

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 775 061**

51 Int. Cl.:

C23C 8/02	(2006.01)	C22C 38/44	(2006.01)
C23C 8/26	(2006.01)	C22C 38/46	(2006.01)
C21D 1/06	(2006.01)	C21D 1/18	(2006.01)
C21D 1/25	(2006.01)	C21D 6/00	(2006.01)
C22C 38/02	(2006.01)	C21D 6/02	(2006.01)
C22C 38/04	(2006.01)		
C22C 38/06	(2006.01)		
C22C 38/08	(2006.01)		
C22C 38/12	(2006.01)		
C22C 38/40	(2006.01)		

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **31.05.2017 PCT/EP2017/063192**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **07.12.2017 WO17207651**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.05.2017 E 17728133 (4)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.12.2019 EP 3464669**

54 Título: **Un acero de endurecimiento por precipitación y fabricación del mismo**

30 Prioridad:

01.06.2016 SE 1650764

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

23.07.2020

73 Titular/es:

**OVAKO SWEDEN AB (100.0%)
Ovako Industriområde
813 82 Hofors, SE**

72 Inventor/es:

ANDERSSON, JAN-ERIK

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 775 061 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

Un acero de endurecimiento por precipitación y fabricación del mismo

5 Campo técnico

La presente invención se refiere en general a un acero de endurecimiento por precipitación de alta resistencia adecuado para su uso a alta temperatura. La composición del acero de endurecimiento por precipitación se optimiza para proporcionar un endurecimiento por precipitación con carburos junto con una precipitación intermetálica de Ni-Al presente tras el revenido. El nuevo acero de endurecimiento por precipitación se diseña para que tenga una microsegregación y una macrosegregación bajas. Es posible proporcionar un acero de endurecimiento por precipitación que carece esencialmente de cobalto.

15 Antecedentes

El endurecimiento primario tiene lugar cuando el acero se somete a templado desde el campo de la fase austenítica a una microestructura martensítica o bainítica. Los aceros que comprenden carburos son conocidos por lo general. Los aceros al carbono de baja aleación generan carburos de hierro durante el revenido. Estos carburos se hacen más gruesos a elevadas temperaturas lo que reduce la resistencia del acero. Cuando los aceros contienen elementos formadores de carburos fuertes tales como molibdeno, vanadio y cromo, la resistencia se puede aumentar mediante un revenido prolongado a altas temperaturas. Esto es debido a que los carburos aleados precipitan a determinadas temperaturas. Normalmente estos aceros reducen su resistencia de endurecimiento primario cuando se someten a revenido a una temperatura de 100 °C a 450 °C. A una temperatura de 450 °C a 550 °C estos carburos aleados precipitan y aumentan su resistencia hasta la dureza primaria, o incluso por encima de ella, lo que se denomina endurecimiento secundario. Esto se produce debido a que los elementos aleantes (tales como molibdeno, vanadio y cromo) pueden difundirse durante un recocido prolongado para precipitar carburos de aleación finamente dispersos. Los carburos de aleación encontrados en aceros de endurecimiento secundario son termodinámicamente más estables que los carburos de hierro y muestran poca tendencia al engrosamiento. Las características de revenido para varios aceros se pueden observar en la figura 1.

Son conocidos también los aceros de endurecimiento por precipitación intermetálica. Tanto el endurecimiento por precipitación de carburos como por precipitación intermetálica se basan en cambios de la solubilidad sólida con la temperatura para producir partículas finas de una fase de impurezas, lo que dificulta el movimiento de dislocaciones, o defectos en la red cristalina. Puesto que las dislocaciones son a menudo los portadores dominantes de la plasticidad, esto sirve para endurecer el material. Los aceros de endurecimiento por precipitación pueden comprender, por ejemplo, aluminio y níquel, que forman la fase de impurezas.

La presencia de partículas de una segunda fase produce frecuentemente distorsiones de la red. Estas distorsiones de la red se producen cuando las partículas de precipitado difieren en tamaño y estructura cristalográfica de los átomos del huésped. Partículas de precipitado más pequeñas en una red huésped llevan a una tensión de tracción, mientras que partículas de precipitado más grandes llevan a una tensión de compresión. Asimismo los defectos de dislocación generan un campo de tensión. Por encima de la dislocación hay una tensión de compresión y por debajo hay una tensión de tracción. Por consiguiente, hay una energía de interacción negativa entre una dislocación y un precipitado que causan cada uno, respectivamente, una tensión de compresión y una tensión de tracción, o al revés. En otros términos, la dislocación será atraída por el precipitado. Además, hay una energía de interacción positiva entre una dislocación y un precipitado que tienen el mismo tipo de campo de tensión. Esto significa que la dislocación será repelida por el precipitado.

Las partículas de precipitado también actúan cambiando localmente la rigidez del material. Las dislocaciones son repelidas por regiones de mayor rigidez. A la inversa, si el precipitado hace que el material sea localmente más flexible, entonces la dislocación será atraída por esa región.

Los aceros que comprenden tanto carburos de aleación como precipitados intermetálicos son poco frecuentes pero conocidos. Estos aceros, sin embargo, no están optimizados para una baja segregación o para una dureza optimizada después del revenido. Por ejemplo, el documento US 5 393 488 divulga un acero con un mecanismo de endurecimiento doble con precipitados intermetálicos y carburos de aleación. Este acero comprende:

C: hasta un 0,30 % en peso

Ni: 10-18 % en peso

Mo: 1-5 % en peso

60 Al: 0,5-1,3 % en peso

Cr: 1-3 % en peso

Co: 8-16 % en peso.

Se sabe que el cobalto tiene efectos adversos para la salud así como efectos medioambientales negativos. Al mismo tiempo, es deseable potenciar las propiedades deseadas en general y, en particular, la resistencia a alta temperatura.

Cada calidad de acero se segregará más o menos dependiendo de la composición del acero. Se han examinado numerosas calidades de acero para determinar las variaciones de las composiciones químicas. En la figura 2 se pueden observar los diversos elementos de la fabricación normal del acero y la tendencia a la segregación. Cuanto mayor es el valor de la tasa de segregación, más se segregará. El carbono tiene una enorme influencia en el reparto de diversos elementos formadores de carburos, tales como Mo, Cr y V. Cuanto mayor es el contenido de carbono, más segregación se producirá. Tanto a microescala como a macroescala. En la figura 3 puede verse la segregación de diversos aceros. El valor absoluto de Cr, Mo o V será la tasa de segregación multiplicada por el contenido nominal del acero. Puesto que el cromo tiene una baja tendencia a la segregación, se puede establecer una restricción flexible de la cantidad. Por otro lado, la cantidad de Mo y V se debe controlar hasta un 1,0-1,5 % en peso debido a su tendencia a la segregación.

El acero M-50 se afina frecuentemente usando procesos de fusión por inducción en vacío (VIM) y de refusión por arco en vacío (VAR), y exhibe una excelente resistencia a las tensiones multiaxiales y al reblandecimiento a temperaturas de uso elevadas así como una buena resistencia a la oxidación. Sin embargo, experimenta segregación, tal como se puede observar en la figura 3, lo que sería deseable evitar. Además, es bastante caro de fabricar.

El documento EP 0 867 522 A2 divulga un acero martensítico de endurecimiento por precipitación con una composición elemental similar.

El documento US 3 619 179 A divulga el acero RV1619 a modo de ejemplo que tiene un menor contenido de manganeso.

En visto de esto, es un problema en la técnica cómo proporcionar un acero en el que sea posible tener cantidades despreciables de cobalto y que, al mismo tiempo, tenga tanto una baja segregación como propiedades mecánicas mejoradas también a altas temperaturas.

Sumario

Un objeto de la presente invención es evitar al menos algunas de las desventajas de la técnica anterior y proporcionar un acero de endurecimiento por precipitación mejorado.

En un primer aspecto, se proporciona un acero de endurecimiento por precipitación con una composición tal como la definida en la reivindicación 1.

La relación entre el Al y el Ni se selecciona ya que el uso óptimo de Ni y Al se corresponderá con sus masas atómicas cuando se forman precipitados de Ni y Al.

En un segundo aspecto, se proporciona un método de fabricación de una parte del acero de endurecimiento por precipitación descrito anteriormente, caracterizado por que el acero de endurecimiento por precipitación se somete a revenido a una temperatura de 510-530 °C durante 1-8 horas para obtener precipitados que comprenden Ni y Al.

En un tercer aspecto, se proporciona el uso del acero de endurecimiento por precipitación descrito anteriormente para aplicaciones en las que el acero de endurecimiento por precipitación se somete a una temperatura durante el uso de 250 a 300 °C. En una realización alternativa, se proporciona el uso del acero de endurecimiento por precipitación descrito anteriormente para aplicaciones en las que el acero de endurecimiento por precipitación se somete a una temperatura durante el uso de 300 a 500 °C. En otra realización adicional, se proporciona el uso del acero de endurecimiento por precipitación descrito anteriormente para aplicaciones en las que el acero de endurecimiento por precipitación se somete a una temperatura durante el uso de 250 a 500 °C.

En las reivindicaciones adjuntas se definen aspectos y realizaciones adicionales.

Una ventaja es que se puede proporcionar el acero de endurecimiento por precipitación con solamente cantidades traza de cobalto no deseado. Es posible usar niveles de cobalto muy por debajo del 0,01 % en peso. Las cantidades son tan bajas que se evitan los efectos no deseados. Se prefieren cantidades bajas de cobalto debido a los problemas medioambientales y para la salud asociados al cobalto.

Otra ventaja es que aumenta la resistencia a temperaturas elevadas. Las temperaturas elevadas a las que aumenta la resistencia son normalmente de 250-300 °C o incluso de hasta 500 °C. En una realización, el límite superior de temperatura para el uso adecuado del acero de endurecimiento por precipitación es 450 °C.

El acero de endurecimiento por precipitación es más económico de fabricar en comparación con los aceros de endurecimiento por precipitación actuales con la misma resistencia a temperaturas elevadas. El acero de endurecimiento por precipitación de acuerdo con la invención tiene la misma resistencia a 250 °C que el acero de endurecimiento por precipitación 4 de la figura 4, siendo el acero de endurecimiento por precipitación 4 el M50, que

es más costoso de fabricar ya que requiere un proceso diferente y más caro, tal como una refusión usando ESR o VAR.

Otra ventaja adicional es que el acero de endurecimiento por precipitación es adecuado para la nitruración.

5

Breve descripción de las figuras

La invención se describirá ahora, a modo de ejemplo, con referencia a las figuras adjuntas, en las que:

10 La figura 1 muestra la dureza de revenido tras el revenido a 520 °C como una función del tiempo de revenido. El acero de endurecimiento por precipitación de acuerdo con la invención se compara con otros dos aceros. La dureza HV10 se determina usando un durómetro calibrado KB30S. Las cantidades de elementos en los diferentes aceros de la tabla se dan en % en peso.

15 La figura 2 muestra diversos elementos de la fabricación normal del acero (Cr, Mo y V) y su tendencia a la segregación para diferentes intervalos de carbono. Las composiciones de acero 1-8 divulgadas en la tabla de la figura 2 son las composiciones de acero para las que se ha medido y calculado la tasa de segregación de la figura 2.

20 La figura 3 muestra una comparación de la segregación del acero de endurecimiento por precipitación de la invención así como de dos aceros usados normalmente a alta temperatura. El 297A es de un acero de acuerdo con la presente invención. Los dos últimos son aceros no de acuerdo con la invención (AISI M50 y Ovako 827Q).

25 La figura 4 muestra un gráfico del límite de fatiga en MPa para una flexión rotatoria a alta temperatura de acuerdo con la norma ASTM 468-90 como una función de la temperatura de ensayo para varios tipos de acero. Se da la composición para el acero de endurecimiento por precipitación de la invención así como para los aceros ensayados. El acero de endurecimiento por precipitación de la invención tiene el mismo límite de fatiga (aproximadamente 725 MPa) que el acero 4 (AISI M50) a 250 °C.

30 La figura 5 muestra un gráfico del límite elástico Rp02 en MPa como una función de la temperatura medido de acuerdo con la norma SS-EN ISO 6892-2:2011 para el acero de endurecimiento por precipitación de la invención y para el EN 100Cr6 (acero 1) y el EN 42CrMo4 (acero 2), estos dos últimos no de acuerdo con la invención.

35 La figura 6 muestra los resultados de ensayo de una prueba de corrosión de acuerdo con la norma VDA 233-102. Se muestra la pérdida de masa en g/m² para el acero 1, 100Cr6, y para un acero de endurecimiento por precipitación de acuerdo con la invención, respectivamente, en la semana 3 y la semana 6.

Descripción detallada

40 Antes de divulgar la invención y describirla con detalle, se ha de entender que la presente invención no se limita a los compuestos, configuraciones, etapas de método, sustratos y materiales particulares divulgados en el presente documento ya que tales compuestos, configuraciones, etapas de método, sustratos y materiales pueden variar de alguna manera. Asimismo, se ha de entender que la terminología empleada en el presente documento se usa con el fin de describir solamente realizaciones particulares y no pretende ser limitante puesto que el alcance de la presente invención solo está limitado por las reivindicaciones adjuntas.

45 Cabe señalar que, tal como se usan en la presente memoria descriptiva y en las reivindicaciones adjuntas, las formas en singular "un", "uno", "una", "el" y "la" incluyen las referencias en plural a menos que el contexto indique claramente lo contrario.

50 Si no se define otra cosa, cualquier término y terminología científica empleados en el presente documento se pretende que tengan los significados comúnmente comprendidos por los expertos en la técnica a la que pertenece la presente invención.

55 La expresión "que carece esencialmente de cobalto" y expresiones similares significan que solamente hay presentes cantidades traza de cobalto. En una realización, "que carece esencialmente de cobalto" significa una cantidad por debajo de un umbral sugerido para el cobalto del 0,01 % en peso.

60 Todos los porcentajes se calculan en peso, a menos que se indique claramente lo contrario. La composición de los aceros se da en % en peso. Todas las relaciones se calculan en peso, a menos que se indique claramente lo contrario.

En un primer aspecto se proporciona un acero de endurecimiento por precipitación con la composición:

65 C: 0,05-0,30 % en peso
Ni: 3-9 % en peso

Mo: 0,5-1,5 % en peso
 Al: 1-3 % en peso
 Cr: 2-14 % en peso
 V: 0,25-1,5 % en peso
 Co: 0-0,03 % en peso
 Mn: 0-0,3 % en peso
 Si: 0-0,3 % en peso

5
 10 opcionalmente pequeñas cantidades de otros elementos aleantes tal como se especifica a continuación, siendo la parte restante hasta el 100 % en peso Fe y elementos de impurezas, con la condición adicional de que las cantidades de Al y Ni cumplan también la fórmula $(Al = Ni/3) \pm 0,5$ % en peso, con la condición de que la cantidad de Al sea del 1 % en peso si la fórmula da como resultado una cantidad de Al inferior al 1 % en peso y de que la cantidad de Al sea del 3 % en peso si la fórmula da como resultado una cantidad de Al superior al 3 % en peso.

15 Las cantidades de todos los elementos son en % en peso.

20 Carbono (C): de un 0,05 a un 0,3 % en peso. El C es un elemento aleante fuerte que estabiliza la fase austenítica. El C es necesario para el acero de endurecimiento por precipitación a fin de que dicho acero de endurecimiento por precipitación tenga la capacidad de endurecerse y reforzarse mediante tratamiento térmico. Un exceso de C aumentará el riesgo de formación de carburo de cromo, lo que degrada, por tanto, varias propiedades mecánicas y otras propiedades tales como la ductilidad, la tenacidad al impacto y la resistencia a la corrosión. Las propiedades mecánicas se ven afectadas también por la cantidad de fase austenítica conservada después del endurecimiento y esta cantidad depende del contenido de C. De acuerdo con ello, el contenido de C se establece en un máximo de un 0,3 % en peso.

25 Níquel (Ni): 3-9 % en peso. El Ni es un elemento aleante que estabiliza la fase austenítica y que, por tanto, estabiliza una fase austenítica después de un tratamiento térmico de endurecimiento. Se ha descubierto también que el Ni proporciona una tenacidad al impacto muy mejorada además de la contribución a la tenacidad general que es proporcionada por una fase austenítica conservada. En la presente descripción, se ha descubierto que equilibrando la cantidad de Ni y Al se obtiene un primer tipo de precipitaciones que comprenden Al y Ni. Así, la cantidad de Ni se debe equilibrar con la cantidad de Al para cumplir la fórmula de la reivindicación.

35 Molibdeno (Mo): 0,5-1,5 % en peso. El Mo es un elemento aleante fuerte que estabiliza la fase ferrítica y que, por tanto, promueve la formación de la fase ferrítica durante el recocido o el trabajo en caliente. Una ventaja importante del Mo es que contribuye a la resistencia a la corrosión. El Mo también es conocido por reducir la fragilidad por revenido en aceros martensíticos y, por tanto, mejora las propiedades mecánicas. Sin embargo, el Mo es un elemento costoso y el efecto sobre la resistencia a la corrosión se obtiene incluso en bajas cantidades. El contenido mínimo de Mo, por tanto, es de un 0,5 % en peso. Además, una cantidad excesiva de Mo influye en la transformación de austenita a martensita durante el endurecimiento y, finalmente, en el contenido de la fase austenítica conservada. Por tanto, el límite superior del Mo se establece en un 1,5 % en peso.

40 Aluminio (Al): 1-3 % en peso. El Al es un elemento usado comúnmente como agente desoxidante ya que es eficaz en la reducción del contenido de oxígeno durante la producción del acero. En el acero, el aluminio forma un primer tipo de precipitaciones junto con el Ni para mejorar las propiedades mecánicas. La relación entre el Al y el Ni se determina mediante la fórmula $Al = Ni/3$ y añadiendo el $\pm 0,5$ % en peso marginal. La fórmula $Al = Ni/3 \pm 0,5$ se debe usar con las cantidades de Al y Ni expresadas en porcentajes en peso. La fórmula proporciona una condición adicional que se ha de cumplir junto con el resto de las otras condiciones. Si se asume que Ni = 9 % en peso, la fórmula da entonces que Al = $3 \pm 0,5$ % en peso, es decir, está en el intervalo del 2,5 al 3,5 % en peso. Sin embargo, existe también la condición de que la cantidad de Al es de un 1-3 % en peso. La última condición se debe interpretar en la presente descripción de modo que si la primera fórmula da una cantidad de Al que es del 3 % en peso o superior, entonces se debe usar un 3 % en peso. Si la primera fórmula da una cantidad de Al que es del 1 % en peso o inferior, entonces se debe usar un 1 % en peso de Al. Así, la fórmula proporciona una condición adicional que se debe aplicar junto con las otras condiciones con respecto a las cantidades de Al y Ni. Ambas condiciones deben ser aplicadas. En este ejemplo particular, la cantidad de Al llega a ser del 2,5 al 3,0 % en peso ya que el valor dado por la fórmula 3,5 es sustituido por 3,0. Si se asume que Ni = 3 % en peso, esta fórmula da entonces que Al = $1 \pm 0,5$ % en peso. Sin embargo, existe también la condición de que la cantidad de Al es del 1-3 % en peso. Estas condiciones juntas dan que el Al debe estar entre el 1 y el 1,5. La relación entre el Al y el Ni se selecciona ya que el uso óptimo de Ni y Al se corresponderá con sus masas atómicas cuando se forman precipitados de Ni y Al.

60 Cromo (Cr): 2-14 % en peso. Es uno de los elementos aleantes básicos de un acero y un elemento que proporciona resistencia a la corrosión al acero mediante la formación de una capa protectora de óxido de cromo sobre la superficie. El Cr es también un elemento aleante que estabiliza la fase ferrítica. Sin embargo, si el Cr está presente en una cantidad excesiva, la tenacidad al impacto puede disminuir y se pueden formar adicionalmente una fase ferrítica y carburos de cromo tras el endurecimiento. La formación de carburos de cromo degradará las propiedades mecánicas del acero de endurecimiento por precipitación. En una realización, la cantidad de Cr está en el intervalo del 2-10 % en peso. Este nivel de cromo está justo por debajo del límite para un acero inoxidable.

Vanadio (V): 0,25-1,5 % en peso. El V es un elemento aleante que estabiliza la fase ferrítica y que tiene una elevada afinidad por el C y el N. El V es un elemento de endurecimiento por precipitación y se considera un elemento microaleante en el acero de endurecimiento por precipitación y se puede usar para afino del grano. El afino del grano se refiere a un método para el control del tamaño del grano a altas temperaturas mediante la introducción de pequeños precipitados en la microestructura, lo cual limita la movilidad de los límites del grano y, de ese modo, reduce el crecimiento del grano austenítico durante el trabajo en caliente o el tratamiento térmico. Un tamaño de grano austenítico pequeño es conocido por mejorar las propiedades mecánicas de la microestructura martensítica formada tras el endurecimiento. El acero comprende un segundo tipo de precipitaciones que comprenden carburos de al menos un elemento seleccionado entre el grupo que consiste en Cr, Mo y V. Estas precipitaciones junto con el primer tipo de precipitaciones que comprenden Al y Ni proporcionan propiedades mecánicas mejoradas.

Cobalto (Co): 0-0,03 % en peso. En una realización, la cantidad de Co es inferior al 0,03 % en peso. En una realización, la cantidad de Co es inferior al 0,02 % en peso. En otra realización, la cantidad de Co es inferior al 0,01 % en peso. Se ha propuesto que el cobalto sea etiquetado como carcinógeno, categoría 1B H350, con un límite de concentración específico (SCL) del 0,01 % en peso, es decir, un contenido de cobalto superior al 0,01 % en peso podría ser potencialmente perjudicial. Se desea un contenido bajo de cobalto y, en otra realización adicional, la cantidad de Co es inferior al 0,005 % en peso. En una realización, existe un límite inferior del Co del 0,0001 % en peso. Una ventaja de la invención es que es posible tener una cantidad muy baja de cobalto conservando a la vez las propiedades deseadas. La cantidad de cobalto es tan baja, o al menos se puede hacer que sea tan baja, que el acero puede denominarse esencialmente sin cobalto. La cantidad baja de cobalto no proporciona propiedades alteradas en otros aspectos tales como las propiedades mecánicas o la resistencia a alta temperatura.

Manganeso (Mn): 0-0,3 % en peso. El Mn es un elemento aleante que estabiliza la fase austenítica. Sin embargo, si el contenido de Mn es excesivo, la cantidad de fase austenítica conservada puede llegar a ser demasiado grande y se pueden degradar varias propiedades mecánicas, así como la dureza y la resistencia a la corrosión. Asimismo, un contenido de Mn demasiado elevado puede degradar las propiedades del trabajo en caliente y también alterar la calidad de la superficie. En una realización, la cantidad de Mn es del 0-0,3 % en peso. En una realización, el límite inferior de Mn es del 0,001 % en peso. Las concentraciones de Mn mencionadas no afectan negativamente a las propiedades del acero de endurecimiento por precipitación hasta un grado perceptible. El Mn es un elemento común en el acero en bajas concentraciones. Con respecto al Mn, el experto en la técnica debe tener en cuenta que este influye en la cantidad total de Ni_{eq} y el experto en la técnica puede que tenga que adaptar, por tanto, la concentración de otros equivalentes de níquel. Esto es aplicable a todos los otros equivalentes de níquel.

Silicio (Si): 0-0,3 % en peso. El Si es un elemento aleante fuerte que estabiliza la fase ferrítica y que, por tanto, su contenido dependerá también de las cantidades de los otros elementos formadores de ferrita, tales como Cr y Mo. El Si se usa principalmente como agente desoxidante durante el afino por fusión. Si el contenido de Si es excesivo, en la microestructura se puede formar la fase ferrítica así como precipitados intermetálicos, lo que degrada varias propiedades mecánicas. De acuerdo con ello, el contenido de Si se establece en un máximo de un 0,3 % en peso. En una realización, la cantidad de Si es del 0-0,15 % en peso. En una realización, el límite inferior de Si es del 0,001 % en peso.

Opcionalmente, se pueden añadir pequeñas cantidades de otros elementos aleantes al acero de endurecimiento por precipitación tal como se define previamente o a continuación en el presente documento a fin de mejorar, por ejemplo, la maquinabilidad o las propiedades del trabajo en caliente, tales como la ductilidad en caliente. Un ejemplo, si bien no limitante, de tales elementos son Ca, Mg, B, Pb y Ce. Las cantidades de uno o más de estos elementos son un máximo de un 0,05 % en peso.

Cuando se usan los términos o expresiones "máximo" o "inferior o igual a", el experto en la técnica sabe que el límite inferior del intervalo es un 0 % en peso, a menos que se indique específicamente otro número.

El resto de elementos del acero de endurecimiento por precipitación tal como se define previamente o a continuación en el presente documento son el hierro (Fe) y las impurezas que existen normalmente. Ejemplos de impurezas son elementos y compuestos que no se han añadido a propósito, pero que no se pueden evitar por completo ya que existen normalmente como impurezas, por ejemplo en la materia prima o los elementos aleantes adicionales usados para la fabricación del acero de endurecimiento por precipitación.

La expresión "elementos de impurezas" se usa para incluir, además del hierro en el balance de la aleación, pequeñas cantidades de impurezas y elementos circunstanciales, cuyo carácter y/o cantidad no influyen negativamente en los aspectos ventajosos de la aleación de acero de endurecimiento por precipitación. La masa de la aleación puede contener ciertos niveles normales de impurezas, ejemplos de los cuales incluyen, si bien no se limitan a los mismos, hasta aproximadamente 30 ppm de nitrógeno, de oxígeno y de azufre.

En una realización, el acero de endurecimiento por precipitación comprende un primer tipo de precipitaciones que comprenden Al y Ni y un segundo tipo de precipitaciones que comprenden carburos de al menos un elemento seleccionado entre el grupo que consiste en Cr, Mo y V. Los dos tipos de precipitaciones proporcionan propiedades

mecánicas mejoradas.

En un segundo aspecto, se proporciona un método de fabricación de una parte del acero de endurecimiento por precipitación descrito anteriormente, en el que el acero de endurecimiento por precipitación se somete a revenido a una temperatura de 510-530 °C para obtener precipitados que comprenden Ni y Al. Esto proporciona las precipitaciones que comprenden Al y Ni. En una realización, el acero de endurecimiento por precipitación se somete a revenido a una temperatura de 520 °C. En otra realización, el acero de endurecimiento por precipitación se somete a revenido a una temperatura de 520 °C ± 2 %. En una realización, el acero de endurecimiento por precipitación se somete a revenido durante 1-8 horas. En una realización, el acero de endurecimiento por precipitación se somete a revenido durante 6-8 horas. En otra realización adicional, el acero de endurecimiento por precipitación se somete a revenido durante 6 horas ± 0,5 horas.

En una realización, el acero de endurecimiento por precipitación se mecaniza antes del revenido. Esto tiene la ventaja de que el acero de endurecimiento por precipitación tiene menor resistencia antes del revenido que después del revenido y, por tanto, es más fácil de mecanizar antes del revenido que después del revenido. En la figura 1 se puede ver el aumento de la dureza durante el revenido a 520 °C. Para un acero que tiene esencialmente el mismo contenido excepto para el Al (acero 1), no hay esencialmente un aumento de la dureza, mientras que para un acero de acuerdo con la invención se puede ver un aumento de la dureza que alcanza un máximo a aproximadamente 6 horas. Este aumento de la dureza se atribuye a la formación de precipitados que comprenden Ni y Al. El acero bien con elementos de endurecimiento secundario o bien con adición de Ni-Al tiene una dureza limitada después del revenido a 520 °C (acero 2).

En una realización, el tratamiento por solución se lleva a cabo antes del revenido. En una realización, el tratamiento por solución se lleva a cabo en el intervalo de temperaturas de 900-1000 °C durante 0,2-3 h. La composición se debe seleccionar de modo que sea posible un tratamiento por solución en el campo de la fase austenítica. El Cr, el Al y el Mo estabilizan la ferrita mientras que el Mn y el Ni estabilizan la austenita. El acero de la invención asegura un campo de la fase austenítica adecuado para el endurecimiento.

En una realización, el límite de fatiga de acuerdo con la norma ASTM 468-90 a 250 °C es superior a 700 MPa. En la figura 4 se puede ver que un acero de acuerdo con la invención tiene el mismo límite de fatiga a 250 °C que el AISI50 (acero 4). Sin embargo, el acero AISI 50 tiene una alta segregación mientras que el acero de la invención tiene una baja segregación, tal como se puede observar en la figura 3.

En un tercer aspecto, se proporciona el uso del acero descrito anteriormente para aplicaciones en las que el acero se somete a una temperatura durante el uso de 250 a 300 °C. En una realización alternativa, se proporciona el uso del acero descrito anteriormente para aplicaciones en las que el acero se somete a una temperatura durante el uso de 300 a 500 °C. En otra realización adicional, se proporciona el uso del acero descrito anteriormente para aplicaciones en las que el acero se somete a una temperatura durante el uso de 250-500 °C. En una realización adicional, se proporciona el uso del acero descrito anteriormente para aplicaciones en las que el acero se somete a una temperatura durante el uso de 250-450 °C. En las figuras 4 y 5 se puede observar que el límite de fatiga y el límite elástico son elevados también a altas temperaturas.

Con respecto a la fórmula $Al = Ni/3$, si se asume que Ni = 9 % en peso, entonces se debe usar un 3 % en peso de Al. Las dos condiciones tomadas conjuntamente dan que la cantidad de Al debe estar entre el 2,5 y el 3 % en peso en este ejemplo particular. Si el valor extremo del intervalo del Al (es decir, el 3 % en peso) se alcanza, se debe seleccionar el valor máximo de ese elemento (es decir, el 3 % en peso de Al). El acero de la invención asegura un campo de la fase austenítica adecuado para el endurecimiento.

Si se asume que Ni = 6,5 % en peso, esta fórmula da entonces que $Al = 2,1666... \pm 0,5$ % en peso. Es decir, entre el 1,666... y el 2,666 % en peso. Es decir, con un decimal entre 1,7 y 2,7 % en peso. Si se asume que Ni = 3 % en peso, entonces $Al = 1 \pm 0,5$ % en peso. Es decir, un 1-1,5 % en peso teniendo en cuenta todas las condiciones.

El proceso de endurecimiento por precipitación se puede continuar mediante tratamiento por solución, o solubilización, y es la primera etapa en el proceso de endurecimiento por precipitación en la que la aleación se calienta por encima de la temperatura sólida hasta que se obtiene una solución sólida homogénea.

Las propiedades de corrosión son mejoradas. De acuerdo con una prueba de corrosión efectuada según la norma VDA 233-102, las propiedades de corrosión son mejores para el acero de la invención en comparación con el 100Cr6 (acero 1). Los datos se muestran en la figura 6.

La nitruración es un proceso de tratamiento térmico que difunde nitrógeno en la superficie de un metal para generar una superficie cementada. El contenido de Cr, Mo y Al hace que el acero sea adecuado para la nitruración. La nitruración se usa adecuadamente para mejorar adicionalmente las propiedades mecánicas. En una realización, se lleva a cabo la nitruración del acero.

Todas las realizaciones alternativas descritas anteriormente, o partes de una realización, se pueden combinar

libremente sin alejarse del concepto inventivo siempre que la combinación no sea contradictoria y esté de acuerdo con el alcance de las reivindicaciones adjuntas.

5 Otras características y otros usos de la invención, y las ventajas asociadas a los mismos, serán evidentes para el experto en la técnica con la lectura de la descripción y los ejemplos.

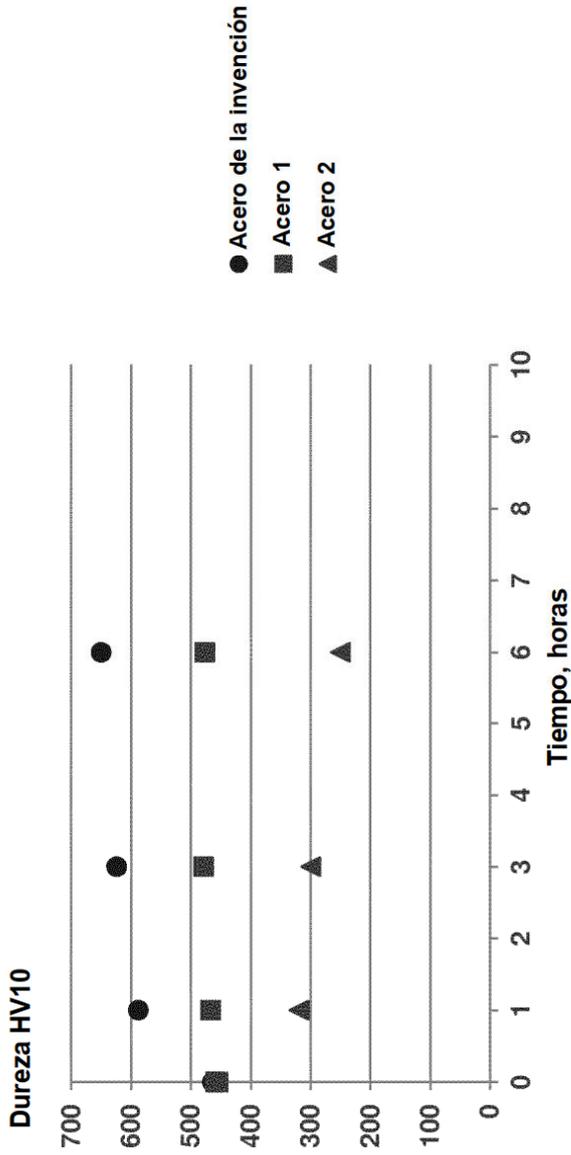
10 Se ha de entender que la presente invención no se limita a las realizaciones particulares mostradas en el presente documento. Las realizaciones se proporcionan con fines ilustrativos y no pretenden limitar el alcance de la invención puesto que el alcance de la presente invención solamente está limitado por las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un acero de endurecimiento por precipitación con la composición:

- 5 C: 0,05-0,30 % en peso
 Ni: 3-9 % en peso
 Mo: 0,5-1,5 % en peso
 Al: 1-3 % en peso
 Cr: 2-14 % en peso
 10 V: 0,25-1,5 % en peso
 Co: 0-0,03 % en peso
 Mn: 0-0,3 % en peso
 Si: 0-0,3 % en peso
- 15 siendo la parte restante hasta el 100 % en peso Fe y elementos de impurezas, con la condición adicional de que las cantidades de Al y Ni cumplan también una fórmula $Al = (Ni/3) \pm 0,5$ % en peso, y con la condición de que la cantidad de Al sea del 1 % en peso si la fórmula da como resultado una cantidad de Al inferior al 1 % en peso y de que la cantidad de Al sea del 3 % en peso si la fórmula da como resultado una cantidad de Al superior al 3 % en peso, comprendiendo el acero de endurecimiento por precipitación un primer tipo de precipitaciones que comprenden Al y Ni y un segundo tipo de precipitaciones que comprenden carburos de al menos un elemento seleccionado entre el grupo que consiste en Cr, Mo y V, comprendiendo el acero de endurecimiento por precipitación opcionalmente uno o más de Ca, Mg, B, Pb, Ce en cantidades de un máximo del 0,05 % en peso, en el que las impurezas de nitrógeno, oxígeno, y azufre están limitadas a 30 ppm de cada uno en la masa.
- 25 2. El acero de endurecimiento por precipitación de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la cantidad de Co es inferior al 0,01 % en peso.
3. El acero de endurecimiento por precipitación de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-2, en el que la cantidad de Cr es del 2-10 % en peso.
- 30 4. El acero de endurecimiento por precipitación de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-3, en el que el límite de fatiga de acuerdo con la norma ASTM 468-90 a 250 °C es superior a 700 MPa.
- 35 5. El acero de endurecimiento por precipitación de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-4, en el que el acero de endurecimiento por precipitación se nitrura.
6. Un método de fabricación de una parte del acero de endurecimiento por precipitación de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-5, caracterizado por que el acero de endurecimiento por precipitación se somete a revenido a una temperatura de 510-530 °C durante 1-8 horas para obtener precipitados que comprenden Ni y Al.
- 40 7. El método de acuerdo con la reivindicación 6, en el que el acero de endurecimiento por precipitación se somete a revenido durante 6-8 horas.
- 45 8. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 6-7, en el que el acero de endurecimiento por precipitación se mecaniza antes del revenido.
9. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 6-8, en el que el tratamiento por solución se lleva a cabo antes del revenido.
- 50 10. El método de acuerdo con la reivindicación 9, en el que el tratamiento por solución se lleva a cabo en el intervalo de temperaturas de 900-1000 °C durante 0,2-3 h.
11. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 6-10, en el que se lleva a cabo la nitruración.
- 55 12. Uso del acero de endurecimiento por precipitación de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-5 para aplicaciones en las que el acero de endurecimiento por precipitación se somete a una temperatura durante el uso de 250 a 500 °C.
- 60 13. Uso del acero de endurecimiento por precipitación de acuerdo con la reivindicación 12 para aplicaciones en las que el acero de endurecimiento por precipitación se somete a una temperatura durante el uso de 250 a 300 °C.

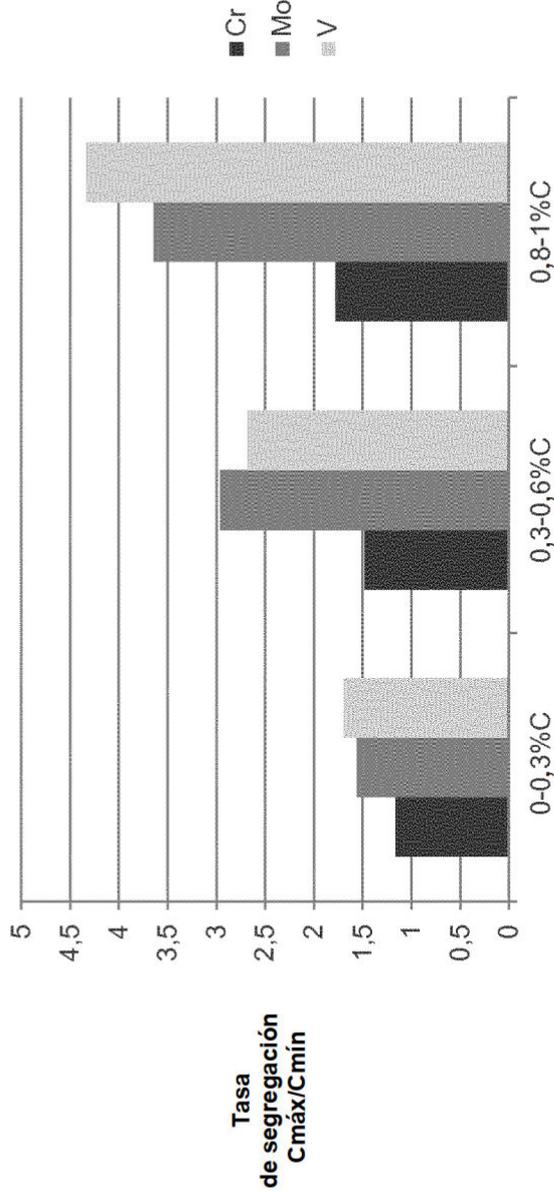
Dureza de revenido a 520 °C Medida en un durómetro automático KB30S



	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	Ni	Al
Acero de la invención	0,2	0,1	0,3	5	0,7	0,5	6	2
Acero 1	0,2	0,1	0,3	5	0,7	0,5	0,1	0,025
Acero 2	0,2	0,1	1	1	0,05	0,05	0,1	0,025

Fig 1

Tasa de segregación (análisis SEM EDX)



	C	Ni	Mo	Al	Cr	Mn	Si	Ti	Co	V
Acero 1	0,03	18	4,9	0,1	0,1	0,1	0,1	0,6	8	0,05
Acero 2	0,03	9,2	1,4	1,6	12	0,3	0,3	0,002	0,05	0,05
Acero 3	0,2	6	0,7	2	5	0,3	0,1	0,002	0,05	0,05
Acero 4	0,65	0,05	3,5	0,025	1,5	0,2	0,5	0,002	0,05	0,6
Acero 5	0,8	0,05	4,25	0,025	4	0,2	0,2	0,002	0,05	1
Acero 6	1	0,05	0,55	0,025	2	1	0,5	0,002	0,05	0,05
Acero 7	0,3	0,05	2	0,025	1,7	0,5	0,2	0,002	0,05	0,5
Acero 8	0,2	0,05	0,3	0,025	1,1	0,8	0,8	0,002	0,05	0,1

Fig 2

Segregación de elementos clave análisis SEM EDX

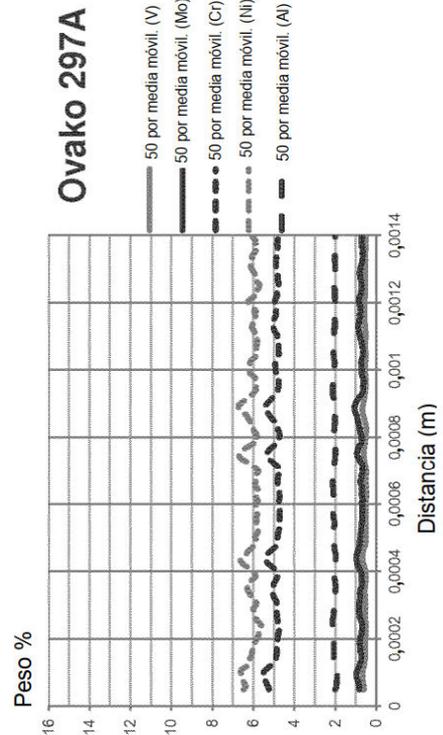
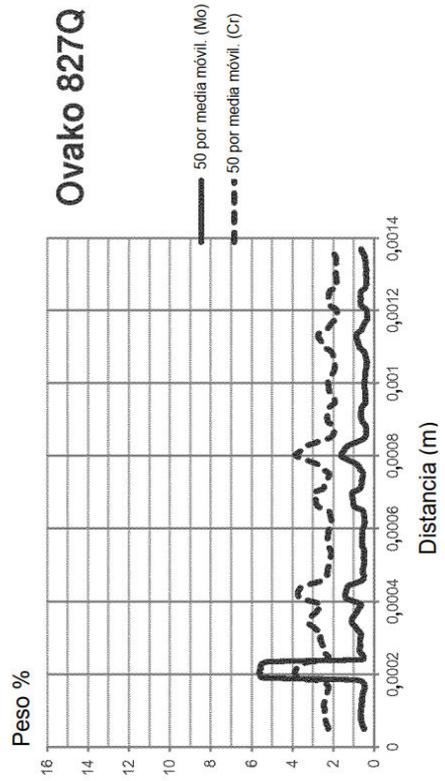
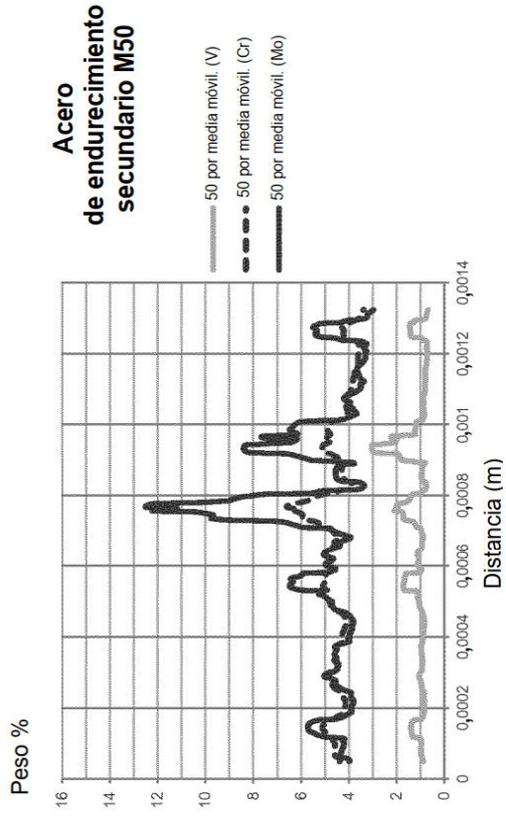
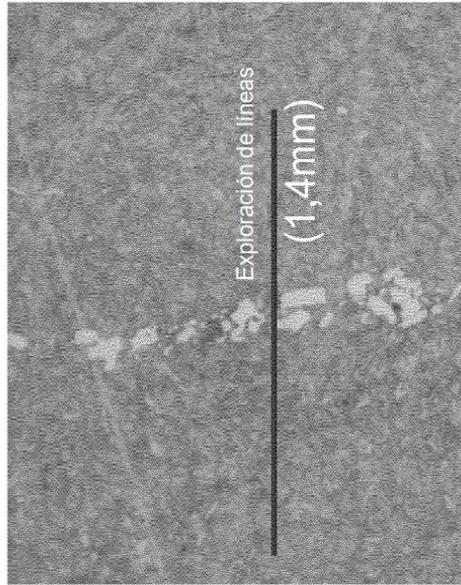


Fig 3

Flexión rotatoria a temperatura elevada

ASTM 468-90

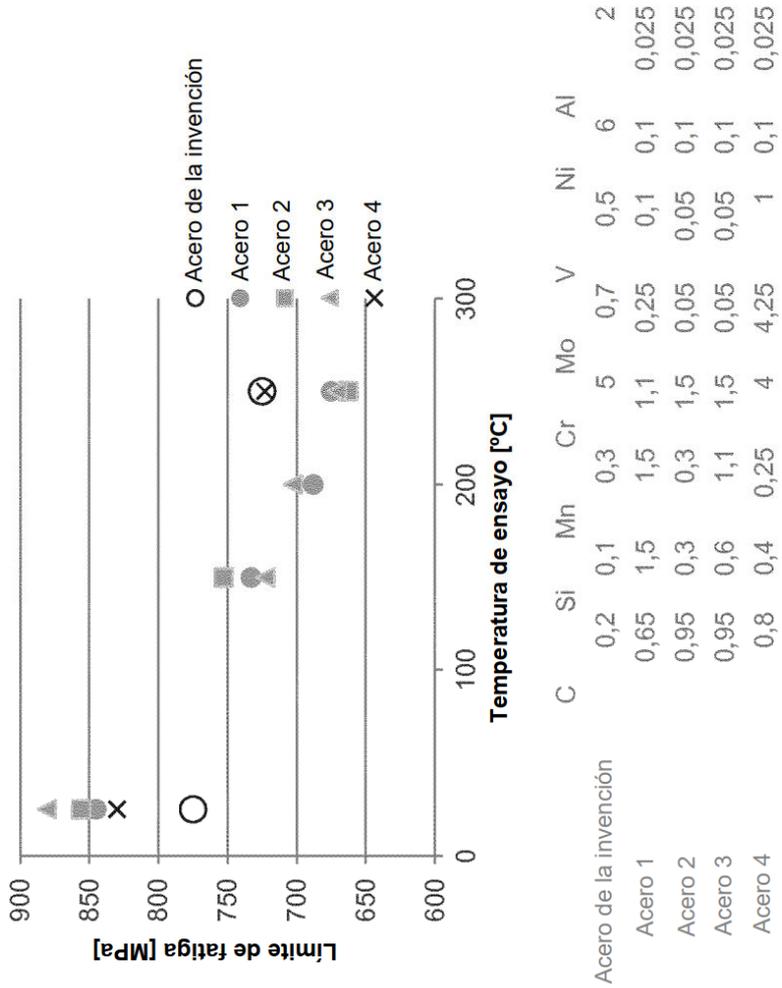


Fig 4

Límite elástico a temperatura elevada

SS-EN ISO 6892-2:2011

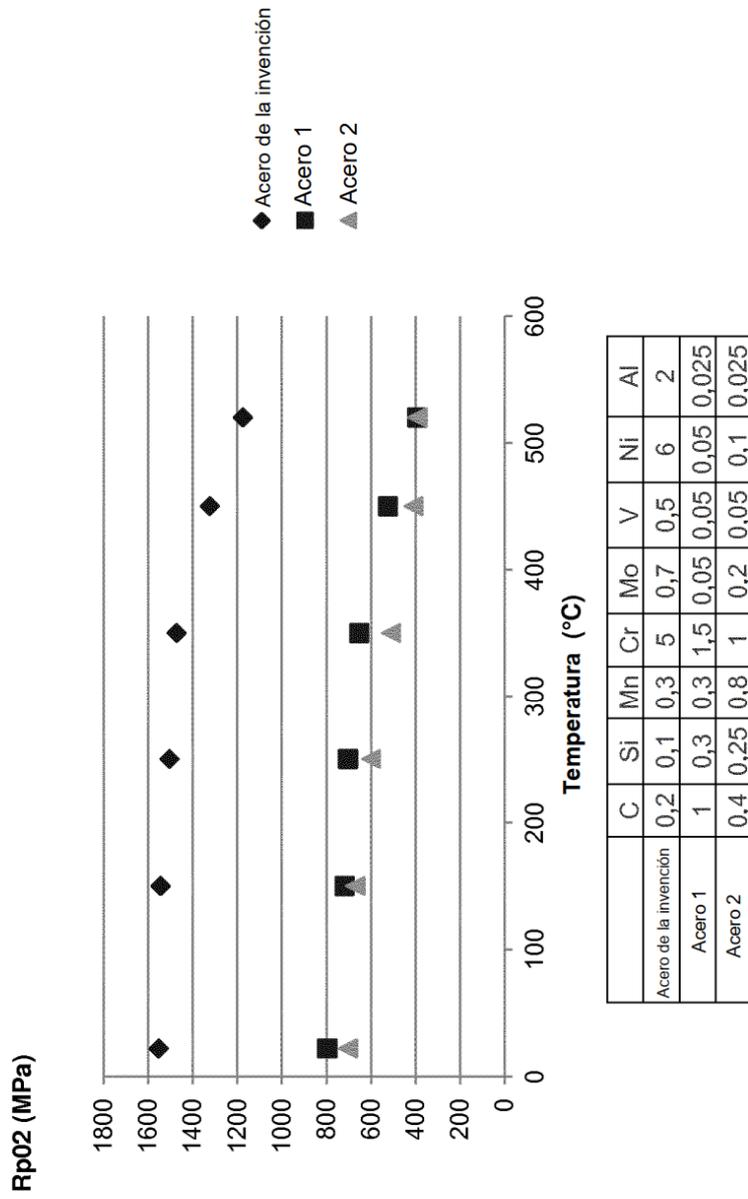
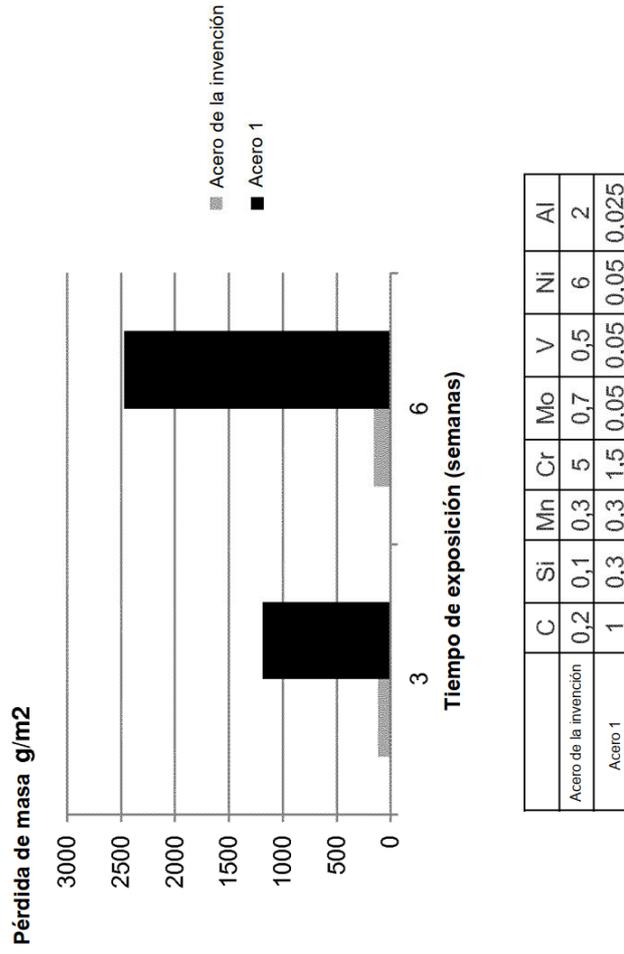


Fig 5

Prueba de corrosión (VDA 233-102)



	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	Ni	Al
Acero de la invención	0,2	0,1	0,3	5	0,7	0,5	6	2
Acero 1	1	0,3	0,3	1,5	0,05	0,05	0,05	0,025

Fig 6