

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 714 861**

51 Int. Cl.:

<b>C22C 38/00</b>	(2006.01) <b>C21D 9/00</b>	(2006.01)
<b>C22C 38/46</b>	(2006.01) <b>C21D 1/18</b>	(2006.01)
<b>C22C 38/54</b>	(2006.01) <b>C21D 9/30</b>	(2006.01)
<b>C22C 38/02</b>	(2006.01) <b>C21D 7/13</b>	(2006.01)
<b>C22C 38/04</b>	(2006.01)	
<b>C22C 38/06</b>	(2006.01)	
<b>C22C 38/42</b>	(2006.01)	
<b>C22C 38/44</b>	(2006.01)	
<b>C22C 38/48</b>	(2006.01)	
<b>C21D 6/00</b>	(2006.01)	

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **07.11.2014 PCT/JP2014/079629**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **25.06.2015 WO15093179**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.11.2014 E 14872514 (6)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.02.2019 EP 3085804**

54 Título: **Acero de alta resistencia para piezas forjadas de acero y pieza forjada de acero**

30 Prioridad:

**19.12.2013 JP 2013262720**

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

**30.05.2019**

73 Titular/es:

**KABUSHIKI KAISHA KOBE SEIKO SHO (KOBE STEEL, LTD.) (100.0%)  
2-4, Wakinohama-Kaigandori 2-chome, Chuo-ku  
Kobe-shi, Hyogo 651-8585, JP**

72 Inventor/es:

**TAKAOKA, HIROYUKI y  
IKEGAMI, TOMONORI**

74 Agente/Representante:

**UNGRÍA LÓPEZ, Javier**

ES 2 714 861 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 de alta resistencia para piezas forjadas de acero y pieza forjada de acero

### 5 **Campo técnico**

La presente invención se refiere a un acero de alta resistencia para piezas forjadas de acero y a una pieza forjada de acero.

### 10 **Antecedentes de la técnica**

Se requiere una alta resistencia a la fatiga, combinada con una alta resistencia a la tracción de 850 MPa o superior, en materiales de acero que se utilizan en partes de motores diésel marinos y motores diésel para la generación de energía, a fin de lograr mayores rendimientos del motor y hacer que los motores sean más compactos.

15 En el presente documento, se ha desarrollado acero de alta resistencia NiCrMo como acero para grandes forjas de acero que tienen una resistencia a la tracción tan alta (véase, por ejemplo, la patente japonesa n.º 3896365 y la patente japonesa n.º 4332070). Estas calidades de acero exhiben alta resistencia y alta tenacidad.

20 El acero que se utiliza en los cigüeñales grandes que se utilizan para la transmisión de potencia de motor en recipientes o similares se somete, después de la forja y un tratamiento térmico, a mecanizado con el fin de terminar en una forma final. En este caso, se requieren simultáneamente alta capacidad de mecanizado y alta capacidad de pulido (facilidad de acabado) durante el mecanizado.

25 Sin embargo, los aceros de forja para cigüeñales grandes tienen una alta resistencia, es decir, una resistencia a la tracción de 850 MPa o más, y muestran una resistencia sustancial al corte. En consecuencia, el acabado de la forma final a través del mecanizado requiere mucho tiempo, lo que disminuye la productividad. En general, ha sido muy difícil combinar la resistencia a la tracción de 850 MPa o superior con una excelente capacidad de mecanizado y capacidad de pulido, ya que la resistencia al corte aumenta proporcionalmente a la resistencia (dureza) del material.

30 El documento EP2671963 revela un acero de alta resistencia para piezas forjadas. El documento EP1143026 revela un acero con un número controlado de inclusiones coherentes.

Es un objeto de la presente invención, a la luz de los problemas anteriores, proporcionar un acero de alta resistencia para piezas forjadas de acero y una forja de acero, que tiene una alta resistencia y una excelente capacidad de mecanizado y capacidad de pulido.

35

### **Listado de citas**

#### **Bibliografía de patente**

40 Bibliografía de patente 1: Patente japonesa N.º 3896365  
Bibliografía de patente 2: Patente japonesa N.º 4332070

#### **Sumario de la invención**

45 Un aspecto de la presente invención es un acero de alta resistencia para piezas forjadas de acero como se define en la reivindicación 1.

#### **Breve descripción de los dibujos**

50 La figura 1 es un gráfico que ilustra la relación entre la resistencia a la tracción y la cantidad de desgaste de la herramienta en ejemplos.

#### **Descripción de las realizaciones**

55 Los inventores llevaron a cabo una investigación exhaustiva sobre las formas de estructura más apropiadas con el fin de lograr características conflictivas, es decir, una mayor resistencia y una mayor capacidad de mecanizado y pulido, en el acero de forja. Los inventores encontraron como resultado que reducir el número de precipitados coherentes que tienen un diámetro igual o menor a 30 nm, de entre los precipitados de tipo B1 cúbicos, era importante para lograr tanto una mayor resistencia como una mayor capacidad de mecanizado y pulido, y encontraron el acero de alta resistencia descrito a continuación para piezas forjadas de acero que permite combinar una mayor resistencia con una mejor capacidad de mecanizado y capacidad de pulido.

60

65 El acero de alta resistencia para piezas forjadas de acero en un aspecto de la presente invención tiene una composición que consiste en C (carbono): 0,35 % en masa a 0,47 % en masa, Si (silicio): 0 % en masa a 0,4 % en masa, Mn (manganeso): 0,6 % en masa a 1,5 % en masa, Ni (níquel): más de 0 % en masa hasta 2,0 % en masa, Cr

(cromo): 0,8 % en masa a 2,5 % en masa, Mo (molibdeno): 0,10 % en masa a 0,7 % en masa, V (vanadio): 0,035 % en masa a 0,20 % en masa, Al (aluminio): 0,015 % en masa a 0,050 % en masa, N (nitrógeno): 30 ppm a 100 ppm y O (oxígeno): más de 0 ppm a 30 ppm, siendo el resto Fe (hierro) e impurezas inevitables que incluyen P, S, Sn, As, Pb y Ti. Opcionalmente, el acero incluye Cu (cobre): más de 0 % en masa a 1,5 % en masa; Nb (niobio): más de 0 % en masa a 0,5 % en masa; B (boro): más de 0 ppm a 30 ppm.

La estructura metálica principal del acero de alta resistencia para piezas forjadas de acero es bainita, martensita o una estructura mixta de bainita y martensita, y el número de precipitados coherentes que tienen un diámetro de Feret a través de TEM igual o inferior a 30 nm, de entre precipitados de tipo B1 cúbico, es igual o menor que  $50/\mu\text{m}^2$ .

El acero de alta resistencia para piezas forjadas de acero de la presente invención y la pieza forjada de acero de la presente invención exhiben alta resistencia y cuentan con una excelente capacidad de mecanizado y capacidad de pulido, y por lo tanto se pueden usar adecuadamente, por ejemplo, en miembros de transmisión para motores diésel que se utilizan en recipientes o generadores.

Las realizaciones del acero de alta resistencia para piezas forjadas de acero y de la pieza forjada de acero de acuerdo con la presente invención se explicarán a continuación. En las realizaciones, el término "precipitados coherentes" denota precipitados cuya disposición atómica exhibe continuidad con la de la matriz. La expresión "diámetro de precipitados coherentes" denota un diámetro de tangente en la dirección dada (diámetro de Feret) en una fotografía de estructura aumentada a través de microscopía electrónica de transmisión (TEM). Además, la expresión "estructura metálica principal" significa que la estructura metálica que ocupa el 95 % del área o más de la estructura total.

<Estructura metálica>

La estructura metálica principal del acero de alta resistencia para piezas forjadas de acero de la presente realización es principalmente bainita, martensita o una estructura mixta de bainita y martensita. El límite inferior de la fracción de área de la estructura metálica principal es del 95 %, preferiblemente del 98 % del área y, más preferiblemente, del 100 % del área. El acero de alta resistencia para piezas forjadas de acero exhibe alta resistencia en virtud del hecho de que la estructura metálica se prescribe principalmente para que sea bainita, martensita o una estructura mixta de bainita y martensita. Como método para medir la fracción de área de bainita, martensita o una estructura mixta de bainita y martensita, se puede recurrir a un método que implica fotografiar, utilizar un microscopio óptico, secciones transversales de acero de alta resistencia para las piezas forjadas de acero que se han sometido a grabado químico, observar visualmente las micrografías obtenidas, para la división en estructuras metálicas de bainita, martensita, una estructura mixta de bainita y martensita y otras estructuras metálicas, y calcular después las relaciones de área de superficie de lo anterior.

En el acero de alta resistencia para piezas forjadas de acero de la presente realización, el límite superior del número de precipitados coherentes que tienen un diámetro igual o menor a 30 nm y está presente entre los precipitados de tipo B1 cúbicos es de  $50/\mu\text{m}^2$ , preferiblemente  $40/\mu\text{m}^2$  y más preferiblemente  $30/\mu\text{m}^2$ . La estructura metálica del acero de alta resistencia para piezas forjadas de acero de la presente realización es principalmente bainita, martensita o una estructura mixta de las anteriores, donde la capacidad de mecanizado se mejora al establecer el número de precipitados coherentes en la estructura metálica para que sea igual o menor que el límite superior anterior. El mecanismo subyacente no está claro, pero se considera que la capacidad de mecanizado y la capacidad de pulido se pueden mejorar, y que el tiempo de corte y el tiempo de pulido se acortan, a través de una reducción de las partículas que ofrecen resistencia durante el corte. Por lo tanto, la capacidad de mecanizado y capacidad de pulido suficientes pueden fallar en algunos casos cuando el número de precipitados coherentes excede el límite superior anterior.

Los precipitados coherentes anteriores se pueden identificar de acuerdo con un método como el que se ilustra a continuación. Una muestra de prueba se corta en forma de disco con un diámetro de 3 mm y un espesor de 0,5 mm. La muestra se pule hasta  $30 \mu\text{m}$  usando papel de lija, seguido de dilución por chorro doble, para preparar una muestra de microscopio electrónico con la muestra. La muestra del microscopio electrónico se observa a través de la excitación del vector  $g1^*$  utilizando un microscopio electrónico de transmisión (TEM) a un voltaje de aceleración de 200 kV, con lo que se observan precipitados coherentes con contraste de semicírculo pareado (véase, por ejemplo "Crystal Electron Microscopy for Material Researchers" by Uchida Rokakuho Publishing Co., Ltd. (páginas 149-151)). Por ejemplo, se captura un área predeterminada centrada en un punto en el que los precipitados se observan más claramente a través de la excitación del vector  $g1^*$ , dentro de una fotografía de estructura observada a 5.000 aumentos, para identificar así precipitados coherentes en el área predeterminada, y se cuenta el número de precipitados observados que tienen un diámetro igual o menor a 30 nm, de entre los precipitados coherentes identificados. Se observa un diámetro de tangente en la dirección dada (diámetro de Feret) en la fotografía de la estructura como el diámetro de los precipitados coherentes.

## &lt;Composición&gt;

- El acero de alta resistencia para piezas forjadas de acero de la presente realización tiene una composición que consiste en C: 0,35 % en masa a 0,47 % en masa; Si: 0% en masa a 0,4 % en masa; Mn: 0,6 % en masa a 1,5 % en masa; Ni: más de 0 % en masa hasta 2,0 % en masa; Cr: 0,8 % en masa a 2,5 % en masa; Mo: 0,10 % en masa a 0,7 % en masa; V: 0,035 % en masa a 0,20 % en masa; Al: 0,015 % en masa a 0,050 % en masa; N: 30 ppm a 100 ppm; y O: más de 0 ppm a 30 ppm, siendo el resto Fe e impurezas inevitables que incluyen P, S, Sn, As, Pb y Ti. Opcionalmente, el acero incluye Cu (cobre): más de 0 % en masa a 1,5 % en masa; Nb (niobio): más de 0 % en masa a 0,5 % en masa; B (boro): más de 0 ppm a 30 ppm.
- El límite inferior del contenido de C en el acero de alta resistencia para piezas forjadas de acero de la presente realización es 0,35 % en masa, preferiblemente 0,37 % en masa. El límite superior del contenido de C es 0,47 % en masa, preferiblemente 0,40 % en masa. La capacidad de endurecimiento y resistencia suficiente puede fallar cuando el contenido de C es inferior al límite inferior anterior. Cuando el contenido de C supera el límite superior anterior, por contraste, puede producirse una caída extrema en la tenacidad y se puede promover la segregación de V inversa en lingotes grandes, con una disminución tanto de la tenacidad como de la capacidad de mecanizado. Tanto la capacidad de endurecimiento como la resistencia en el acero de alta resistencia para piezas forjadas de acero se pueden asegurar correctamente al prescribir que el contenido de C se encuentre dentro de los intervalos anteriores.
- El límite inferior del contenido de Si en el acero de alta resistencia para piezas forjadas de acero de la presente realización es 0 % en masa, es decir, el Si no necesita estar presente. El límite superior del contenido de Si es 0,4 % en masa, preferiblemente 0,3 % en masa, y más preferiblemente 0,2 % en masa. Cuando el contenido de Si excede el límite superior anterior, se promueve la segregación y la capacidad de mecanizado puede disminuir. La capacidad de mecanizado del acero de alta resistencia para piezas forjadas de acero se puede asegurar correctamente al prescribir que el contenido de Si se encuentre dentro de los intervalos anteriores.
- El límite inferior del contenido de Mn en el acero de alta resistencia para piezas forjadas de acero de la presente realización es 0,6 % en masa, preferiblemente 0,8 % en masa. El límite superior del contenido de Mn es 1,5 % en masa, preferiblemente 1,0 % en masa. Cuando el contenido de Mn es inferior al límite inferior anterior, es posible que la resistencia y la capacidad de endurecimiento sean suficientes y que la variabilidad en el tamaño del grano no se reduzca lo suficiente. Cuando, por otra parte, el contenido de Mn supera el límite superior anterior, se promueve la segregación inversa de V y la capacidad de mecanizado puede disminuir. La capacidad de endurecimiento y resistencia del acero de alta resistencia para piezas forjadas de acero se puede asegurar adecuadamente, y la variabilidad en el tamaño del grano se reduce suficientemente, al prescribir el contenido de Mn del acero de alta resistencia para piezas forjadas de acero que se encuentran dentro de los intervalos anteriores.
- El contenido de Ni del acero de alta resistencia para piezas forjadas de acero de la presente realización es superior al 0 % en masa. El límite superior del contenido de Ni es 2,0 % en masa, preferiblemente 1,6 % en masa, y más preferiblemente 1,2 % en masa. Es posible que no se pueda asegurar la resistencia y la resistencia suficientes cuando el contenido de Ni es inferior al límite inferior anterior. Por otro lado, puede no asegurarse una capacidad de mecanizado suficiente cuando el contenido de Ni excede el límite superior anterior. La resistencia, dureza y capacidad de mecanizado del acero de alta resistencia para piezas forjadas de acero se pueden asegurar correctamente al prescribir que el contenido de Ni se encuentre dentro de los intervalos anteriores.
- El límite inferior del contenido de Cr en el acero de alta resistencia para piezas forjadas de acero de la presente realización es 0,8 % en masa, preferiblemente 1,0 % en masa. El límite superior del contenido de Cr es 2,5 % en masa, preferiblemente 2,0 % en masa, y más preferiblemente 1,6 % en masa. La capacidad de endurecimiento y la resistencia suficientes pueden no asegurarse cuando el contenido de Cr es inferior al límite inferior anterior. Cuando, por otra parte, el contenido de Cr supera el límite superior anterior, se promueve la segregación de V inversa y la capacidad de mecanizado puede disminuir. La capacidad de endurecimiento y la tenacidad del acero de alta resistencia para piezas de forja de acero se pueden asegurar correctamente al prescribir el contenido de Cr del acero de alta resistencia para piezas de forja de acero de la presente realización que se encuentran dentro de los intervalos anteriores.
- El límite inferior del contenido de Mo en el acero de alta resistencia para piezas forjadas de acero de la presente realización es 0,10 % en masa, preferiblemente 0,2 % en masa. El límite superior del contenido de Mo es 0,7 % en masa, preferiblemente 0,5 % en masa. Cuando el contenido de Mo es inferior a al límite inferior anterior, se promueve la segregación de V inversa y la capacidad de mecanizado puede disminuir. Cuando, por otra parte, el contenido de Mo excede el límite superior anterior, se promueve la microsegregación (segregación normal) en el lingote de acero, y la tenacidad y capacidad de mecanizado pueden disminuir o la segregación por gravedad puede ocurrir más fácilmente. La capacidad de endurecimiento, resistencia y tenacidad del acero de alta resistencia para piezas de forja de acero se puede asegurar correctamente al prescribir que el contenido de Mo se encuentre dentro de los intervalos anteriores.
- El límite inferior del contenido de V en el acero de alta resistencia para piezas forjadas de acero de la presente realización es 0,035 % en masa, preferiblemente 0,05 % en masa. El límite superior del contenido de V es 0,20 % en

masa, preferiblemente 0,15 % en masa y, más preferiblemente, 0,10 % en masa. Cuando el contenido de V es inferior al límite inferior anterior, es posible que no se pueda asegurar la resistencia y la capacidad de endurecimiento suficientes. Cuando, por otra parte, el contenido de V supera el límite superior anterior, la microsegregación (segregación normal) se produce fácilmente, ya que el coeficiente de distribución de equilibrio de V es bajo y la tenacidad y la capacidad de mecanizado pueden disminuir. Tanto la capacidad de endurecimiento como la resistencia del acero de alta resistencia para piezas forjadas de acero pueden asegurarse prescribiendo el contenido de V para que se encuentre dentro de los intervalos anteriores.

El límite inferior del contenido de Al en el acero de alta resistencia para piezas forjadas de acero de la presente realización es 0,015 % en masa, preferiblemente 0,019 % en masa. El límite superior del contenido de Al es 0,050 % en masa, preferiblemente 0,030 % en masa. La cantidad de oxígeno puede no reducirse lo suficiente cuando el contenido de Al es inferior al límite inferior anterior. Cuando, por otra parte, el contenido de Al excede el límite superior anterior, se promueve el engrosamiento del óxido y la tenacidad y la capacidad de mecanizado pueden disminuir. Un efecto de desoxigenación puede ser provocado apropiadamente y la tenacidad y la capacidad de mecanizado se pueden asegurar adecuadamente, al prescribir que el contenido de Al se encuentre dentro de los intervalos anteriores.

El límite inferior del contenido de N del acero de alta resistencia para piezas forjadas de acero de la presente realización es de 30 ppm, preferiblemente de 50 ppm. El límite superior del contenido de N es 100 ppm, preferiblemente 80 ppm y, más preferiblemente, 60 ppm. La tenacidad requerida como acero que se usa, por ejemplo, en los miembros de transmisión para motores diésel utilizados en recipientes o generadores puede no asegurarse cuando el contenido de N es inferior al límite inferior anterior. Por otro lado, una tenacidad y capacidad de mecanizado suficientes pueden no ser aseguradas cuando el contenido de N excede el límite superior anterior. Al prescribir que el contenido de N se encuentra dentro de los intervalos anteriores, es posible asegurar adecuadamente la tenacidad y la capacidad de mecanizado del acero de alta resistencia para piezas forjadas de acero; mediante el refinado de los granos de cristal provocados por los nitruros formados N.

El acero de alta resistencia para piezas forjadas de acero de la presente realización contiene O como una impureza inevitable. Este O está presente en forma de óxidos en el acero de forja. El límite superior del contenido de O es 30 ppm, preferiblemente 15 ppm y más preferiblemente 10 ppm. Cuando el contenido de O supera el límite superior anterior, la capacidad de mecanizado puede disminuir debido a la generación de óxidos gruesos.

Además de los componentes básicos descritos anteriormente, el acero de alta resistencia para piezas forjadas de acero de la presente realización incluye Fe como equilibrio e impurezas inevitables. Los ejemplos de impurezas inevitables permisibles que pueden mezclarse en el acero incluyen, por ejemplo, elementos tales como P (fósforo), S (azufre), Sn (estaño), As (arsénico), Pb (plomo) y Ti (titanio) que se pueden mezclar dependiendo de circunstancias tales como materiales de partida, otros materiales, equipos de producción y similares.

El límite superior del contenido de P, como una impureza inevitable en el acero de alta resistencia para piezas forjadas de acero de la presente realización, es preferiblemente 0,1% en masa, más preferiblemente 0,05 % en masa, y aún más preferiblemente 0,01 % en masa. La fractura intergranular derivada de la segregación del límite del grano puede promoverse cuando el contenido de P excede el límite superior anterior.

El límite superior del contenido de S en una de tales impurezas inevitables es preferiblemente del 0,02 % en masa, más preferiblemente del 0,01 % en masa, y aún más preferiblemente del 0,005 % en masa. La degradación de la resistencia a través de un aumento en las inclusiones de sulfuro puede producirse cuando el contenido de S excede el límite superior anterior.

En este caso, puede ser eficaz incorporar otros elementos activamente en el acero de alta resistencia para piezas forjadas de acero de la presente realización. Las características del material de acero forjado se mejoran aún más dependiendo del tipo de elemento (componente químico) que se incorpora.

Por ejemplo, puede añadirse Cu, como otro elemento, al acero de alta resistencia para piezas forjadas de acero de la presente realización. El límite inferior del contenido de Cu en el acero de alta resistencia para piezas forjadas de acero en un caso en el que se añade Cu es, preferiblemente, de 0,1 % en masa, más preferiblemente de 0,2 % en masa. El límite superior del contenido de Cu es, preferiblemente, 1,5 % en masa, más preferiblemente 1,2 % en masa. Cuando el contenido de Cu es inferior al límite inferior anterior, es posible que no se obtenga un efecto de mejora de la capacidad de endurecimiento. Por otro lado, la tenacidad y la capacidad de mecanizado pueden disminuir cuando el contenido de Cu supera el límite superior anterior. El efecto de mejora de la capacidad de endurecimiento se obtiene de manera efectiva y se mejoran la tenacidad y la capacidad de mecanizado, prescribiendo el contenido de Cu del acero de alta resistencia para que las piezas forjadas de acero se encuentren dentro de los intervalos anteriores.

Además, se puede añadir Nb, como otro elemento, al acero de alta resistencia para piezas forjadas de acero de la presente realización. El límite superior del contenido de Nb en el acero de alta resistencia para piezas forjadas de acero en un caso en el que se agrega Nb es, preferiblemente, del 0,5 % en masa, más preferiblemente del 0,3 % en

masa. La adición de Nb mejora la capacidad de endurecimiento, pero la tenacidad y la capacidad de mecanizado pueden disminuir cuando el contenido de Nb excede el límite superior anterior.

5 Además, B puede añadirse, como otro elemento, al acero de alta resistencia para piezas forjadas de acero de la presente realización. El límite superior del contenido de B en el acero de alta resistencia para piezas forjadas de acero en un caso donde se agrega B es, preferiblemente, de 30 ppm, más preferiblemente de 20 ppm. La adición de Nb mejora la capacidad de endurecimiento, pero la tenacidad y la capacidad de mecanizado pueden disminuir cuando el contenido de B supera el límite superior anterior.

10 <Concentración de elementos de aleación en cementita>

La estructura metálica del acero de alta resistencia para piezas forjadas de acero de la presente realización es principalmente bainita, martensita o una estructura mixta de bainita y martensita. Preferiblemente, la cementita incluye Cr o Mn a una concentración predeterminada. El límite inferior de la concentración de Cr en la cementita es, preferiblemente, del 2,7 % en masa, más preferiblemente del 3,0 % en masa. El límite superior de la concentración de Cr en la cementita es, preferiblemente, del 4,0 % en masa, más preferiblemente del 3,5 % en masa. El límite inferior de la concentración de Mn en la cementita es, preferiblemente, 1,2 % en masa, más preferiblemente, 1,3 % en masa. El límite superior de la concentración de Mn en la cementita es, preferiblemente, 2,0 % en masa, más preferiblemente 1,8 % en masa. La capacidad de mecanizado puede no ser suficientemente mejorada cuando la concentración de Cr en la cementita es inferior a los límites inferiores anteriores y la concentración de Mn también es inferior a los límites inferiores anteriores. Por otro lado, la capacidad de mecanizado puede disminuir, debido a la segregación de V inversa promovida, cuando la concentración de Cr en la cementita excede los límites superiores anteriores o la concentración de Mn excede los límites superiores anteriores. Se conjetura que prescribiendo la concentración de Cr o la concentración de Mn en la cementita para que se encuentre dentro de los intervalos anteriores, una región suave de baja concentración de Mn se manifiesta alrededor de la cementita, lo que se considera un factor de origen del inicio de la fisuración por fatiga; esta región tiene la función de aliviar la tensión durante el corte y se encuentra que permite una capacidad de mecanizado significativamente mejorada del material de acero en su conjunto.

30 <Propiedades mecánicas>

Preferiblemente, el límite inferior de resistencia a la tracción (TS) del acero de alta resistencia para piezas forjadas de acero en la presente realización es de 850 MPa. La resistencia requerida por los miembros de transmisión para los motores diésel que se usan en recipientes o generadores puede satisfacerse cuando la resistencia a la tracción del acero de alta resistencia para piezas forjadas de acero es igual o superior al límite inferior anterior. La resistencia a la tracción se puede medir, por ejemplo, sobre la base de una prueba de tracción según la norma JIS-Z2241 (2011).

40 Preferiblemente, el límite inferior de la energía absorbida vE (energía absorbida a temperatura ambiente) del acero de alta resistencia para piezas forjadas de acero de la presente realización es 45 J. La resistencia requerida por los miembros de transmisión para los motores diésel que se utilizan en recipientes o generadores puede satisfacerse cuando la energía absorbida del acero de alta resistencia para piezas forjadas de acero es igual o superior al límite inferior anterior. La energía absorbida se puede medir, por ejemplo, sobre la base de una prueba de impacto de Charpy según la norma JIS-Z2242 (2005).

45 <Método para producir un acero de alta resistencia para piezas forjadas de acero y una pieza forjada de acero>

El acero de alta resistencia para piezas forjadas de acero de la presente realización se produce, por ejemplo, como resultado de una etapa de fusión, etapa de colada, etapa de calentamiento, etapa de forja, etapa de pretratamiento de enfriamiento y etapa de tratamiento térmico que se describen a continuación. La pieza forjada de acero anterior se produce trabajando el acero de alta resistencia para piezas forjadas de acero en una etapa de mecanizado.

(Etapa de fusión)

55 En la etapa de fusión, en primer lugar el acero que se ha ajustado a la composición predeterminada descrita anteriormente se funde utilizando un horno de fusión de alta frecuencia, un horno eléctrico, un convertidor o similar. El acero fundido después del ajuste de los componentes se somete posteriormente a un tratamiento de vacío, para eliminar los componentes del gas como O (oxígeno) y H (hidrógeno), así como los elementos de impureza.

60 (Etapa de colada)

En la etapa de fusión, principalmente lingotes (lingotes de acero) se funden en el caso de acero de forja de gran tamaño. En el caso de piezas forjadas de acero comparativamente pequeñas, se puede recurrir a un método continuo.

65

(Etapa de calentamiento)

En la etapa de calentamiento, el lingote de acero se calienta a una temperatura predeterminada durante un tiempo predeterminado. A bajas temperaturas, la resistencia a la deformación del material aumenta y, por lo tanto, la temperatura de calentamiento se ajusta a 1150 °C o más para poder trabajar dentro de un buen intervalo de deformabilidad del material. Se requiere un tiempo de calentamiento predeterminado para hacer homogénea la temperatura en la superficie del lingote de acero y en el interior de este último. El tiempo de calentamiento se establece en el presente contexto en 3 horas o más. Se considera que normalmente el tiempo de calentamiento es proporcional al cuadrado del diámetro de la pieza, y por lo tanto, cuanto mayor sea el material, mayor será el tiempo de mantenimiento del calentamiento.

(Etapa de forja)

En la etapa de forja, se forja el lingote de acero que se ha calentado a una temperatura de 1150 °C o más en la etapa de calentamiento. Preferiblemente, la relación de forjado se establece en 3S o más para defectos de fundición por fusión de fusibles, tal como la porosidad por contracción y la microporosidad.

(Etapa de pretratamiento de inactivación)

En la etapa de pretratamiento de inactivación, el material de acero forjado se deja enfriar en la atmósfera y, a continuación, el material de acero se calienta a una temperatura predeterminada (por ejemplo, en el intervalo de 550 °C a 650 °C) que se mantiene durante un tiempo predeterminado (por ejemplo, 10 horas o más), seguido de enfriamiento. Los precipitados coherentes en el material de acero se pueden reducir realizando una etapa de pretratamiento de inactivación antes del proceso de inactivación.

(Etapa de tratamiento térmico)

La etapa de tratamiento térmico consiste en realizar un atemperado después del proceso de inactivación. El proceso de inactivación implica elevar la temperatura del material de acero, que se ha enfriado en la etapa de pretratamiento de inactivación, hasta una temperatura predeterminada (por ejemplo, en el intervalo de 800 °C a 950 °C) y mantener esa temperatura durante un tiempo predeterminado (por ejemplo, 1 hora o más), seguido de enfriamiento a una temperatura predeterminada (por ejemplo, en el intervalo de 450 °C a 530 °C). Posteriormente, se lleva a cabo un proceso de atemperado para obtener de este modo el acero de alta resistencia para piezas forjadas de acero de la presente realización. El atemperado del material de acero implica en el presente documento un calentamiento gradual a una tasa de aumento de temperatura que varía de 30 a 70 °C/h hasta una temperatura predeterminada, y se mantiene la temperatura durante un tiempo determinado (por ejemplo, de 5 a 20 horas), seguido de enfriamiento. El atemperado se realiza a una temperatura de 550 °C o más para ajustar el balance de resistencia, ductilidad y tenacidad, y eliminar la tensión interna (tensión residual) derivada de las transformaciones de fase. Sin embargo, el atemperado se realiza a una temperatura de 650 °C o inferior, ya que a altas temperaturas el material de acero se ablanda, por ejemplo, debido al engrosamiento del carburo, la recuperación de la estructura de dislocación y no se puede asegurar una resistencia suficiente.

(Etapa de mecanizado)

Por tanto, se puede obtener una forja de acero sometiendo la capa superficial del acero de alta resistencia para piezas de forja de acero después de la etapa del tratamiento térmico a un acabado de mecanizado, tal como corte o rectificado.

La presente descripción desvela las diversas implementaciones de tecnología descritas anteriormente, en términos de hacer posible resolver los problemas descritos anteriormente recurriendo a las realizaciones descritas a continuación. La presente invención no se limita a la solución que se describe a continuación y no hace falta decir que se puede tener en cuenta la divulgación completa de la especificación.

Un aspecto de la presente invención es un acero de alta resistencia para piezas forjadas de acero que tiene una composición que consiste en C (carbono): 0,35 % en masa a 0,47 % en masa, Si (silicio): 0 % en masa a 0,4 % en masa, Mn (manganeso): 0,6 % en masa a 1,5 % en masa, Ni (níquel): más de 0 % en masa hasta 2,0 % en masa, Cr (cromo): 0,8 % en masa a 2,5 % en masa, Mo (molibdeno): 0,10 % en masa a 0,7 % en masa, V (vanadio): 0,035 % en masa a 0,20 % en masa, Al (aluminio): 0,015 % en masa a 0,050 % en masa, N (nitrógeno): 30 ppm a 100 ppm y O (oxígeno): más de 0 ppm a 30 ppm, siendo el resto Fe (hierro) e impurezas inevitables que incluyen P, S, Sn, As, Pb y Ti. Opcionalmente, el acero incluye Cu (cobre): más de 0 % en masa a 1,5 % en masa; Nb (niobio): más de 0 % en masa a 0,5 % en masa; B (boro): más de 0 ppm a 30 ppm. La estructura metálica es principalmente bainita, martensita o una estructura mixta de bainita y martensita, y entre los precipitados de tipo B1 cúbicos, el número de precipitados coherentes que tienen un diámetro igual o menor que 30 nm es igual o menor que  $50/\mu\text{m}^2$ .

En virtud de configurar el contenido de los componentes del material de acero en el acero de alta resistencia para que las piezas forjadas de acero se encuentren dentro de los intervalos anteriores, y prescribir la estructura metálica

del acero de alta resistencia para que las piezas forjadas de acero sean principalmente bainita, martensita o una estructura mixta de bainita y martensita, el acero exhibe suficiente resistencia como miembro de transmisión o similar para motores diésel que se utiliza, por ejemplo, en recipientes o generadores. Se ha descubierto que las partículas que ofrecen resistencia durante el corte y el pulido se reducen debido a que el número de precipitados coherentes en la estructura metálica del acero de alta resistencia para piezas forjadas de acero no es mayor que el límite superior anterior. Como resultado, se asegura una alta resistencia en el acero, mientras que este último cuenta con una excelente capacidad de mecanizado y pulido.

Preferiblemente, el acero de alta resistencia para piezas forjadas de acero incluye además, como otros componentes, Cu (cobre): más de 0 % en masa a 1,5 % en masa, Nb (niobio): más de 0 % en masa a 0,5 % en masa, o B (boro): más de 0 ppm a 30 ppm. El endurecimiento se puede mejorar mediante la incorporación de tales elementos.

Preferiblemente, la concentración de Cr (cromo) es de 2,7 % en masa o mayor o la concentración de Mn (manganeso) es de 1,2 % en masa o más en cementita en el acero de alta resistencia para piezas forjadas de acero. Prescribiendo la concentración de Cr o la concentración de Mn en la cementita para que se encuentre dentro de los intervalos anteriores, una región apropiadamente suave se manifiesta alrededor de la cementita, lo que se considera un factor de origen del inicio de grietas por fatiga; se descubrió que esta región tiende a aliviar el estrés por agrietamiento y, por lo tanto, la característica de fatiga mejora significativamente. Como resultado, es posible mejorar aún más la capacidad de mecanizado y el pulido, como se ha descrito anteriormente.

Un aspecto adicional de la presente invención es una pieza forjado de acero que se obtiene a través del corte o rectificado del acero de alta resistencia para las piezas forjadas de acero. La pieza forjada de acero está formada por el acero de alta resistencia anterior para piezas de forjado de acero y, por lo tanto, presenta una alta resistencia y posee una excelente capacidad de mecanizado y pulido como se ha descrito anteriormente.

### Ejemplos

La presente invención se explicará a continuación con más detalle sobre la base de ejemplos. La presente invención, sin embargo, no está limitada a o por los ejemplos a continuación.

[Producción de muestras de prueba]

#### (Ejemplo 1)

Un material de partida de acero que tiene la composición dada en las columnas del Ejemplo 1 en la Tabla 1 se fundió en un horno de alta frecuencia y se fundió para producir un lingote de acero (50 kg) con un diámetro en el intervalo de 132 mm a 158 mm y Una longitud de 323 mm. La porción de alimentación del lingote de acero obtenido se cortó y el lingote se calentó a 1230 °C durante de 5 a 10 horas. Posteriormente, el lingote de acero se forjó mediante compresión hasta una relación de altura de 1/2 y 90° de rotación de la línea central del lingote de acero utilizando una prensa de forjado libre, con estirado de hasta 90 mm x 90 mm x 450 mm, seguido de enfriamiento en la atmósfera.

Antes de llevar a cabo un proceso de inactivación, el material resultante que se había dejado enfriar a temperatura ambiente se calentó (es decir, se calentó a una temperatura de 500 °C o superior a 50 °C/h o menos) y la temperatura se mantuvo a 650 °C durante 10 horas, seguido de enfriamiento en horno (pretratamiento de inactivación). Posteriormente, se llevó a cabo un proceso de enfriamiento con un horno de simulación compacto. En el proceso de inactivación, la temperatura del material se elevó hasta 870 °C a una tasa de aumento de temperatura de 50 °C/h, la temperatura se mantuvo durante 3 horas y, a continuación, el material se enfrió a una velocidad de enfriamiento promedio de 50 °C/min, en una región de temperatura de 870 °C a 500 °C. Como un proceso de revenido, el material se mantuvo posteriormente a 600 °C durante 10 horas, y posteriormente se enfrió en horno. Se produjo así una muestra de prueba del acero de alta resistencia para piezas forjadas de acero del Ejemplo 1. Los guiones "-" en la Tabla 1 indican valores en o por debajo del límite de medición.

(Ejemplos 2 a 12 y Ejemplos Comparativos 1 a 17)

Las muestras de prueba del acero de alta resistencia para piezas forjadas de acero de los Ejemplos 2 a 12 y los Ejemplos comparativos 1 a 17 se produjeron de acuerdo con el mismo procedimiento que el del Ejemplo 1, pero con las composiciones que figuran en las columnas para los Ejemplos 2 a 12 y Ejemplos comparativos 1 a 17 en la Tabla 1, y ajustando la temperatura de mantenimiento en el pretratamiento de enfriamiento y la temperatura de mantenimiento en el proceso de atemperado a las temperaturas indicadas en la Tabla 1. El tiempo de mantenimiento en el pretratamiento de inactivación se estableció en 10 horas, como en el Ejemplo 1.

Los contenidos de C, Si, Mn, Ni, Cr, Mo, V, Al, N y O en las muestras de prueba de los Ejemplos 1 a 12 se encuentran en los intervalos de la presente invención. Los contenidos de al menos algunos de entre C, Si, Mn, Ni, Cr, Mo, V, Al, N y O en las muestras de prueba de los Ejemplos comparativos 1 a 17 se encuentran fuera de los

intervalos de la presente invención.

(Ejemplos comparativos 18 a 20)

- 5 Los materiales de partida de acero de alta resistencia para piezas forjadas de acero en los Ejemplos comparativos 18 a 20, se establecieron para tener composiciones idénticas, como se indica en la Tabla 1. Los contenidos de C, Si, Mn, Ni, Cr, Mo, V, Al, N y O se encuentran en el intervalo de la presente invención. En el acero de alta resistencia para piezas forjadas de acero en los ejemplos comparativos 18 a 20, el tiempo de mantenimiento en el pretratamiento de enfriamiento se estableció en 8 horas, más corto que el tiempo de mantenimiento en el
- 10 Ejemplo 1, y la temperatura de mantenimiento en el pretratamiento de enfriamiento se estableció en 550 °C, 600 °C y 650 °C, respectivamente.

(Ejemplos comparativos 21 a 22)

- 15 Las muestras de prueba del acero de alta resistencia para piezas forjadas de acero en los Ejemplos comparativos 21 y 22 se produjeron de acuerdo con un método de producción convencional en el que no se realizó el pretratamiento de inactivación anterior. La composición del material de partida de acero utilizado en el acero de alta resistencia para piezas forjadas de acero de los Ejemplos comparativos 21 y 22 se ajustó a la composición utilizada en la patente japonesa n.º 3896365 y la patente japonesa n.º 4332070. Los contenidos de C, Si, Mn, Ni, Cr, Mo, V, Al, N y O en estas composiciones se encuentran en el intervalo de la presente invención.

[Medición de la densidad numérica de los precipitados coherentes]

- 25 Cada muestra de prueba se cortó en forma de disco con un diámetro de 3 mm y un espesor de 0,5 mm. La muestra se pule hasta 30 µm usando papel de lija, seguido de dilución por chorro doble, para preparar una muestra de microscopio electrónico con la muestra. La muestra del microscopio electrónico se verificó mediante microscopía electrónica de transmisión (TEM) a un voltaje de aceleración de 200 kV, para identificar como resultado precipitados coherentes. Específicamente, se tomaron imágenes de un cuadrado de 5 cm x 5 cm centrado en el punto en el que se observaron los precipitados más claramente en la excitación del vector  $g1^*$ , dentro de una micrografía de
- 30 estructura obtenida por TEM a 5000 aumentos, el número de precipitados coherentes (precipitados coherentes que tienen un diámetro igual o menor que 30 nm) presente dentro de ese cuadrado se contó, y el valor promedio de los recuentos de recuento para 10 campos se tomó como la densidad numérica de los precipitados coherentes.

[Análisis de concentración de elementos de aleación en cementita]

- 35 Se realizó un análisis de concentración de los elementos de aleación en cementita mediante análisis cuantitativo a través de microscopía electrónica de barrido (SEM) con EDX. En el presente documento, EDX implica la detección de rayos X característicos generados a través de la irradiación con haz de electrones y la resolución espectroscópica de los rayos X de acuerdo con la energía, para realizar análisis elementales y análisis de composición.

40

[Medición de las propiedades mecánicas]

- 45 Después del tratamiento térmico, la muestra de prueba se trabajó de tal manera que la dirección longitudinal de la pieza de prueba era paralela a la dirección de la forja, y se sometió a una prueba de tracción. La forma de la pieza de prueba se ajustó a  $\phi 6 \times G.L. 30 \text{ mm}$  y/o la pieza de prueba n.º 14 según la norma JIS-Z2241 (2011) y se midió la resistencia a la tracción (TS). En la presente prueba, las piezas de prueba con una resistencia a la tracción de 850 MPa o más se determinaron como aceptables.

- 50 La tenacidad se evaluó midiendo la energía absorbida (vE) (energía absorbida a temperatura ambiente) de la muestra de prueba sobre la base de una prueba de impacto de Charpy. La prueba de impacto de Charpy se realizó de acuerdo con la norma JIS-Z2242 (2005), con una muesca en V de 2 mm de la norma JIS-Z2242 (2005) como la forma de la pieza de prueba. Las piezas de prueba que tienen una energía absorbida de 45 J o más se consideraron aceptables en la presente prueba.

- 55 Para evaluar la capacidad de mecanizado se llevó a cabo una prueba de corte de la fresa de acabado y se midió la cantidad de desgaste de la herramienta en el corte intermitente del material de acero. Cada pieza para la prueba de corte de la fresa de acabado utilizada en la prueba de corte de la fresa de acabado se obtuvo eliminando la escala de la muestra de prueba y moliendo luego la superficie en aproximadamente 2 mm. Específicamente, se unió una herramienta de fresado de acabado a un husillo de centro de mecanizado, cada pieza de prueba de 25 mm x 80 mm
- 60 x 80 mm producida como se ha descrito anteriormente se fijó con un tornillo de banco y la pieza de prueba se cortó en una atmósfera de corte seco. Más específicamente, la pieza de prueba se cortó en una longitud de corte de 29 mm, con una profundidad de corte axial de 1,0 mm, una profundidad de corte radial de 1,0 mm, una cantidad de avance de 0,117 mm/rev y una velocidad de avance de 556,9 mm/min, utilizando una herramienta de fresado de acabado de alta velocidad recubierta con TiAlN ("K-2SL", por Mitsubishi Materials Corporation) con un diámetro exterior de  $\phi$
- 65 10,0 mm. Después de 200 cortes intermitentes, se observó la superficie de la herramienta de fresado de acabado de alta velocidad utilizando un microscopio óptico a 100 aumentos. Se midió una cantidad de desgaste en el flanco

(cantidad de desgaste de la herramienta)  $V_b$  y se calculó un valor promedio de la misma. En la presente prueba, se determinó que las muestras para las cuales la cantidad de desgaste del flanco  $V_b$  era de  $70\ \mu\text{m}$  o menos eran piezas de prueba aceptables que tenían una capacidad de mecanizado superior en el corte intermitente.

- 5 En la presente prueba, se asignó una calificación general de "A" a las muestras para las cuales se determinó que la resistencia a la tracción, la energía absorbida y la capacidad de mecanizado eran aceptables, y se asignó una calificación general "B" a otras muestras. Los resultados de la medición se dan en la Tabla 1.

Tabla 1

	Contenido de la composición (% masa)																Atemperado (°C)	Precipitado coherente (numero)	Concentración en cementita (% masa)		vE (J) (μm)	TS (MPa)	Puntuación global	
	Pretratamiento de inactivación																		Cr	Mn				
	C	Si	Mn	P	s	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Al	N (ppm)	O (ppm)	Nb	B (ppm)	(°C)								(h)
Ej. 1	0,37	0,30	0,91	0,009	0,002	0,04	0,4	2,04	0,29	0,085	0,019	54	11	-	-	650	10	2	2,6	1,0	1000	65	37	A
Ej. 2	0,38	0	0,88	0,010	0,002	-	0,4	2,05	0,30	0,086	0,019	58	12	-	-	650	10	3	2,6	1,0	974	68	36	A
Ej. 3	0,38	0,30	1,10	0,010	0,002	0,04	0,4	2,05	0,30	0,086	0,019	58	12	-	-	600	10	5	2,6	1,3	900	76	27	A
Ej. 4	0,38	0,30	0,93	0,010	0,002	-	0,4	2,12	0,30	0,086	0,019	58	12	-	-	600	10	4	2,7	1,1	1015	64	34	A
Ej. 5	0,38	0,30	1,18	0,010	0,002	0,04	0,4	2,42	0,30	0,086	0,019	58	12	-	-	550	10	7	3,0	1,4	914	74	30	A
Ej. 6	0,37	0,30	1,15	0,009	0,002	-	0,4	2,15	0,29	0,085	0,019	54	11	-	-	650	10	2	2,7	1,3	1013	64	27	A
Ej. 7	0,38	0,30	0,93	0,010	0,002	1,00	0,4	2,12	0,30	0,086	0,019	58	12	-	-	600	10	4	2,7	1,1	1105	56	41	A
Ej. 8	0,38	0,30	0,93	0,010	0,002	-	0,4	2,12	0,30	0,086	0,019	58	12	0,10	-	600	10	4	2,7	1,1	1055	60	37	A
Ej. 9	0,38	0,30	1,18	0,010	0,002	0,04	0,4	2,42	0,30	0,086	0,019	58	12	-	20	550	10	7	3,0	1,4	954	70	27	A
Ej. 10	0,35	0	0,90	0,004	0,003	-	1,6	1,60	0,50	0,150	0,025	60	10	-	-	650	10	6	2,0	1,0	1200	49	54	A
Ej. 11	0,35	0	1,20	0,004	0,002	-	1,6	1,60	0,50	0,150	0,025	60	10	-	-	650	10	7	2,0	1,4	1212	48	50	A
Ej. 12	0,35	0	0,90	0,004	0,003	-	2,0	1,60	0,50	0,150	0,025	60	10	-	-	650	10	7	2,0	1,0	1221	48	56	A
Ej. comp. 1	0,34	0,30	0,91	0,010	0,002	0,04	0,4	1,95	0,30	0,086	0,019	58	12	-	-	550	10	6	2,4	1,0	801	89	26	B
Ej. comp. 2	0,49	0,30	0,88	0,010	0,002	0,04	0,4	1,95	0,30	0,086	0,019	58	12	-	-	550	10	25	2,4	1,0	1061	25	99	B
Ej. comp. 3	0,38	0,42	0,87	0,010	0,002	0,04	0,4	1,95	0,30	0,086	0,019	58	12	-	-	550	10	6	2,4	1,0	939	38	76	B
Ej. comp. 4	0,38	0,30	0,50	0,010	0,002	0,04	0,4	1,95	0,30	0,086	0,019	58	12	-	-	550	10	7	2,4	0,6	827	85	28	B
Ej. comp. 5	0,38	0,30	1,55	0,010	0,002	0,04	0,4	1,95	0,30	0,086	0,019	58	12	-	-	550	10	8	2,4	1,8	973	35	80	B
Ej. comp. 6	0,38	0,30	0,91	0,010	0,002	0,04	2,1	1,95	0,30	0,086	0,019	58	12	-	-	550	10	7	2,4	1,0	1035	29	83	B
Ej. comp. 7	0,38	0,30	0,88	0,010	0,002	0,04	0,4	0,7	0,30	0,086	0,019	58	12	-	-	550	10	7	0,9	1,0	808	88	27	B
Ej. comp. 8	0,38	0,30	0,91	0,010	0,002	0,04	0,4	2,6	0,30	0,086	0,019	58	12	-	-	550	10	8	3,3	1,0	970	34	79	B
Ej. comp. 9	0,38	0,30	0,87	0,010	0,002	0,04	0,4	1,95	0,07	0,086	0,019	58	12	-	-	550	10	6	2,4	1,0	822	86	27	B
Ej. comp. 10	0,38	0,30	0,91	0,010	0,002	0,04	0,4	1,95	0,75	0,086	0,019	58	12	-	-	550	10	8	2,4	1,0	986	36	80	B
Ej. comp. 11	0,38	0,30	0,88	0,010	0,002	0,04	0,4	1,95	0,30	0,032	0,019	58	12	-	-	550	10	4	2,4	1,0	806	88	25	B

Ej. comp. 12	0,38	0,30	0,91	0,010	0,002	0,04	0,4	1,95	0,30	0,210	0,019	58	12	-	-	550	10	615	15	2,4	1,0	1053	28	91	B
Ej. comp. 13	0,38	0,30	0,87	0,010	0,002	0,04	0,4	1,95	0,30	0,086	0,014	58	12	-	-	550	10	615	7	2,4	1,0	948	37	77	B
Ej. comp. 14	0,38	0,30	0,91	0,010	0,002	0,04	0,4	1,95	0,30	0,086	0,053	58	12	-	-	550	10	615	6	2,4	1,0	949	36	76	B
Ej. comp. 15	0,38	0,30	0,88	0,010	0,002	0,04	0,4	1,95	0,30	0,086	0,019	28	12	-	-	550	10	615	7	2,4	1,0	948	37	86	B
Ej. comp. 16	0,38	0,30	0,91	0,010	0,002	0,04	0,4	1,95	0,30	0,086	0,019	102	12	-	-	550	10	615	12	2,4	1,0	949	36	81	B
Ej. comp. 17	0,38	0,30	0,87	0,010	0,002	0,04	0,4	1,95	0,30	0,086	0,019	58	32	-	-	550	10	615	7	2,4	1,0	948	37	77	B
Ej. comp. 18	0,38	0,30	0,91	0,010	0,002	0,04	0,4	1,95	0,30	0,086	0,019	58	12	-	-	550	8	615	63	2,4	1,0	949	70	82	B
Ej. comp. 19	0,38	0,30	0,91	0,010	0,002	0,04	0,4	1,95	0,30	0,086	0,019	58	12	-	-	600	8	615	57	2,4	1,0	949	70	77	B
Ej. comp. 20	0,38	0,30	0,91	0,010	0,002	0,04	0,4	1,95	0,30	0,086	0,019	58	12	-	-	650	8	615	52	2,4	1,0	949	70	73	B
Ej. comp. 21	0,40	0,24	1,04	-	0,003	-	0,20	1,97	0,26	0,054	0,003	45	-	-	-	-	-	610	55	2,5	1,2	960	69	76	B
Ej. comp. 22	0,34	0,22	0,98	0,007	0,003	0,04	1,58	1,59	0,49	0,16	0,020	60	-	-	-	-	-	610	75	2,0	1,1	1063	59	99	B

[Resultados de la medición]

Las muestras de prueba de los Ejemplos 1 a 12 mostraron una alta resistencia y una excelente tenacidad y capacidad de mecanizado, por lo que se les asignó una calificación general A.

Por el contrario, las muestras de prueba de los ejemplos comparativos 1 a 17 mostraron todas resistencia a la tracción y tenacidad fuera de los intervalos aceptables y se les asignó una calificación general B. Estas muestras de prueba se producen utilizando acero que tiene una composición que no satisface los intervalos de componentes básicos de la presente invención. Se descubrió que la resistencia a la tracción de las muestras de prueba (Ejemplos comparativos 1, 4, 7, 9 y 11) con composiciones que tienen elementos (excepto Al y N) por debajo de los límites inferiores de contenido especificados en la presente invención es baja, ya que los intervalos de los componentes básicos de la presente invención definen una composición para mejorar la resistencia, excepto para Al y N. Por otra parte, la resistencia a la tracción de las muestras de prueba (Ejemplos comparativos 2, 3, 5, 6, 8, 10, 12, 14, 16 y 17) con composiciones que tienen elementos (excepto Al y N) más allá de los límites superiores del contenido especificado en la presente invención es alta, pero la tenacidad y la capacidad de mecanizado son bajas, ya que la resistencia al corte aumenta proporcionalmente a la resistencia. En el presente documento, Al y N son elementos que mejoran la tenacidad cuando están presentes en el contenido apropiado. Por lo tanto, la tenacidad y la capacidad de mecanizado son bajas en las muestras de prueba (Ejemplos comparativos 13 y 15) en las que el contenido respectivo de estos elementos está por debajo del límite inferior o por encima del límite superior del contenido según se especifica en la presente invención.

La resistencia a la tracción y la tenacidad fueron excelentes en las muestras de prueba de los Ejemplos comparativos 18 a 22, pero la capacidad de mecanizado fue deficiente. Esto se puede atribuir a la cantidad sustancial de precipitados coherentes que tienen un diámetro igual o inferior a 30 nm, con una densidad numérica de los mismos superior a  $50/\mu\text{m}^2$ . El mecanismo subyacente para esto no está claro, pero se considera que la capacidad de mecanizado disminuye debido a un aumento en las partículas que ofrecen resistencia durante el corte, cuando los precipitados coherentes son numerosos. Los resultados de la Tabla 1 indican que el número de precipitados coherentes que tienen un diámetro igual o menor a 30 nm que el precipitado en el presente documento se puede controlar modificando el tiempo de mantenimiento en el pretratamiento de inactivación.

(Relación entre la resistencia a la tracción y la cantidad de desgaste de la herramienta)

La figura 1 ilustra una relación entre la resistencia a la tracción y la cantidad de desgaste de la herramienta medida en los ejemplos y los ejemplos comparativos. La figura 1 revela que los Ejemplos 1 a 12 muestran una alta resistencia y una excelente capacidad de mecanizado. En los ejemplos comparativos 1 a 22, por el contrario, la cantidad de desgaste de la herramienta supera los 70  $\mu\text{m}$  cuando la resistencia a la tracción es de 850 MPa o más, mientras que la resistencia a la tracción es inferior a 850 MPa cuando la cantidad de desgaste de la herramienta es de 70  $\mu\text{m}$  o menor, y por lo tanto no se consiguieron de forma concurrente una resistencia y capacidad de mecanizado altas.

(Adición de otros componentes)

La composición del Ejemplo 7 es la composición del Ejemplo 4 con Cu añadido a la misma. La composición del Ejemplo 8 es la composición del Ejemplo 4 con Nb añadido a la misma. La composición del Ejemplo 9 es la composición del Ejemplo 5 con B añadido a la misma. Una comparación de los resultados de medición para estos ejemplos revela que la resistencia se puede mejorar significativamente, al tiempo que se asegura la tenacidad y la capacidad de mecanizado añadiendo Cu, Nb o B.

(Concentración de elementos en cementita)

La composición del Ejemplo 4 es idéntica a la composición del Ejemplo 2, pero la concentración de Cr en la cementita es del 2,7 % en masa o superior, es decir, más alta que la del Ejemplo 2. Una comparación de los resultados de medición de lo anterior revela que el Ejemplo 4 muestra mayor resistencia a la tracción que en el Ejemplo 2, sin pérdida de capacidad de mecanizado. Las composiciones de los Ejemplos 10 a 12 son sustancialmente idénticas; y la concentración de Mn en la cementita, a 1,2 % en masa o más, es mayor que la de los Ejemplos 10 y 12 solo en el Ejemplo 11. El Ejemplo 11 muestra una resistencia a la tracción similar a la de los Ejemplos 10 y 12, y mejor capacidad de mecanizado que la de Ejemplos 10 y 12.

La presente solicitud reivindica prioridad basada en la solicitud de patente japonesa n.º 2013-262720, presentada el 19 de diciembre de 2013.

La presente invención se ha explicado de manera apropiada y suficiente anteriormente a modo de realización, con referencia a los dibujos adjuntos y similares, con el fin de ilustrar la invención. Un experto en la técnica debería reconocer, sin embargo, que las realizaciones descritas anteriormente se pueden modificar y/o mejorar fácilmente. Por lo tanto, se entiende que cualquier realización modificada o realizaciones mejoradas a las que pueda llegar un experto en la materia están comprendidas dentro del alcance como se reivindica en las reivindicaciones adjuntas,

siempre que estas modificaciones y mejoras no se aparten del alcance de las reivindicaciones.

**Aplicabilidad industrial**

- 5 La presente invención tiene una amplia aplicabilidad industrial en el campo técnico de las piezas forjadas de acero marino. En particular, la invención es útil como material en ejes intermedios, ejes de hélices, bielas, soportes de timón, bocinas de timón, cigüeñales y similares que se utilizan como miembros de transmisión en fuentes de impulsión marina.

**REIVINDICACIONES**

1. Un acero de alta resistencia para piezas forjadas de acero, que tiene una composición que consiste en:

- 5 C: 0,35 % en masa a 0,47 % en masa;  
Si: 0 % en masa a 0,4 % en masa;  
Mn: 0,6 % en masa a 1,5 % en masa;  
Ni: más de 0 % en masa a 2,0 % en masa;  
Cr: 0,8 % en masa a 2,5 % en masa;
- 10 Mo: 0,10 % en masa a 0,7 % en masa;  
V: 0,035 % en masa a 0,20 % en masa;  
Al: 0,015 % en masa a 0,050 % en masa;  
N: 30 ppm a 100 ppm;  
O: más de 0 ppm a 30 ppm, y
- 15 opcionalmente, Cu: más de 0 % en masa hasta 1,5 % en masa;  
opcionalmente, Nb: más de 0 % en masa a 0,5 % en masa; y  
opcionalmente, B: más de 0 ppm a 30 ppm,  
siendo el resto Fe e impurezas inevitables, incluyendo P, S, Sn, As, Pb y Ti,  
donde la estructura metálica es principalmente bainita, martensita o una estructura mixta de bainita y martensita,
- 20 y  
entre los precipitados de tipo B1 cúbico, el número de precipitados coherentes que tienen un diámetro de Feret a  
través de TEM igual o menor que 30 nm es igual o menor que  $50/\mu\text{m}^2$ .
- 25 2. El acero de alta resistencia para piezas forjadas de acero según la reivindicación 1, donde la concentración de Cr es 2,7 % en masa o superior o la concentración de Mn es 1,2 % en masa o superior en cementita.
3. Una pieza forjada de acero, obtenida por corte o rectificado del acero de alta resistencia para piezas forjadas de acero de acuerdo con la reivindicación 1 o 2.

FIG.1

