencia endurecido por envejecimiento para su uso en forja en caliente, un acero bainítico de alta resistencia endurecido por envejecimiento caracterizado por tener un punto de límite elástico o límite elástico al 0,2 % de 900 MPa o más, obtenido por laminación en caliente o forja en caliente de acero que contiene Mo y V, después se enfría según los componentes del acero, haciendo que la dureza sea de 400 HV o menos, haciendo que la estructura tenga una fracción de bainita del 70% o superior, haciendo que el tamaño de grano austenítico de partida sea de 80 µm o menos, después se aplica mecanización o conformación plástica del acero según las necesidades y se aplica un tratamiento de  
45 envejecimiento.  
50

El documento de patente japonesa publicado nº 2013-245363A (DP 4) describe un acero que presenta una alta maquinabilidad y una alta resistencia a la fatiga mediante el ajuste del contenido de los elementos de aleación para satisfacer fórmulas de parámetros específicos y, por lo tanto, reducir relativamente el contenido de Mo al tiempo que se hace que la dureza antes del tratamiento de envejecimiento después de la forja en caliente sea de 290 HV o inferior y que la dureza después del tratamiento de envejecimiento sea de 325 HV o superior.  
55

El documento de patente internacional WO2012/161323A (DP 5) describe una pieza de acero para una estructura de

máquina utilizando enfriamiento y tratamiento térmico después de la forja en caliente para optimizar las formas de carbonitruros de V y las formas de las estructuras bainíticas, que tienen una capacidad de fortalecimiento por precipitación y proporcionan las propiedades de maquinabilidad, resistencia a la fatiga y tenacidad todas juntas.

5 El documento de patente japonesa publicado nº 2013-213254A (DP 6) describe un acero para el forjado en frío y nitruración, excelente en forjabilidad en frío y en capacidad de eliminación de virutas después del forjado en frío y que puede proporcionar una pieza nitrurada forjada en frío con una alta dureza del núcleo, alta dureza superficial y alta profundidad eficaz de capa endurecida.

El documento de patente francesa FR 2990218 A1 describe un acero bainítico microaleado endurecido por envejecimiento.

## 10 **Compendio de la invención**

### **Problema técnico**

Al utilizar el tratamiento de envejecimiento para hacer que las partículas finas de la fase secundaria se precipiten en el acero, es posible obtener una alta resistencia a la fatiga y un alto límite elástico. En este sentido, el acero endurecido por el tratamiento de envejecimiento tiene una tenacidad reducida.

15 El acero con tenacidad reducida aumenta su sensibilidad a las muescas. Si aumenta la sensibilidad a las muescas, la resistencia a la fatiga del acero se ve fácilmente afectada por los pequeños defectos superficiales.

Además, el acero de baja tenacidad sufre una progresión más rápida de las fracturas y fracturas a mayor escala una vez que se producen grietas por fatiga.

20 Asimismo, si el acero tiene una tenacidad demasiado baja, se hace difícil corregir la deformación producida en la forja en caliente por el trabajo en frío.

En el acero descrito en DP 1 se puede ajustar en el contenido de los elementos de aleación para satisfacer fórmulas de parámetros específicos con el fin de obtener una alta capacidad de endurecimiento por envejecimiento, pero la tenacidad no se considera en absoluto.

25 En el acero descrito en DP 2 se ajusta el contenido de los elementos de aleación para satisfacer fórmulas de parámetros específicos con el fin de reducir relativamente el contenido de Mo al tiempo que hace que la dureza antes del tratamiento de envejecimiento sea de 300 HV o inferior después de la forja en caliente y que la dureza después del tratamiento de envejecimiento sea de 300 HV o superior. A este respecto, sin embargo, el acero no está lo suficientemente diseñado para que aumente su dureza después del tratamiento de envejecimiento.

30 El acero descrito en DP 3 tiene un contenido de C que se mantiene bajo en un intervalo de 0,06 a 0,20 %, pero el contenido de V es extremadamente alto en un intervalo del 0,51 al 1,00 %, por lo que el acero se fortalece notablemente mediante endurecimiento por envejecimiento, pero no es excelente en tenacidad.

El acero descrito en DP 4 no está suficientemente diseñado para aumentar la tenacidad y el límite elástico después del tratamiento de envejecimiento.

35 El acero descrito en DP 5 no está suficientemente diseñado para aumentar el límite elástico después del tratamiento de envejecimiento.

El acero descrito en DP 6 es bajo en contenido de N, por lo que los nitruros se producen de manera insuficiente y, como resultado, no se obtiene un excelente límite elástico.

Por lo tanto, un objeto de la presente invención es proporcionar acero endurecible por envejecimiento que satisfaga los siguientes puntos <1> a <3>:

40 <1> Una baja dureza después de la forja en caliente relacionada con la resistencia de mecanizado y la vida útil de la herramienta. Cabe señalar que, en la siguiente explicación, la dureza después de la forja en caliente anterior se denominará "dureza antes del tratamiento de envejecimiento".

<2> La capacidad de proporcionar una pieza mecánica con la resistencia a la fatiga y el límite elástico deseados, mediante el tratamiento de envejecimiento.

45 <3> Una alta tenacidad después del tratamiento de envejecimiento.

Específicamente, un objeto de la presente invención es proporcionar acero endurecible por envejecimiento que tenga una dureza antes del tratamiento de envejecimiento de 340 HV o inferior, una resistencia a la fatiga, explicada más adelante, después del tratamiento de envejecimiento de 480 MPa o superior, un límite elástico al 0,2 %, determinado mediante el método de compensación utilizando una cantidad de deformación plástica prescrita del 0,2 % en un ensayo de tracción realizado utilizando una pieza de ensayo de tracción 14A de la norma JIS que tiene una parte paralela  $\phi$

6, de 800 MPa o superior, y además tiene una energía de absorción a 20 °C después del tratamiento de envejecimiento, evaluada mediante un ensayo de impacto Charpy realizado utilizando una pieza de ensayo estándar con muesca en U que tiene una profundidad de muesca de 2 mm y un radio inferior de muesca de 1 mm descrito en la norma JIS Z 2242, de 25J o superior.

5 **Solución al problema**

Hallazgos (a) a (d)

10 Los autores de la presente invención participaron en evaluaciones y estudios relacionados con la composición química, la estructura, y la relación eficaz de V (cantidad de V disuelto/cantidad total de V) y los valores calculados por fórmulas que utilizan contenidos de elementos específicos para resolver el problema anterior. Específicamente, investigaron las condiciones para obtener una buena tenacidad incluso con acero que proporciona una alta resistencia a la fatiga y un alto límite de elasticidad al provocar la precipitación de las partículas finas de la fase secundaria en el acero debido al envejecimiento. Como resultado, se obtuvieron los siguientes hallazgos (a) a (d).

(a) Limitación de la composición química (C, V, Mo, y Ti)

15 Los elementos que producen deterioro de la tenacidad después del tratamiento de envejecimiento son C, V, Mo, y Ti. Entre éstos, Ti se une con N y/o C para formar TiN y/o TiC. Si se precipita TiN y/o TiC, la resistencia a la fatiga a veces se vuelve más alta, pero se hace que la tenacidad disminuya considerablemente. La intensidad de la acción de Ti en la reducción de la tenacidad es extremadamente grande en comparación con las de V y Mo, que son los elementos que contribuyen al fortalecimiento por precipitación como V. Por este motivo, el Ti debe estar lo más limitado posible.

20 C forma cementita en el acero y se puede convertir en el punto de partida para la fractura intercrystalina. Incluso si el tratamiento del acero que contiene una cantidad de V o Mo excesiva con respecto a la cantidad de C por envejecimiento, permanece parte de la cementita. Tanto V como Mo provocan la precipitación de carburos en los mismos planos cristalinos de la matriz junto con el tratamiento de envejecimiento y, por lo tanto, ayudan a la progresión de las fracturas intercrystalinas y deterioran la tenacidad. Por lo tanto, para aumentar la tenacidad, es necesario reducir el contenido de C, V, y Mo.

25 (b) Limitación de estructura

30 Para aumentar la tenacidad, es necesario hacer que la mayor parte de la estructura sea de bainita fina. Además, hacer que la diferencia de orientación entre los bloques que forman la bainita sea mayor también es esencial para mejorar la tenacidad. Si la diferencia de orientación entre los bloques es pequeña, incluso si se refina el tamaño de los bloques, no se obtiene de manera suficiente el efecto de aumentar la tenacidad. Para ampliar la diferencia de orientación entre bloques, es necesario aumentar la fuerza impulsora en el momento de la transformación bainítica y potenciar la formación de núcleos de bloques con grandes diferencias de orientación. Para obtener estos efectos, se debe aumentar el contenido de C, Mn, Cr, y Mo.

35 Sin embargo, C y Mo tienen el efecto de refinar la estructura y aumentar la tenacidad y la acción de precipitar cementita o carburos y disminuir la tenacidad. En general, C reduce en gran medida la tenacidad y Mo disminuye ligeramente la tenacidad.

(c) Limitación de la relación eficaz de V

40 Para utilizar el fortalecimiento por precipitación mediante V en grado máximo, es necesario limitar la relación eficaz de V, definida como la cantidad de V disuelto con respecto a la cantidad total de V. Si la relación eficaz de V es baja significa que la relación de la cantidad de V que contribuye al fortalecimiento por precipitación es baja y la capacidad de fortalecimiento es baja y no es preferible. No hay límite superior de la relación eficaz de V. Cuanto más cerca de 1, mejor.

(d) Limitación de los valores calculados por fórmulas

Uso de contenidos de elementos específicos y limitación de la cantidad de Ti

45 Para impartir suficiente tenacidad al acero endurecible por envejecimiento que tiene una alta resistencia, los contenidos de C, Mn, Cr, V y Mo deben controlarse de modo que el valor expresado por (2) o (2') que muestra un indicador de tenacidad después del tratamiento del envejecimiento explicado más adelante, se convierte en un valor específico o superior. Asimismo, el contenido de Ti debe tener un valor específico o inferior para que las inclusiones y precipitados nocivos para la tenacidad no estén presentes en el acero.

Hallazgos (e) a (g)

50 A continuación, los autores de la presente invención participaron en evaluaciones y estudios adicionales relacionados con los valores calculados mediante las fórmulas utilizando la composición química y el contenido de elementos específicos. Específicamente, ajustaron los componentes del acero que pudieran garantizar la dureza después del envejecimiento e investigaron las condiciones relacionadas con la dureza antes del envejecimiento y la dureza

después del envejecimiento y la capacidad de endurecimiento por envejecimiento expresada por la diferencia de las mismas. Como resultado, se obtuvieron los siguientes hallazgos (e) a (g).

(e) Limitación de valores calculados por fórmulas utilizando el contenido de elementos específicos

5 Si los contenidos de C, Si, Mn, Cr, V, y Mo están controlados de modo que el valor expresado por la fórmula explicada más adelante (1) o la fórmula (1') se convierte en un intervalo específico, se puede evitar que la dureza antes del tratamiento de envejecimiento anterior aumente en exceso. Por este motivo, cuando se mecaniza bajo diversas condiciones, se puede esperar que la maquinabilidad permita una producción industrial en masa.

(f) Limitación de la composición química (Mo, V, C)

10 Si se reducen los contenidos de Mo, V, y C con el fin de aumentar la tenacidad después del envejecimiento, también se reduce la fuerza impulsora de la precipitación de carbonitruros de V en el momento del envejecimiento. Por este motivo, se reducen los precipitados finos formados debido al envejecimiento, y disminuye la dureza y el límite elástico después del envejecimiento.

(g) Limitación de la composición química (Mn, Cr)

15 Si se aumenta el contenido de Mn y Cr con el fin de aumentar la tenacidad después del envejecimiento, la capacidad de endurecimiento aumenta y la dureza antes del envejecimiento pasa a ser mayor. Con dicha estructura, la estructura se recupera fácilmente en el momento del envejecimiento, por lo que el margen de aumento de la dureza debido al envejecimiento disminuye fácilmente. Si la capacidad de endurecimiento aumenta, la densidad de dislocación móvil que queda en la matriz después del envejecimiento también aumenta fácilmente, por lo que resulta difícil obtener un alto límite elástico.

20 Hallazgos (h) a (j)

A continuación, los autores de la presente invención participaron en evaluaciones y estudios adicionales relacionados con la composición química. Específicamente, se centraron en el hecho de que incluso si aumenta la tenacidad después del envejecimiento al reducir los contenidos de C, V, y Mo y al aumentar los contenidos de Mn y Cr, para provocar que precipiten cantidades suficientes de partículas endurecedoras por precipitación y obtener una suficiente capacidad de endurecimiento por envejecimiento y un alto límite elástico, es necesario aumentar el endurecimiento por precipitación por cantidad de unidad de V. Además, los autores de la presente invención participaron en varios estudios sobre técnicas para aumentar la capacidad de fortalecimiento por precipitación mediante V y obtuvieron los siguientes hallazgos (h) a (j).

(h) Limitación de la composición química (C, N)

30 Al utilizar el fortalecimiento por precipitación mediante V en grado máximo, es suficiente aumentar la fuerza impulsora para la precipitación de carbonitruros de V. Con este fin, es necesario garantizar suficientemente la cantidad de C y la cantidad de N que se va a utilizar para la precipitación de carbonitruros de V en un intervalo que no dificulte la tenacidad.

(i) Limitación de la composición química (N)

35 La fuerza de unión entre N y V es mayor que la fuerza de unión entre C y V, por lo que el efecto de provocar la precipitación de carbonitruros de V es mayor con N que con C.

(j) Limitación de la composición química (C, N)

40 Si el contenido de C y N se vuelve demasiado elevado, V no ingresa en una disolución incluso si se calienta en el momento de la forja en caliente o termina precipitándose en la región austenítica durante la forja. Por este motivo, si se aumenta excesivamente el contenido de C y N, por el contrario, se disminuye la capacidad de fortalecimiento de la precipitación.

La presente invención se realizó en base a los hallazgos anteriores (a) a (j) y se define en las reivindicaciones anexas.

### Efectos ventajosos de la invención

45 El acero endurecible por envejecimiento de la presente invención tiene una dureza antes del tratamiento de envejecimiento de 340 HV o inferior. Además, una pieza mecánica que utiliza el acero endurecible por envejecimiento de la presente invención tiene una resistencia a la fatiga de 490 MPa o superior debido al tratamiento de envejecimiento realizado después del mecanizado. Asimismo, la pieza mecánica tiene una tenacidad (energía de absorción a 20 °C después del tratamiento de envejecimiento evaluado mediante un ensayo de impacto Charpy realizado con una pieza de ensayo estándar con una muesca en U con una profundidad de muesca de 2 mm y un radio inferior de muesca de 1 mm) de 25J o superior. Además, la parte mecánica tiene un límite elástico de 800 MPa o superior. Por este motivo, el acero endurecible por envejecimiento de la presente invención se puede utilizar de manera extremadamente adecuada como material para una parte mecánica de automóviles, maquinaria industrial, maquinaria de construcción,

etc.

**Breve descripción de los dibujos**

[Figura 1] Una vista que muestra la correlación entre la dureza de un material de acero antes del envejecimiento y un valor de F1.

5 [Figura 2] Una vista que muestra la relación entre un valor de impacto Charpy de un material de acero después del envejecimiento y un valor F2.

**Descripción de las realizaciones**

A continuación, se explicarán con detalle los requisitos de la presente invención. Cabe señalar que el "%" del contenido de los elementos significa "% en masa".

10 Acero endurecible por envejecimiento

Componentes esenciales

C: del 0,09 al 0,20 %

15 El C es un elemento importante en la presente invención. C se une con V para formar carburos y fortalecer el acero. Sin embargo, si el contenido de C es inferior al 0,09 %, los carburos de V se vuelven más difíciles de precipitar, por lo que no se puede obtener el efecto de fortalecimiento deseado. Por otro lado, si el contenido de C se vuelve demasiado alto, la cantidad de C que no se une con V o Mo formando carburos con Fe (cementita) aumenta, por lo que la tenacidad termina por degradarse. Por lo tanto, el contenido de C se hace que sea del 0,09 al 0,20 %. El contenido de C se hace que sea preferiblemente del 0,10 % o superior, más preferiblemente se hace que sea del 0,11 % o superior. Además, el contenido de C se hace que sea preferiblemente del 0,18 % o inferior, más preferiblemente se hace que sea del 0,16 % o inferior.

Si: del 0,01 al 0,40 %

25 El Si es útil como elemento desoxidante en el momento de la producción del acero y simultáneamente tiene el efecto de mejorar la resistencia del acero al disolverse en la matriz. Para obtener estos efectos de manera suficiente, se hace que el contenido de Si sea del 0,01 % o superior. Sin embargo, en el acero que contiene Mn y Cr en grandes cantidades, si el contenido de Si se vuelve excesivo, a veces la cantidad de austenita residual de la estructura después de la forja en caliente se vuelve demasiado elevada y la deformación aumenta durante el tratamiento de envejecimiento. Por lo tanto, el contenido de Si se hace que sea del 0,01 a 0,40 %. El contenido de Si se hace que sea preferiblemente del 0,05 % o superior. Además, el contenido de Si se hace que sea preferiblemente del 0,35 % o inferior, más preferiblemente del 0,30 % o inferior.

30 Mn: del 1,5 a 2,5 %

35 El Mn tiene el efecto de mejorar la capacidad de endurecimiento y hacer que la estructura sea bainítica. Además, tiene el efecto de reducir la temperatura de transformación bainítica y, por lo tanto, refinar la estructura bainítica para mejorar la tenacidad de la matriz. Además, el Mn tiene el efecto de formar MnS en el acero para mejorar la capacidad de eliminación de virutas en el momento del mecanizado. Para obtener estos efectos de manera suficiente, el Mn debe tener un contenido de al menos 1,5 %. Sin embargo, el Mn es un elemento que se separa fácilmente en el momento de la solidificación del acero, por lo que, si el contenido se vuelve demasiado grande, la fluctuación de la dureza en una parte después de la forja en caliente se vuelve inevitablemente más grande. Por lo tanto, el contenido de Mn se hace que sea del 1,5 al 2,5 %. El contenido de Mn se hace que sea preferiblemente del 1,6 % o superior, más preferiblemente se hace que sea del 1,7 % o superior. Además, el contenido de Mn se hace que sea preferiblemente del 2,3 % o inferior, más preferiblemente se hace que sea del 2,1 % o inferior.

S: del 0,001 al 0,045 %

45 El S se une con el Mn en el acero para formar MnS y mejora la capacidad de eliminación de virutas en el momento del mecanizado, por lo que debe tener un contenido del 0,001 % o superior. Sin embargo, si el contenido de S se vuelve mayor, aumenta el MnS grueso aumenta y se degradan la tenacidad y la resistencia a la fatiga. En particular, si el contenido de S supera el 0,045 %, la caída en la tenacidad y la resistencia a la fatiga se vuelve considerable. Por lo tanto, el contenido de S se hace que sea del 0,001 al 0,045 %. El contenido de S se hace que sea preferiblemente del 0,005 % o superior, más preferiblemente se hace que sea del 0,010 % o superior. Además, el contenido de S se hace que sea preferiblemente del 0,040 % o inferior, más preferiblemente se hace que sea del 0,035 % o inferior.

Cr: más del 1,00 % al 2,00 %

50 El Cr, como el Mn, tiene el efecto de aumentar la capacidad de dureza y hacer que la estructura sea bainítica. Además, reduce la temperatura de transformación bainítica para refinar la estructura bainítica. Asimismo, tiene el efecto de reducir la facilidad de movimiento de los límites de grano para refinar el tamaño de grano austenítico en el momento

de la forja en caliente y, como resultado, refinar la estructura bainítica después de la transformación. El Cr tiene el efecto de aumentar la dureza de la matriz a través de los efectos de éste en el refinar la estructura bainítica. Para obtener estos efectos de manera suficiente, éste debe incluirse en más del 1,00 %.

5 Sin embargo, si el contenido de Cr supera el 2,0 %, la capacidad de endurecimiento se hace más grande y la dureza antes del tratamiento de envejecimiento a veces supera los 340 HV. Por lo tanto, el contenido de Cr se hace que sea del 1,00 % al 2,00 %. El contenido de Cr se hace que sea preferiblemente del 1,10 % o superior. Además, el contenido de Cr se hace que sea preferiblemente del 1,80 % o inferior, más preferiblemente se hace que sea del 1,60 % o inferior.

Al: del 0,001 al 0,060 %

10 El Al es un elemento que tiene una acción desoxidante. Para obtener este efecto, se requiere su contenido sea del 0,001 % o superior. Sin embargo, si el contenido de Al es excesivo, se forman óxidos gruesos y la tenacidad disminuye. Por lo tanto, el contenido de Al se hace que sea del 0,001 al 0,060 %. El contenido de Al se hace que sea preferiblemente del 0,050 % o inferior.

V: del 0,22 al 0,55 %

15 El V es el elemento más importante en el acero de la presente invención. En el momento del tratamiento de envejecimiento, el V se une con el C para formar carburos finos y, por lo tanto, tiene el efecto de aumentar la resistencia a la fatiga. Además, cuando el acero contiene Mo, el V tiene el efecto de combinarse con el Mo y precipitarse debido al tratamiento de envejecimiento y aumentar aún más la capacidad de endurecimiento por envejecimiento. Para obtener estos efectos, el V debe tener un contenido del 0,22 % o superior. Sin embargo, si el contenido de V se vuelve excesivo, incluso en el calentamiento en el momento de la forja en caliente, los carbonitruros no disueltos permanecen fácilmente dando lugar a una disminución de la tenacidad. Además, si el contenido de V se vuelve excesivo, a veces la dureza antes del tratamiento de envejecimiento termina aumentando. Por lo tanto, el contenido de V se hace que sea del 0,22 al 0,55 %. El contenido de V está preferiblemente por debajo del 0,45 %, más preferiblemente se hace que sea del 0,40 % o inferior. Además, el contenido de V se hace que sea preferiblemente del 0,25 % o superior, más preferiblemente se hace que sea del 0,27 % o superior.

25 N: más del 0,0080 al 0,0170 %

30 El N tiene el efecto de potenciar la precipitación de carbonitruros de V en el momento del envejecimiento y aumentar el límite elástico. Para obtener este efecto de manera suficiente, el contenido de N se hace que sea superior al 0,0080 %. Sin embargo, si el contenido de N excede el 0,0170 %, en el momento de la forja en caliente, los carbonitruros de V no entran en una disolución y en el siguiente momento de envejecimiento la precipitación de una cantidad suficiente de carbonitruros de V finos se vuelve difícil, por lo que disminuye el límite elástico. Por lo tanto, el contenido de N se hace que sea superior al intervalo del 0,0080 al 0,0170 %. El contenido de N se hace que sea preferiblemente del 0,0090 % o superior, más preferiblemente se hace que sea del 0,0100 % o superior. Además, el contenido de N se hace que sea preferiblemente del 0,0160 % o inferior, más preferiblemente se hace que sea del 0,0150 % o inferior.

35 El acero endurecible por envejecimiento de la presente invención se compone de los elementos anteriores de C a N y restos de Fe e impurezas, el P y Ti en las impurezas son P: del 0,03 % o inferior y Ti: inferior al 0,005 %, la fracción de área de la estructura bainítica es del 80 % o superior, y la relación eficaz de V (cantidad de V disuelto/cantidad total de V) es del 0,9 o más.

#### Impurezas

40 Las "impurezas" indican elementos que entran desde los materiales de partida del mineral y residuos del entorno de fabricación, etc., cuando se producen materiales metálicos ferrosos a nivel industrial.

P: del 0,03 % o inferior

El P es un elemento presente como una impureza y no es preferible en la presente invención. Es decir, P se separa en los límites del grano para producir así una disminución de la tenacidad. Por lo tanto, el contenido de P se hace que sea del 0,03 % o inferior. El contenido de P se hace que sea preferiblemente del 0,025 % o inferior.

45 Ti: inferior al 0,005 %

50 El Ti es un elemento presente como una impureza y particularmente no es preferible en la presente invención. Es decir, el Ti se une con el N y/o el C para formar TiN y/o Tic dando lugar a una disminución de la resistencia. En particular, si el contenido llega a ser del 0,005 % o superior, la tenacidad se deteriora enormemente. Por lo tanto, el contenido de Ti se hace que sea del 0,005 %. Para garantizar una buena tenacidad, el contenido de Ti se hace que sea preferiblemente del 0,0035 % o inferior.

#### Estructura

En el acero endurecible por envejecimiento de la presente invención, la fracción de área de la estructura bainítica es del 80% o superior. En la presente memoria, la fracción de área de la estructura bainítica significa la fracción de área

en el caso de observar una estructura metálica en una posición de 1/3 de profundidad a 1/2 de profundidad de espesor desde la superficie del material de acero con un microscopio óptico. Si la fracción de área de la estructura bainítica es del 80 % o superior, se suprime la precipitación de V, la relación eficaz de V se hace mayor, y se puede obtener una alta resistencia a la fatiga y un alto límite de elasticidad al 0,2 %.

5 Relación eficaz de V

La relación eficaz de V (cantidad de V disuelto/cantidad total de V) es de 0,9 o superior. En la presente memoria, la "relación eficaz de V" significa la cantidad de V disuelto en la cantidad total presente en el acero. Si la relación eficaz de V es de 0,9 o superior la cantidad de carbonitruros de V que se precipitan durante el tratamiento de envejecimiento se vuelve mayor y se puede obtener una alta resistencia a la fatiga y un alto límite de elasticidad al 0,2 %.

10 Componentes opcionales

A continuación, se hará referencia a los componentes opcionales que pueden estar presentes en el acero endurecible por envejecimiento de la presente invención.

Mo: del 0,9 % o inferior

15 El Mo, como el V, es un elemento con una temperatura de precipitación de carburos relativamente baja y es adecuado para el endurecimiento por envejecimiento. El Mo tiene el efecto de aumentar la capacidad de endurecimiento, haciendo que la bainita sea la fase principal de la estructura después de la forja en caliente, y de aumentar la fracción de área. El Mo tiene el efecto de formar carburos junto con el V para aumentar la capacidad de endurecimiento por envejecimiento en acero que contiene el 0,22 % o superior de V. Por este motivo, el Mo puede incluirse de acuerdo con la necesidad. Sin embargo, puesto que el Mo es un elemento extremadamente costoso, cuando su contenido  
20 aumenta, el coste de producción del acero aumenta y la resistencia también disminuye. Por lo tanto, cuando está presente, la cantidad de Mo se hace que sea del 0,9 % o inferior. La cantidad de Mo, cuando se incluye, es preferiblemente del 0,75 % o inferior, más preferiblemente del 0,60 % o inferior, y aún más preferiblemente inferior al 0,50 %. Por otro lado, para obtener de manera estable el efecto anterior del Mo, la cantidad de Mo cuando se incluye, deseablemente se hace que sea del 0,05 % o superior, más deseablemente se hace que sea del 0,10 % o superior.

25 Cu: del 0,3 % o inferior

El Cu tiene el efecto de mejorar la resistencia a la fatiga. Por este motivo, el Cu se puede incluir según se necesite. Sin embargo, si aumenta el contenido de Cu, disminuye la trabajabilidad en caliente. Por lo tanto, cuando está presente el Cu, la cantidad se hace que sea del 0,3 % o inferior. La cantidad de Cu, cuando se incluye, preferiblemente se hace que sea del 0,25 % o inferior. Por otro lado, para obtener de forma estable el efecto de elevar la resistencia a la fatiga  
30 del Cu, la cantidad de Cu, cuando se incluye, deseablemente se hace que sea del 0,1% o superior.

Ni: del 0,3 % o inferior

El Ni tiene el efecto de mejorar la resistencia a la fatiga. Además, el Ni también tiene el efecto de suprimir la caída de la trabajabilidad en caliente debido al Cu. Por este motivo, el Ni se puede incluir según se necesite. Sin embargo, cuando el contenido de Ni aumenta, el coste aumenta y, además, los efectos anteriores también se saturan. Por lo tanto, cuando se incluye el Ni, se hace en una cantidad que sea del 0,3 % o inferior. La cantidad de Ni, cuando se incluye, preferiblemente se hace que sea del 0,25 % o inferior. Por otro lado, para obtener de manera estable los efectos anteriores del Ni, la cantidad de Ni cuando está presente, deseablemente se hace que sea del 0,1 % o superior.

Los anteriores Cu y Ni se pueden incluir como un solo tipo de uno de los mismos o como dos tipos combinados. El contenido total de los elementos, cuando se incluyen, puede ser del 0,6 % del caso donde los contenidos de Cu y Ni están en sus respectivos valores límite superiores.

40 Ca: del 0,005 % o inferior

El Ca tiene el efecto de alargar la vida útil. Por este motivo, el Ca se puede incluir de acuerdo con la necesidad. Sin embargo, si el contenido de Ca se hace mayor, se forman óxidos gruesos y se reduce la tenacidad. Por lo tanto, la cantidad de Ca, cuando se incluye, se hace que sea del 0,005 % o inferior. El contenido de Ca, cuando se incluye, preferiblemente se hace que sea del 0,0035 % o inferior. Por otro lado, para obtener de manera estable el efecto del Ca en el aumento de la vida útil, la cantidad de Ca cuando se incluye, deseablemente se hace que sea del 0,0005 % o superior.

Bi: del 0,4% o inferior

El Bi tiene el efecto de reducir la resistencia de mecanizado y aumentar la vida útil. Por este motivo, el Bi se puede incluir de acuerdo con la necesidad. Sin embargo, si el contenido de Bi aumenta, provoca una caída en la trabajabilidad en caliente. Por lo tanto, la cantidad de Bi, cuando se incluye, se hace que sea del 0,4 % o inferior. La cantidad de Bi, cuando se incluye, preferiblemente se hace que sea del 0,3 % o inferior. Por otro lado, para obtener el efecto del Bi en la prolongación de la vida útil, la cantidad de Bi, cuando se incluye, deseablemente se hace que sea del 0,03 % o superior.

Los anteriores Ca y Bi se pueden incluir como un solo tipo de uno de los mismos o como dos tipos combinados. El contenido total de los elementos, cuando se incluyen, se puede hacer que sea del 0,405 % del caso en el que los contenidos de Ca y Bi están en sus respectivos valores límite superiores, pero preferiblemente se hace que sea del 0,3 % o inferior.

**5 Valores calculados mediante fórmulas utilizando contenidos de elementos específicos: F1 (F1') y F2 (F2')**

El acero endurecible por envejecimiento de la presente invención satisface las condiciones de la composición química anteriormente mencionada (componentes esenciales y componentes opcionales), estructura y relación eficaz de V. Además, los valores F1 (F1') y F2 (F2') calculados mediante fórmulas que utilizan contenidos de elementos específicos deben ser de 1,00 o inferior y de 0,30 o superior, respectivamente.

- 10 Primero, se explicará el valor F1 (F1') calculado mediante una fórmula que utiliza el contenido de elementos específicos.

Es decir, cuando los elementos opcionales de Mo a Bi no están presentes, F1 se expresa mediante la fórmula

$$F1 = C + 0,1 \times Si + 0,2 \times Mn + 0,15 \times Cr + 0,35 \times V \dots (1)$$

- 15 es 1,00 o inferior, y cuando uno o más elementos opcionales de Mo a Bi están presentes, F1' se expresa mediante la fórmula

$$F1' = C + 0,1 \times Si + 0,2 \times Mn + 0,15 \times Cr + 0,35 \times V + 0,2 \times Mo \dots (1')$$

es 1,00 o inferior.

Cabe señalar que, en la fórmula (1) y la fórmula (1') anteriores, los símbolos de los elementos significan el contenido de esos elementos en % en masa.

- 20 F1 y F1' son indicadores que muestran la dureza antes del tratamiento de envejecimiento. Si el acero endurecible por envejecimiento de la presente invención satisface las condiciones relacionadas con las fórmulas F1 y F1' anteriores, la dureza antes del tratamiento de envejecimiento no es demasiado alta, la resistencia al mecanizado en el momento del mecanizado no es alta y se logra una vida útil más larga.

- 25 F1 y F1' son preferiblemente de 0,97 o inferior, más preferiblemente de 0,95 o inferior. Además, F1 y F1' son preferiblemente de 0,60 o superior, más preferiblemente de 0,65 o superior.

La Figura 1 es un gráfico que muestra la relación entre la dureza antes del envejecimiento (ordenada; HV) y los valores de F1 de varios tipos de acero (abscisa). Como se desprende del gráfico de la Figura 1, se descubre una fuerte correlación positiva primaria entre los dos. Si  $F1 \leq 1,00$  o inferior, se considera que la dureza antes del envejecimiento es  $\leq 340$  HV.

- 30 A continuación, se explicará el valor F2 (F2') calculado mediante una fórmula que utiliza contenidos de elementos específicos.

Es decir, cuando los elementos opcionales de Mo a Bi no están presentes, F2 se expresa mediante la fórmula

$$F2 = -4,5 \times C + Mn + Cr - 3,5 \times V \dots (2)$$

- 35 es 0,30 o superior y cuando uno o más elementos opcionales de Mo a Bi están presentes, F2' se expresa mediante la fórmula

$$F2' = -4,5 \times C + Mn + Cr - 3,5 \times V - 0,8 \times Mo \dots (2')$$

es 0,30 o inferior.

Cabe señalar que, en la fórmula (2) y la fórmula (2') anteriores, los símbolos de los elementos significan los contenidos de esos elementos en % en masa.

- 40 F2 y F2' son indicadores que muestran la tenacidad después del tratamiento de envejecimiento. Es decir, al satisfacer la condición de F1 o F1', a veces la tenacidad después del envejecimiento disminuye y la tenacidad objetivo no se puede garantizar, por lo que es necesario prescribir por separado F2 y F2'.

- 45 La Figura 2 es una vista que muestra una relación entre un valor de impacto Charpy de un material de acero después del envejecimiento y un valor F2. Como se muestra en esta figura, se observa una relación correlativa positiva entre el valor de impacto de Charpy (J) después del tratamiento de envejecimiento y el valor de F2 (abscisa). Cuando F2 o F2' es inferior a 0,30, la tenacidad después del tratamiento de envejecimiento no se obtiene de manera suficiente. Para obtener un límite elástico de 800 MPa o superior, al tiempo que se garantiza la tenacidad deseada, es necesario hacer que los contenidos de los elementos de aleación anteriores que se sitúan dentro de los intervalos prescritos, satisfagan las condiciones de F1 y F1' y satisfagan las condiciones de F2 o F2'.

F2 y F2' son preferiblemente de 0,45 o superior, más preferiblemente son de 0,60 o superior.

5 Cabe señalar que, si F2 llega a ser alta, a menudo la dureza antes del envejecimiento también llega a ser alta. Sin embargo, siempre que F1 esté controlada a 1,00 o inferior, incluso si F2 es alta, la dureza antes del envejecimiento no será demasiado alta y no se degradará la maquinabilidad. En consecuencia, no hay necesidad de establecer un límite superior para F2. Del mismo modo, si F1' es de 1,00 o inferior, no hay necesidad de establecer particularmente un límite superior para F2'.

**Método de producción de acero endurecible por envejecimiento**

El método de producción del acero endurecible por envejecimiento de la presente invención no está particularmente limitado. Se puede utilizar un método general para fundir el acero y ajustar la composición química.

10 **Método de producción de piezas utilizando acero endurecible por envejecimiento**

A continuación, se mostrará un ejemplo del método de producción de una pieza mecánica para automóviles, maquinaria industrial, maquinaria de construcción, etc., utilizando como material el acero endurecible por envejecimiento de la presente invención, que se produce de la siguiente manera.

15 Primero, se prepara un material utilizado para forja en caliente (en lo sucesivo, denominado "material para uso en forja en caliente") a partir de un acero con una composición química ajustada al intervalo anteriormente mencionado. Como material para uso en forja en caliente, se puede utilizar una palanquilla obtenida por desbaste de un lingote, una palanquilla obtenida por desbaste de un material de colada continua, o varillas de acero obtenidas por laminación en caliente o forja en caliente de estas palanquillas, etc.

20 A continuación, el material para uso en forja en caliente se forja en caliente y se mecaniza para terminar el material trabajado con una forma de pieza predeterminada. Cabe señalar que la forja en caliente se realiza, por ejemplo, calentando el material para uso en forja en caliente a una temperatura 1.100 a 1.350 °C durante un período de tiempo de 0,1 a 300 minutos, a continuación se deja que la temperatura de la superficie después de la forja final caiga a 900 °C o más, y luego se enfría hasta la temperatura ambiente a una velocidad media de enfriamiento de 10 a 90 °C/min en la región de temperatura de 800 a 400 °C.

25 Además, el material trabajado enfriado de ahí obtenido se mecaniza posteriormente para terminarlo en una forma de pieza predeterminada.

30 Finalmente, el material trabajado se somete a tratamiento de envejecimiento para obtener una pieza mecánica para un automóvil, maquinaria industrial, maquinaria de construcción, etc. provista de las características deseadas. El tratamiento de envejecimiento se realiza, por ejemplo, en la región de temperatura de 540 a 700 °C, preferiblemente de 560 a 680 °C. El tiempo de retención del tratamiento de envejecimiento se ajusta según el tamaño (masa) de la pieza mecánica para la inmersión, aunque puede ser de 30 a 1.000 minutos.

**Ejemplo 1**

35 Los aceros 2 a 10, 13, 14 y 16 a 27 de las composiciones químicas mostradas en la Tabla 1 se fundieron en un horno de fusión al vacío de 50 kg. Los aceros 2 a 10, 13, 14, 16 y 17 en la Tabla 1 son aceros con composiciones químicas dentro de los intervalos prescritos en la presente invención. Por otro lado, los aceros 18 a 27 en la Tabla 1 son aceros con composiciones químicas fuera de las condiciones prescritas por la presente invención.

Tabla 1

Nombre de tipo de acero	Componentes														Fracción de área de las estructuras bainíticas (%)	Relación eficaz de V	F1 F1'	P2 P2'
	% en masa (resto: Fe e impurezas)																	
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Al	V	N	Mo	Ti	Otros				
2	0,12	0,06	2,16	0,010	0,015	0,11	0,13	1,22	0,022	0,35	0,0161	0,05	0,001		100	0,98	0,87	1,58
3	0,10	0,30	2,00	0,011	0,013	<0,01	<0,01	1,20	0,018	0,45	0,0090	<0,01	<0,001		100	0,99	0,87	1,18
4	0,13	0,34	1,85	0,012	0,016	<0,01	<0,01	1,35	0,025	0,39	0,0099	<0,01	<0,001		100	0,99	0,87	1,25
5	0,13	0,20	1,81	0,012	0,015	0,01	0,01	1,38	0,025	0,32	0,0115	0,39	<0,001		100	0,99	0,91	1,17
6	0,16	0,06	1,55	0,008	0,023	<0,01	<0,01	1,52	0,005	0,29	0,0089	0,35	<0,001		100	0,99	0,88	1,06
7	0,16	0,10	1,55	0,009	0,022	0,21	0,11	1,23	0,016	0,30	0,0126	0,05	0,001		100	0,98	0,78	0,97
8	0,12	0,19	1,71	0,006	0,006	0,01	0,01	1,20	0,019	0,31	0,0126	0,30	0,001	+0,001Ca	100	0,98	0,83	1,05
9	0,12	0,20	1,72	0,005	0,005	0,01	0,01	1,21	0,018	0,30	0,0146	0,30	0,001	+0,015Bi	100	0,98	0,83	1,10
10	0,13	0,20	1,75	0,011	0,016	0,01	0,01	1,20	0,022	0,32	0,0146	0,30	0,001		100	0,98	0,85	1,01
13	0,11	0,20	1,78	0,010	0,016	<0,01	<0,01	1,50	0,029	0,42	0,0149	0,15	<0,001		100	0,98	0,89	1,20
14	0,14	0,15	1,65	0,010	0,014	<0,01	<0,01	1,11	0,031	0,23	0,0111	0,49	<0,001		100	0,99	0,83	0,93
16	0,12	0,06	2,25	0,022	0,024	0,01	0,01	1,12	0,011	0,35	0,0133	0,01	<0,001		100	0,99	0,87	1,60
17	0,12	0,31	1,86	0,011	0,020	<0,01	<0,01	1,75	0,023	0,42	0,0129	0,32	<0,001		100	0,98	1,00	1,34
18	0,16	0,34	2,25	0,015	0,015	<0,01	<0,01	1,70	0,024	0,41	0,0126	0,12	<0,001		48	0,98	1,07	1,70
19	0,14	0,20	1,59	0,015	0,033	<0,01	<0,01	1,02	0,029	0,45	0,0126	0,16	<0,001		100	0,98	0,82	0,28
20	0,16	0,16	1,55	0,021	0,029	<0,01	0,11	1,03	0,011	0,45	0,0110	<0,01	<0,001		100	0,98	0,80	0,29
21	0,15	0,19	1,82	0,013	0,019	<0,01	<0,01	1,29	0,020	0,39	0,0111	<0,01	0,012		100	0,97	0,86	1,07
22	0,08	0,20	1,75	0,010	0,019	<0,01	<0,01	1,39	0,026	0,30	0,0129	0,11	<0,001		100	0,99	0,79	1,64
23	0,23	0,05	1,79	0,010	0,021	<0,01	<0,01	1,49	0,026	0,23	0,0103	0,15	<0,001		100	0,98	0,93	1,32
24	0,13	0,10	1,61	0,010	0,021	<0,01	<0,01	1,13	0,026	0,30	0,0021	0,09	<0,001	+0,005Nb	100	0,99	0,75	1,03
25	0,13	0,11	1,65	0,005	0,018	<0,01	<0,01	1,11	0,022	0,30	0,0229	0,08	<0,001	+0,005Nb	100	0,89	0,76	1,06
26	0,11	0,10	1,59	0,010	0,024	<0,01	<0,01	1,02	0,025	0,30	0,007	0,06	<0,001		100	0,99	0,71	1,02
27	0,11	0,33	1,55	0,01	0,020	<0,01	<0,01	0,20	0,019	0,25	0,0135	0,01	<0,001		69	0,86	0,57	0,37

Se calentaron los lingotes de los diversos aceros a 1.250 °C, luego se forjaron en caliente formando barras de acero de diámetros de 60 mm. Se enfriaron las varillas de acero forjado en caliente a temperatura ambiente en la atmósfera. Después de eso, se calentaron a 1.250 °C durante 30 minutos, luego visualizando la forja en forma de pieza, se forjaron en caliente conformando varillas de acero con un diámetro de 35 mm, al tiempo que las temperaturas de la superficie de las varillas forjadas en el momento del acabado se mantuvieron desde 950 a 1.100 °C. Después de la forja en caliente, se enfriaron todas las varillas a temperatura ambiente en la atmósfera. La velocidad de enfriamiento en el momento de permitir que las varillas se enfriaran en la atmósfera se midió después enterrando un termopar cerca de R/2 de las varillas de acero forjadas en caliente en las condiciones anteriores ("R" indica el radio de las varillas de acero), elevando nuevamente la temperatura hasta cerca de la temperatura de acabado de la forja en caliente, permitiendo luego que las varillas se enfriaran en la atmósfera. La velocidad media de enfriamiento en la región de temperatura de 800 a 400 °C después de la forja medida de esta manera fue de aproximadamente 40 °C/min.

Para cada acero, una parte de las varillas de acero forjadas en caliente hasta un diámetro de 35 mm, se enfrió luego a temperatura ambiente, en el estado no sometido a un tratamiento de envejecimiento (es decir, en el estado en que se enfrió), se cortaron las dos partes finales de las varillas de acero en 100 mm de longitud, luego se cortaron las piezas de ensayo de las partes centrales restantes y se determinó la dureza antes del tratamiento de envejecimiento.

Por otro lado, para cada acero, se sometió el resto de las varillas de acero forjado en caliente a envejecimiento manteniéndolas a una temperatura de 600 a 630 °C durante un periodo de tiempo de 60 a 180 minutos, se cortaron las dos partes finales de las varillas de acero en 100 mm de longitud, luego se recortaron las piezas de ensayo de las partes centrales restantes y se determinó la dureza después del tratamiento de envejecimiento. Además, para cada acero, se recortaron las piezas de ensayo de las varillas de acero y se determinó la energía de absorción en un ensayo de impacto Charpy, resistencia a la fatiga, y límite elástico después del tratamiento de envejecimiento.

Se midió la dureza de la siguiente manera. Primero, se cortó una varilla de acero, se enterró en resina para que la superficie de corte fuese la superficie medida, luego se pulió con un acabado de espejo para preparar una pieza de ensayo. A continuación, basándose en el "Ensayo de dureza Vickers - Método de ensayo" según la norma JIS Z 2244 (2009), se midieron 10 puntos cerca de la Parte R/2 de la superficie medida ("R" que indica el radio) para determinar la dureza con una fuerza de ensayo de 9,8 N. Se promediaron aritméticamente los valores de los 10 puntos anteriores para obtener la dureza Vickers. Cuando la dureza antes del tratamiento de envejecimiento fue de 340 HV o menos, se consideró que la producción en masa era industrialmente posible incluso con piezas mecanizadas en diversas condiciones. Esto se consideró el objetivo. La pieza de ensayo después de la medición de la dureza se corroyó con Nital y se observó la estructura, por lo que la estructura de la pieza de ensayo de cada acero también fue principalmente bainítica con algunas estructuras de MA mezcladas.

Se evaluó la dureza después del tratamiento de envejecimiento mediante un ensayo de impacto Charpy realizado con una pieza de ensayo estándar con muesca en U con una profundidad de muesca de 2 mm y un radio inferior de muesca de 1 mm. Cuando la energía de absorción a una temperatura de ensayo de 20 °C fue de 25J o más, se consideró lo suficientemente alta. Esto se consideró el objetivo.

Se determinó la resistencia a la fatiga fabricando una probeta de ensayo de fatiga por flexión giratoria de tipo Ono con un diámetro de la parte paralela de 8 mm y una longitud de 106 mm. Es decir, la pieza de ensayo anterior se tomó para que el centro de la pieza de ensayo de fatiga se convierta en la parte R/2 de una varilla de acero. Se realizó un ensayo de fatiga por flexión giratoria de tipo Ono ocho veces en aire a temperatura ambiente con la condición de que la relación de tensiones fuese de -1. El valor máximo de la amplitud de tensión se tomó como la resistencia a la fatiga antes de producirse la rotura hasta que el número de repeticiones alcanzó  $1,0 \times 10^7$ . Cuando la resistencia a la fatiga fue de 490 MPa o más, se consideró que la resistencia a la fatiga era lo suficientemente alta y esto se convirtió en el objetivo.

Se realizó un ensayo de tracción utilizando una probeta de ensayo de tracción de 14A según la norma JIS que tenía una parte paralela  $\phi 6$ , se encontró el límite de elasticidad al 0,2% mediante el método de compensación utilizando una deformación plástica prescrita del 0,2%, y el límite de elasticidad se hizo igual a esto. Cuando el límite de elasticidad fue de 800 MPa o más, se consideró lo suficientemente alto y se convirtió en el objetivo. La Tabla 2 muestra los resultados de las evaluaciones.

Tabla 2

Nº de ensayo	Nombre del tipo de acero	Antes del envejecimiento	Después del envejecimiento			
		Dureza	Dureza	Resistencia a la fatiga	Límite elástico	Valor de impacto
		HV	HV	MPa	MPa	J
A2	2	309	330	530	885	77
A3	3	300	335	530	925	61
A4	4	293	329	520	884	50
A5	5	319	353	565	955	49
A6	6	320	352	550	940	38
A7	7	310	350	545	941	40
A8	B	299	331	535	886	50
A9	9	295	330	540	883	45
A10	10	300	333	540	899	42
A13	13	300	332	540	915	58
A14	14	295	323	535	861	39
A16	16	305	330	520	890	66
A17	17	335	364	545	960	54
B1	18	<u>351</u>	360	560	978	46
B2	19	291	344	535	940	<u>22</u>
B3	20	310	355	560	955	<u>19</u>
B4	21	301	349	535	953	<u>9</u>
B5	22	280	293	<u>485</u>	<u>790</u>	84
B6	23	326	339	520	895	<u>16</u>
B7	24	266	292	<u>485</u>	<u>775</u>	72
B8	25	263	282	<u>470</u>	<u>744</u>	66
B9	26	260	280	<u>475</u>	<u>748</u>	81
B10	27	261	273	<u>460</u>	<u>715</u>	65

5 Como se desprende de la Tabla 2, en el caso de los "ejemplos de invención" de los ensayos nºs A2 a A10, A13, A14, A16 y A17 que tienen la composición química, estructura y relación eficaz de V de (cantidad de V disuelto/cantidad total de V) prescritos en la presente invención y los valores calculados mediante las fórmulas que utilizan los contenidos de elementos específicos, la dureza antes del tratamiento de envejecimiento pasa a ser de 340 HV o menos, mientras que debido al tratamiento de envejecimiento, la resistencia a la fatiga pasa a ser de 510 MPa o más, el límite elástico pasa a ser de 815 MPa o más, y la energía de absorción en el ensayo de impacto Charpy pasa a ser de 36J o más. Por este motivo, se alcanzan todos los valores objetivo, de modo que se puede obtener tanto resistencia como tenacidad después del tratamiento de envejecimiento, y la dureza antes del tratamiento de envejecimiento también es baja, por lo que se puede esperar una caída en la resistencia al mecanizado y una mayor vida útil.

10 A diferencia de esto, en el caso de los "ejemplos comparativos" de los ensayos nºs B1 a B10, que están fuera de lo prescrito en la presente invención, no se puede obtener al menos una de las actuaciones específicas.

**Aplicabilidad industrial**

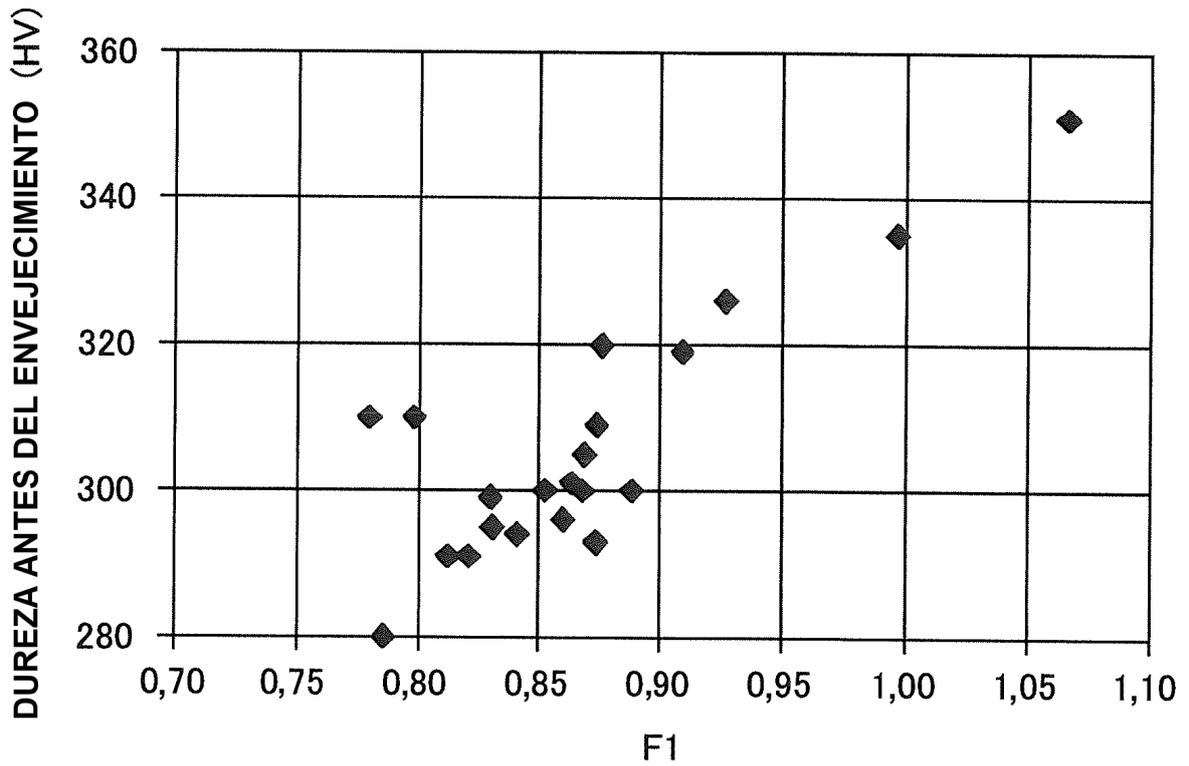
15 El acero endurecible por envejecimiento de la presente invención puede garantizar una dureza adecuada antes del

5 tratamiento de envejecimiento (de 340 HV o menos) y promete una caída de la resistencia al mecanizado y una mayor vida útil. Además, si se utiliza el acero endurecible por envejecimiento de la presente invención, debido al tratamiento de envejecimiento realizado después del mecanizado, se pueden garantizar una resistencia a la fatiga adecuada (de 490 MPa o más), límite elástico (de 800 MPa o más) y valor de impacto (de 25J o más). Por este motivo, el acero endurecible por envejecimiento de la presente invención se puede utilizar de manera sumamente adecuada como material para piezas mecánicas en automóviles, maquinaria industrial, maquinaria de construcción, etc.

**REIVINDICACIONES**

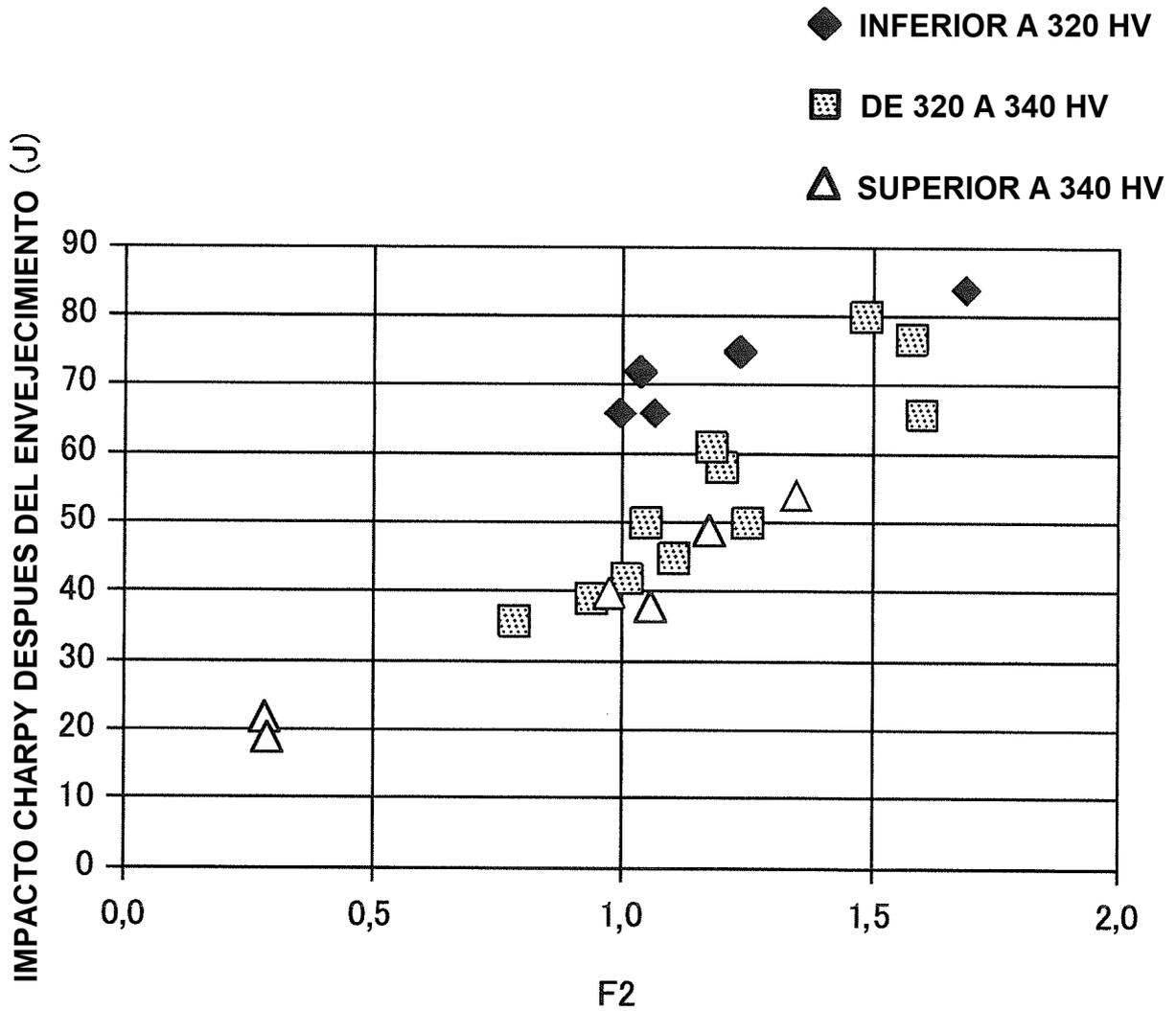
- 5 1. Acero endurecible por envejecimiento que comprende, en % en masa, C: del 0,09 % al 0,20 %, Si: del 0,01 % al 0,40 %, Mn: del 1,5 % al 2,5 %, S: del 0,001 % al 0,045 %, Cr: más del 1,00 % al 2,00 %, Al: del 0,001 % al 0,060 %, V: del 0,22 % al 0,55 %, N: más del 0,0080 % al 0,0170 %, opcionalmente Mo: del 0,9 % o inferior, además opcionalmente uno o más de Cu: del 0,3 % o inferior y Ni: del 0,3 % o inferior, y además opcionalmente uno o más de Ca: del 0,005 % o inferior y Bi: del 0,4 % o inferior, y restos de Fe e impurezas, siendo P y Ti en estas impurezas P: del 0,03 % o inferior y Ti: inferior al 0,005 %, en donde
- una fracción de área de las estructuras bainíticas es del 80 % o superior,
- una relación eficaz de V que es la cantidad de V disuelto/cantidad total de V, es del 0,9 o más, y
- 10 una composición química es una en la que el F1 expresado mediante la siguiente fórmula (1') es de 1,00 o menos y el F2 expresado mediante la siguiente fórmula (2') es de 0,30 o más:
- $$F1 = C + 0,1 \times Si + 0,2 \times Mn + 0,15 \times Cr + 0,35 \times V + 0,2 \times Mo \dots (1')$$
- $$F2 = -4,5 \times C + Mn + Cr - 3,5 \times V - 0,8 \times Mo \dots (2')$$
- 15 en donde, en las fórmulas anteriores (1') y (2'), los símbolos de los elementos significan el contenido de los elementos en % en masa.
2. El acero endurecible por envejecimiento de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende Mo: del 0,9 % o inferior.
3. El acero endurecible por envejecimiento de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, que comprende uno o más de Cu: el 0,3 % o inferior y Ni: el 0,3 % o inferior.
- 20 4. Acero endurecible por envejecimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, que comprende uno o más de Ca: el 0,005 % o inferior y Bi: el 0,4 % o inferior.
5. Un método para producir una pieza utilizando un acero endurecible por envejecimiento, que comprende:
- 25 una etapa de forja para calentar el acero endurecible por envejecimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4 a una temperatura de 1.100 a 1.350 °C durante un período de tiempo de 0,1 a 300 minutos, a continuación se forja de modo que la temperatura de la superficie después de terminar la forja sea de 900 °C o más, después se enfría hasta temperatura ambiente mientras se hace que la velocidad media de enfriamiento en una región de temperatura de 800 a 400 °C sea una velocidad de 10 a 90 °C/min,
- una etapa de mecanizado que mecaniza el acero después de la forja, y
- una etapa de tratamiento de envejecimiento que mantiene el acero después del mecanizado en la región de temperatura de 540 a 700 °C durante un período de tiempo de 30 a 1.000 minutos.
- 30

FIG. 1



EFFECTO DE F1 SOBRE LA DUREZA ANTES DEL ENVEJECIMIENTO

FIG. 2



EFEECTO DE F2 SOBRE EL VALOR DE IMPACTO CHARPY DESPUES DEL ENVEJECIMIENTO