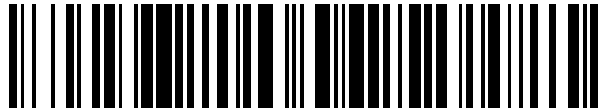


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 562 794**

51 Int. Cl.:

**C22C 38/00** (2006.01)

**C22C 38/02** (2006.01)

**C22C 38/42** (2006.01)

**C22C 38/58** (2006.01)

**C21D 9/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.03.2009 E 09155355 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.01.2016 EP 2226406**

54 Título: **Aleación de acero inoxidable austenítico bajo en Ni**

30 Prioridad:

**30.01.2009 SE 0900108**

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

**08.03.2016**

73 Titular/es:

**SANDVIK INTELLECTUAL PROPERTY AB  
(100.0%)  
811 81 Sandviken, SE**

72 Inventor/es:

**SÖDERMAN, ANDERS y  
NYLÖF, LARS**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

**ES 2 562 794 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**

Aleación de acero inoxidable austenítico bajo en Ni.

**Campo técnico**

5 La presente invención se refiere a una aleación de acero inoxidable austenítico con bajo contenido de níquel. La invención se refiere también a un acero fabricado con la aleación de acero

**Técnica antecedente**

10 El acero inoxidable austenítico es un material común para diversas aplicaciones puesto que estos tipos de acero presentan buena resistencia a la corrosión, buenas propiedades mecánicas así como una buena aptitud para ser trabajados. Los aceros inoxidables austeníticos estándar comprenden como mínimo 17% de cromo, 8% de níquel y el resto hierro. Con frecuencia incluyen también otros elementos de aleación.

15 La necesidad rápidamente creciente de aceros inoxidables en el mundo y la consiguiente demanda de elementos de aleación en la producción de acero han conducido a aumentos de los precios de metales. Especialmente se ha hecho caro el níquel, Por tanto se han hecho antes varios intentos para sustituir el níquel en los aceros inoxidables austeníticos con otros elementos de aleación, por ejemplo, como se describe en los documentos US 5286310 A1, US 6274084 y JP 3002357.

Los aceros descritos presentan una buena aptitud para ser trabajados en caliente y de endurecimiento por deformación. Estas son propiedades que son importantes para la fabricación de artículos de grandes dimensiones, tales como piezas pesadas. Sin embargo, loa aceros descritos antes han revelado ser inadecuados para ciertos artículos que requieren trabajado en frío, incluidas grandes reducciones de tamaño.

20 El documento WO0026428 describe una aleación de acero con níquel en la que la cantidad de elementos de aleación se han combinado para conseguir un acero conformable que presenta buena resistencia a la corrosión y el endurecimiento por trabajado. Además, el acero contiene elementos de aleación caros. Otra aleación de acero se describe en el documento JP2008038191. En esta aleación de acero, los elementos se han equilibrado para mejorar las propiedades de la superficie del acero. El documento P2007 19780G A describe un acero austenítico adecuado como material para un muelle. Sin embargo, las propiedades de las anteriormente mencionadas aleaciones de acero las hacen inadecuadas para procesos que implican un trabajado en frío que incluye una gran relación de reducción.

**Sumario de la invención**

30 Así, un objetivo de la presente invención es proporcionar una aleación de acero austenítico bajo en níquel que pueda ser trabajado en frío con altos valores de reducción. Seguidamente la aleación de acero inoxidable austenítico inventivo se denomina en esta memoria aleación de acero.

35 La aleación de acero inventiva debe tener buenas propiedades mecánicas, comparables a la calidad de acero conocida 302, así como buenas propiedades de corrosión. La composición de la aleación de acero debe ser controlada cuidadosamente en cuanto a la influencia de cada elemento de aleación de manera que se consiga una aleación de acero eficaz en cuanto a costes, que satisfaga las demandas sobre productividad y propiedades finales. Así, la aleación de acero debe exhibir buenas propiedades de aptitud para trabajado en caliente. La composición de acero debe ser además tan dúctil y estable frente al endurecimiento por deformación que pueda ser trabajado en frío a alta productividad y con altos grados de reducción sin agrietamiento ni ser frágil.

40 Otro objetivo de la presente invención es proporcionar un artículo fabricado de una aleación de acero inoxidable austenítico mejorado.

Los objetivos mencionados se alcanzan con una aleación de acero inoxidable austenítico que tiene una composición que consiste, en porcentajes en peso:

$$0,02 \leq C \leq 0,06$$

$$Si < 1,0$$

45  $2,0 \leq Mn \leq 6,0$

$$2,0 \leq Ni \leq 4,5$$

$$17 \leq Cr \leq 19$$

## ES 2 562 794 T3

$$2,0 \leq \text{Cu} \leq 4,0$$

$$0,15 \leq \text{N} \leq 0,25$$

$$0 \leq \text{Mo} \leq 1,0$$

$$0 \leq \text{W} \leq 0,3$$

5

$$0 \leq \text{V} \leq 0,3$$

$$0 \leq \text{Ti} \leq 0,5$$

$$0 \leq \text{Al} \leq 1,0$$

$$0 \leq \text{Nb} \leq 0,5$$

$$0 \leq \text{Co} \leq 1,0$$

10

$$\text{S} \leq 0,05$$

$$\text{P} \leq 0,05$$

el resto hasta completar hierro e impurezas normalmente presentes, caracterizada porque el contenido de los elementos de aleación se ajusta de manera que se satisfaga la condición siguiente:

$$\text{Ni}_{\text{equiv}} - 1,42 \cdot \text{Cr}_{\text{equiv}} \leq -13,42; \text{ y } \text{Ni}_{\text{equiv}} + 0,85 \cdot \text{Cr}_{\text{equiv}} \geq 29,00$$

15 en la que

$$\text{Cr}_{\text{equiv}} = [\% \text{Cr}] + 2 \cdot [\% \text{Si}] + 1,5 \cdot [\% \text{Mo}] + 5 \cdot [\% \text{V}] + 5,5 \cdot [\% \text{Al}] + 1,75 \cdot [\% \text{Nb}] + 1,5 \cdot [\% \text{Ti}] + 0,75 \cdot [\% \text{W}]$$

$$\text{Ni}_{\text{equiv}} = [\% \text{Ni}] + [\% \text{Co}] + 0,5 \cdot [\% \text{Mn}] + 0,3 \cdot [\% \text{Cu}] + 25 \cdot [\% \text{Ni}] + 30 \cdot [\% \text{C}]$$

y

$$-70^{\circ}\text{C} < \text{MD30} < -25^{\circ}\text{C}$$

20 en la que

$$\text{MD30} = 551 - 462 \cdot ([\% \text{C}] + [\% \text{N}]) - 9,2 [\% \text{Si}] - 8,1 [\% \text{Mn}] - 13,7 [\% \text{Cr}] - 29 \cdot ([\% \text{Ni}] + [\% \text{Cu}]) - 68 \cdot [\% \text{Nb}] - 18,5 \cdot [\% \text{Mo}]$$

por lo que se puede evitar el riesgo de un endurecimiento por deformación de una aleación de acero austenítico bajo en níquel, lo que garantiza que se alcanzan las propiedades mecánicas óptimas en la aleación de acero durante el trabajado.

25 La composición particular proporciona una aleación de acero inoxidable austenítico bajo en níquel con excelentes propiedades, excelentes propiedades mecánicas, excelente aptitud para ser trabajada y una resistencia a la corrosión mejorada en comparación con otras aleaciones de acero inoxidable austenítico bajo en níquel. La aptitud de la aleación de acero para ser trabajada se optimiza en cuanto a la conformación en frío y contenido reducido de níquel. La aleación de acero es especialmente adecuada para fabricación por procedimientos que implican unas relaciones de reducción del acero grandes. Por esta razón se pueden conseguir con la aleación de  
30 acero fácilmente artículos de pequeñas dimensiones, por ejemplo muelles, Por ejemplo, se pueden producir alambres de la aleación de acero por estiramiento en frío. Entre otros ejemplos de artículos figuran, no limitativamente, flejes, tubos, conductos, barras y productos fabricados por encabezamiento en frío y forja. Una  
35 ventaja de la composición inventiva de acero aleado es que permite fabricar un artículo por trabajado en frío en menos etapas de producción dado que se puede reducir el número de tratamientos térmicos intermedios.

Los artículos producidos de la aleación de acero han demostrado ser muy eficaces en cuanto a costes puesto que la cantidad de elementos de aleación se optimiza cuidadosamente en cuanto a su efecto sobre las propiedades de la aleación de acero.

40 El contenido de los elementos de aleación en la aleación de acero se puede ajustar preferiblemente de manera que se satisfaga la siguiente condición:

$$\text{Ni}_{\text{equiv}} - 1,42 \cdot \text{Cr}_{\text{equiv}} \geq -16,00$$

con lo que se restringe la fracción de la fase de ferrita en la estructura y se pueden alcanzar en la aleación de acero

óptimas propiedades mecánicas, especialmente ductilidad, junto con una resistencia a la corrosión aceptable.

El contenido de los elementos de aleación en la aleación de acero es ajusta de manera que se satisfaga la siguiente condición:

$$Ni_{equiv} + 0,85 * Cr_{equiv} \geq 29,00$$

- 5 con lo que el riesgo de que se forme martensita durante el enfriamiento o la deformación en frío se deprime, de manera que se puede controlar el endurecimiento por deformación y se consiguen óptimas propiedades mecánicas, especialmente ductilidad, rebajando el riesgo de formación de grietas.

El contenido de los elementos de aleación en la aleación de acero se ajusta de manera que se satisfaga la siguiente condición:

10 
$$Ni_{equiv} + 0,85 * Cr_{equiv} \leq 31,00$$

con lo que se puede controlar el riesgo de un endurecimiento por deformación demasiado alto de la fase austenítica no transformada y la formación de fases no deseadas tales como  $Cr_2N$  y  $N_2$  (gas), lo que garantiza que se alcanzan en la aleación de acero propiedades mecánicas óptimas deseadas.

- 15 El contenido de los elementos de aleación en la aleación de acero es ajusta de manera que se satisfaga la siguiente condición:

$$Ni_{equiv} + 0,85 * Cr_{equiv} \leq 30,00$$

con lo que se puede controlar el riesgo de un endurecimiento por deformación demasiado alto de la fase austenítica no transformada y la formación de fases no deseadas tales como  $Cr_2N$  y  $N_2$  (gas), lo que garantiza que se alcanzan en la aleación de acero propiedades mecánicas óptimas deseadas.

- 20 Preferiblemente la cantidad de silicio en la aleación de acero es  $\leq 0,6\%$  en peso y, más preferiblemente,  $0,2-0,6\%$  en peso. Preferiblemente, la cantidad de manganeso en la aleación de acero está en el intervalo entre  $2,0$  y  $5,5\%$  en peso, más preferiblemente de  $2,0$  a  $5,0\%$  en peso. Preferiblemente, la cantidad de níquel en la aleación de acero está en el intervalo entre  $2,5$  y  $4,0\%$  en peso. Preferiblemente, la cantidad de cromo en la aleación de acero está en el intervalo entre  $17,5$  y  $19\%$  en peso. Preferiblemente, la cantidad de molibdeno en la aleación de acero está en el intervalo entre  $0$  y  $0,5\%$  en peso. Preferiblemente, la cantidad de cada elemento wolframio, vanadio, titanio, aluminio y niobio (W, V, Ti, Al, Nb) en la aleación de acero es  $\leq 0,2\%$  en peso. Más preferiblemente, la cantidad de cada elemento wolframio, vanadio, titanio, aluminio y niobio (W, V, Ti, Al, Nb) en la aleación de acero es  $\leq 0,1\%$  en peso y la cantidad de (W+ V+ Ti+ Al+ Nb) es  $\leq 3\%$  en peso. Preferiblemente, la cantidad de cobalto en la aleación de acero está en el intervalo de  $0$  a  $0,5\%$  en peso.

- 30 La aleación de acero puede ser incluida ventajosamente en un artículo, por ejemplo, alambre, un muelle, un fleje, un tubo, un conducto, una barra y productos fabricados por encabezamiento en frío y forja.

La aleación de acero es óptima para uso en la fabricación de un artículo, por ejemplo, alambre, un muelle, un fleje, un tubo, un conducto, una barra, un artículo producto encabezado en frío o forjado, o un artículo producido por prensado en frío/conformado en frío.

35 **Descripción detallada de la invención**

Los inventores de la presente invención han encontrado que equilibrando cuidadosamente las cantidades de elementos de aleación descritos seguidamente, tanto atendiendo a los efectos de cada elemento separado como al efecto combinado de varios elementos, se logra una aleación de acero que tiene excelente ductilidad y excelentes propiedades para ser trabajada en comparación con otras aleaciones de acero inoxidable austenítico bajo en carbono. En particular han encontrado que se alcanzan óptimas propiedades del acero cuando las cantidades de los elementos de aleación están equilibrados de acuerdo con relaciones que se describen más adelante.

- 40 Seguidamente hay una descripción de los efectos de los diversos elementos de la aleación de acero junto con una explicación de la limitación de cada elemento separado.

**Elementos de aleación**

- 45 El carbono (C) estabiliza la fase austenítica en la aleación de acero a alta y baja temperaturas. El carbono también promueve el endurecimiento por deformación por aumentar la dureza de la fase martensítica, lo que en cierto sentido es deseable en la aleación de acero. El carbono aumenta además la resistencia mecánica y el efecto de envejecimiento de la aleación de acero. Pero una gran cantidad de carbono reduce drásticamente la ductilidad y la resistencia a la corrosión de la aleación de acero. La cantidad de carbono debe por tanto limitarse a un intervalo de

0,02 a 0,06% en peso.

Es necesario el silicio (Si) para eliminar oxígeno del acero fundido durante la fabricación de la aleación de acero. El silicio aumenta el efecto de envejecimiento. El silicio también promueve la formación de ferrita y, en grandes cantidades, aumenta la tendencia a la precipitación de fases intermetálicas. La cantidad de silicio en la aleación de  
 5 acero debe limitarse por tanto a un máximo de menos de 1,0% en peso. Preferiblemente, la cantidad de silicio está limitada a un intervalo de 0,2 a 0,6% en peso.

El manganeso (Mn) estabiliza la fase austenítica y por tanto es un elemento importante para reemplazar el níquel, con el fin de controlar la cantidad de fase ferrita formada en la aleación de hierro. Pero a contenidos muy altos, el manganeso cambiará de ser un elemento estabilizador de la austenita a ser un elemento estabilizador de ferrita.  
 10 Otro efecto positivo del manganeso es que promueve la solubilidad del nitrógeno en la fase sólida y que por ello aumenta también indirectamente la estabilidad de la microestructura austenítica. Sin embargo, el manganeso aumentará el endurecimiento por deformación de la aleación de acero, que aumenta las fuerzas de deformación y rebaja la ductilidad, causando un riesgo acrecentado de formación de grietas en la aleación de acero durante el trabajado en frío. Cantidades aumentadas de manganeso también reducen la resistencia a la corrosión de la  
 15 aleación de acero, en especial la resistencia a la corrosión por picaduras. La cantidad de manganeso en la aleación de acero debe limitarse por ello a un intervalo de 2,0 a 6,0% en peso, preferiblemente la cantidad de manganeso se limita a un intervalo de 2,0 a 5,5% en peso, más preferiblemente de 2,0 a 5,0% en peso.

Níquel (Ni) es un elemento de aleación caro que contribuye mucho al coste de la aleación, de una aleación estándar de acero inoxidable austenítico. El níquel promueve la formación de austenita e inhibe así la formación de ferrita y mejora la ductilidad y en cierta cuantía la resistencia a la corrosión. El níquel estabiliza también la fase austenita en la aleación de acero dificultando que se transforme en la fase martensita (martensita de deformación) durante el trabajado en frío. Sin embargo, para conseguir un equilibrio apropiado entre las fases austenita, ferrita y martensita por una parte, y el coste total de elementos de aleación del acero, por otra, la cantidad de níquel debe estar en el intervalo de 2,0 a 4,5% en peso, preferiblemente la cantidad de níquel se limita a un intervalo de 2,5 a  
 20 4,0% en peso.

El cromo (Cr) es un elemento importante de la aleación de acero inoxidable puesto que proporciona resistencia a la corrosión por formación de una capa de óxido de cromo sobre la superficie de la aleación de acero. Por tanto se puede usar un contenido aumentado de cromo para compensar cambios de otros elementos, causando propiedades de corrosión reducidas con el fin de conseguir una resistencia óptima a la corrosión de la aleación de  
 30 acero. El cromo promueve la solubilidad del nitrógeno en la fase sólida, lo que tiene un efecto positivo sobre la resistencia mecánica de la aleación de acero. El cromo también reduce la cantidad de martensita de deformación durante el trabajado en frío e indirectamente coadyuva por ello a mantener la estructura austenítica, que mejora la aptitud para ser trabajado en frío el acero. Sin embargo, a altas temperaturas, la cantidad de ferrita (ferrita delta) aumenta aumentando el contenido de cromo, que reduce la aptitud para ser trabajada en frío la aleación de acero.  
 35 Por tanto, la cantidad de cromo en la aleación de acero debe estar en el intervalo de 17% en peso a 19% en peso, estando preferiblemente limitada la cantidad de cromo a un intervalo de 17,5% a 19% en peso.

El cobre (Cu) aumenta la ductilidad del acero y estabiliza la fase austenita, inhibiendo así la transformación de austenita en martensita durante la deformación, que es favorable para trabajado en frío del acero. El cobre también reducirá el endurecimiento por deformación de la fase de austenita no transformada durante el trabajado en frío, causado por un aumento en la energía de fallos de apilamiento de la aleación de acero. A altas temperaturas, una cantidad demasiado alta de cobre reduce bruscamente la aptitud para ser trabajado en caliente el acero, debido al riesgo extendido de exceder el límite de solubilidad del cobre en la matriz y el riesgo de formar fases frágiles. Aparte de esto, las adiciones de cobre mejorarán la resistencia mecánica de la aleación de acero durante el revenido. Debido a un endurecimiento por precipitación acrecentado. A concentraciones altas de nitrógeno, el  
 40 cobre promueve la formación de nitruros de cromo que pueden reducir la resistencia a la corrosión y la ductilidad de la aleación de acero. Por tanto. La cantidad de cobre en la aleación de acero se debe limitar a un intervalo de 2,0% en peso a 4,0% en peso.

El nitrógeno (N) aumenta la resistencia de la aleación de acero frente a la corrosión por picaduras. El nitrógeno también promueve la formación de austenita y deprime la transformación de martensita durante el trabajado en frío. El nitrógeno también aumenta la resistencia mecánica después de que se haya completado el trabajado en frío, que se puede mejorar además por endurecimiento por precipitación, normalmente producido por precipitación de pequeñas partículas de la aleación de acero durante una posterior operación de revenido. Sin embargo, cantidades superiores de nitrógeno conducen a un endurecimiento por precipitación incrementado de la fase austenítica, que tiene un impacto negativo sobre la fuerza de deformación. Cantidades aún más altas de nitrógeno  
 50 aumentan también el riesgo de exceder el límite de solubilidad del nitrógeno en la fase sólida, con riesgo de fase gaseosa (burbujas) en el acero. Para conseguir un equilibrio correcto entre el efecto de estabilización de la fase austenítica y el efecto de endurecimiento por precipitación y endurecimiento por deformación, el contenido de

nitrógeno en la aleación de acero debe limitarse a un intervalo de 0,15 a 0,25% en peso.

5 El molibdeno (Mo) mejora mucho la resistencia a la corrosión en la mayoría de los ambientes. Sin embargo, el molibdeno es un elemento de aleación caro y también tiene un fuerte efecto estabilizador sobre la fase ferrita. Por tanto, la cantidad de molibdeno en la aleación de acero debe limitarse a un intervalo de 0 a 10% en peso, preferiblemente de 0 a 0,5% en peso.

El wolframio (W) estabiliza la fase ferrita y tiene una alta afinidad al carbono. Pero altos contenidos de wolframio en combinación con altos contenidos de Cr y Mo aumentan el riesgo de formar precipitados intermetálicos frágiles. Por tanto, el wolframio se debe limitar a un intervalo de 0 a 0,3% en peso, preferiblemente de 0 a 0,2% en peso, más preferiblemente de 0 a 0,1% en peso

10 El vanadio (V) estabiliza la fase ferrita y tiene una alta afinidad al carbono y el nitrógeno. El vanadio es un elemento de endurecimiento por precipitación que aumentará la resistencia mecánica del acero después de temple y revenido. El vanadio debe limitarse a un intervalo de 0 a 0,3% en peso en la aleación de acero, preferiblemente de 0 a 0,2% en peso, más preferiblemente de 0 a 0,1% en peso.

15 El titanio (Ti) estabiliza la fase ferrita delta y tiene una gran afinidad a nitrógeno y carbono. Por tanto, el titanio se puede usar para aumentar la solubilidad de nitrógeno y carbono durante la fusión o la soldadura para evitar la formación de burbujas de nitrógeno gas durante la colada. Si embargo, una cantidad excesiva de Ti en el material causa la precipitación de carburos y nitruros durante la colada, que puede alterar el proceso de colada. Los carburos-nitruros formados pueden actuar también como defectos, causando una resistencia a la corrosión, una tenacidad, ductilidad y resistencia a fatiga reducidas. El titanio se debe limitar a un intervalo de 0 a 0,5% en peso, preferiblemente de 0 a 0,2% en peso, más preferiblemente de 0 a 0,1% en peso.

20 El aluminio (Al) se usa como agente de desoxidación durante la fusión y colada de la aleación de acero. El aluminio también estabiliza la fase ferrita y promueve endurecimiento por precipitación. El aluminio debe limitarse a un intervalo de 0 a 1,0% en peso, preferiblemente de 0 a 0,2% en peso, más preferiblemente de 0 a 0,1% en peso.

25 El niobio (Nb) estabiliza la fase ferrita y tiene una alta afinidad al nitrógeno y el carbono. Por tanto el niobio se puede usar para aumentar la solubilidad de nitrógeno y carbono durante la fusión o la soldadura. El contenido de niobio se debe limitar a un intervalo de 0 a 0,5% en peso, preferiblemente de 0 a 0,2% en peso, más preferiblemente de 0 a 0,1% en peso.

30 El cobalto tiene propiedades que son intermedias entre las del hierro y el níquel. Por tanto, una sustitución minoritaria de estos de elementos con Co, o el uso de materias primas que contienen Co no resultará en un cambio importante de las propiedades de la aleación de acero. El cobalto se puede usar para reemplazar algo de Ni como elemento estabilizador de la austenita y aumenta la resistencia frente a la corrosión a alta temperatura. El cobalto es un elemento caro que debe limitarse a un intervalo de 0 a 1,0% en peso, preferiblemente de 0 a 0,5% en peso.

35 La aleación de acero puede contener también impurezas normalmente presentes. Las cantidades de azufre y fósforo no deben exceder de 0,05% en peso de cada uno.

### Equivalente de cromo-níquel

40 El equilibrio entre los elementos de aleación que promueven la estabilización de austenita y ferrita (ferrita delta) es importante puesto que la aptitud para el trabajado en caliente y en frío de la aleación de acero generalmente depende de la cantidad de ferrita delta en la aleación de acero. Si la cantidad de ferrita delta en la aleación de acero es demasiado alta, la aleación de acero puede exhibir tendencia al agrietamiento en caliente durante la laminación en caliente y propiedades mecánicas reducidas tales como resistencia y ductilidad durante el trabajado en frío. Adicionalmente, la ferrita delta puede actuar como sitios de precipitación de nitruros de cromo, carburos o fases intermetálicas. La ferrita delta también reducirá espectacularmente la resistencia a la corrosión de la aleación de acero.

45 El equivalente de cromo es un valor que corresponde a la estabilidad de la ferrita y su efecto sobre las fases formadas en la microestructura durante la solidificación de la aleación de acero. El equivalente de cromo puede derivarse del diagrama modificado de Schaeffler DeLong y se define como:

$$Cr_{\text{equiv}} = [\%Cr] + 2*[\%Si] + 1,5*[\%Mo] + 5*[\%V] + 5,5*[\%Al] + 1,75*[\%Nb] + 1,5*[\%Ti] + 0,75*[\%W] \quad (1)$$

50 El equivalente de níquel es un valor que corresponde a la estabilidad de la austenita y su efecto sobre las fases formadas en la microestructura durante la solidificación de la aleación de acero. El equivalente de níquel se puede derivar también del diagrama modificado de Schaeffler DeLong y se define como:

$$Ni_{equiv} = [\%Ni] + [\%Co] + 0,5 * [\%Mn] + 0,3 * [\%Cu] + 25 * [\%Ni] + 30 * [\%C] \quad (2)$$

Se ha encontrado que se logran muy buenas propiedades de trabajado en frío a relaciones de reducción altas, ductilidad mejorada, endurecimiento por deformación reducida, y tendencia reducida al agrietamiento en la superficie cuando las cantidades de elementos de aleación en la aleación de acero están equilibradas de manera que las ecuaciones 1 y 2 satisfacen la condición B1:

$$Ni_{equiv} - 142 * r_{equiv} \leq -13,42 \quad (B1)$$

Referencia: D.R. Harries, Int. Conf. on Mechanical Behaviour and Nuclear Applications of Stainless Steels at Elevated Temperatures, Varese, 1981.

Preferiblemente, la cantidad de elementos de aleación que estabilizan ferrita delta de aleación de acuerdo con la ecuación 1 y la cantidad de elementos de aleación que estabilizan austenita de acuerdo con la ecuación 2 se deben equilibrar de manera que se satisfaga la condición B2 (tidigare B1)

$$Ni_{equiv} - 1,42 * Cr \geq 16,00 \quad (B2)$$

La cantidad de ferrita delta que estabilizan los elementos de aleación de acuerdo con la ecuación 1 y la cantidad de elementos de aleación que estabilizan la austenita de acuerdo con la ecuación 2 se deben equilibrar de manera que se satisfaga la condición B3:

$$Ni_{equiv} + 0,85 * Cr_{equiv} \geq 29,00 \quad (B3)$$

Preferiblemente, la cantidad de elementos de aleación que estabilizan ferrita delta de aleación de acuerdo con la ecuación 1 y la cantidad de elementos de aleación que estabiliza austenita de acuerdo con la ecuación 2 se deben equilibrar de manera que se satisfaga la condición B4

$$Ni_{equiv} - 0,85 * Cr_{equiv} \leq 31,00 \quad (B4)$$

Preferiblemente, la cantidad de elementos de aleación que estabilizan ferrita delta de aleación de acuerdo con la ecuación 1 y la cantidad de elementos de aleación que estabiliza austenita de acuerdo con la ecuación 2 se deben equilibrar de manera que se satisfaga la condición B5

$$Ni_{equiv} + 0,85 * Cr_{equiv} \leq 30,00 \quad (B5)$$

Cuando se satisface la relación B1, la combinación de ferrita y austenita que forman elementos de aleación en la aleación de acero es excelente. En la aleación de acero, la cantidad de ferrita delta en la matriz de austenita es excelente así como la estabilidad de la fase de austenita y la cantidad de martensita de deformación. La aleación de acero exhibe por ello excelentes propiedades mecánicas y excelentes propiedades de aptitud para ser trabajada y buena resistencia a la corrosión. Las propiedades de la aleación de acero se pueden mejorar más optimizando el equilibrio entre ferrita y austenita formando elementos de aleación de acuerdo con las relaciones B2-B5.

Las composiciones de aleación que no satisfacen la relación B1, generalmente tienen una cantidad demasiado alta de elementos de estabilización de la austenita en relación a los elementos que estabilizan ferrita, a la vista de las bajas cantidades de fase ferrita delta formada. En una aleación de acero inoxidable bajo en níquel, se logra una alta estabilidad de la austenita principalmente por aumento de los contenidos de manganeso o nitrógeno, causando una alta estabilidad de la fase austenita y seguidamente un endurecimiento por deformación acrecentado de esta fase durante el trabajado.

Las composiciones de aleación que satisfacen la relación B2 presentan ductilidad acrecentada durante el trabajado y resistencia a la corrosión mejorada puesto que la cantidad de elementos estabilizadores de la austenita se equilibra de manera que en la aleación de acero se alcanza una cantidad óptima de fase ferrita delta.

Las composiciones que satisfacen la relación B3 presentan un endurecimiento por deformación reducido y una ductilidad aumentada, principalmente durante el trabajado en frío. La mejora de estas propiedades principalmente es debida a que las cantidades de los elementos estabilizadores de ferrita y de austenita son suficientemente altos para causar una fase estable de austenita con bajas cantidades de martensita de deformación.

Las composiciones de aleación que satisfacen las relaciones B4 y B5 presentan propiedades mecánicas mejoradas, puesto que las cantidades optimizadas de elementos estabilizadores de ferrita y austenita, ambos, disminuyen el endurecimiento por deformación de la matriz durante el trabajado.

### Formación de martensita

La relación entre los elementos de aleación que deprimen la formación de martensita en la aleación de acero es

importante para la resistencia mecánica y la ductilidad de la aleación de acero. Una baja ductilidad a temperatura ambiente depende en cierta medida del endurecimiento por deformación que está causado por la transformación de austenita en martensita durante el trabajado en frío de la aleación de acero. La martensita aumenta la resistencia mecánica y la dureza del acero. Sin embargo, si en el acero se forma demasiada martensita, puede ser difícil trabajarlo en frío debido a fuerzas de deformación acrecidas. Demasiada martensita también disminuye la ductilidad y puede causar grietas durante el trabajado en frío de la aleación de acero.

La estabilidad de la fase austenita en la aleación de acero durante la deformación en frío puede determinarse por el valor de MD30 de la aleación de acero. MD30 es la temperatura en °C a la que una deformación que corresponde a  $\varepsilon = 0,30$  (deformación logarítmica) conduce a la conversión de 50% de la austenita en martensita de deformación. Así, una temperatura de MD30 aminorada corresponde a una estabilidad aumentada de la austenita, que rebajará el endurecimiento por deformación durante el trabajado en frío debido a la formación reducida de martensita de deformación. El valor de MD30 de la aleación de acero de la inventiva se defina como

$$\text{MD30} = 551 - 462 * ([\%C] + [\%N] - 9,2 * [\%Si] - 8,1 * [\%Mn] - 13,7 * [\%Cr] - 29 * ([\%Ni] + [\%Cu]) - 68 * [\%Nb] - 18,5 * [\%Mo]) \times \text{°C} \quad (3)$$

Referencia: K. Nohara, Y. Ono y N. Ohashi, Tetsu-to-Hagane, 1977; 63:2772

Se ha encontrado que en la aleación de acero se encuentran muy buenas propiedades de trabajado en frío en combinación con una resistencia mecánica óptima cuando los elementos de aleación en la aleación de acero se ajustan de manera que la ecuación 3 satisfaga la siguiente condición B6

$$-70\text{°C} < \text{MD30} > -25\text{°C} \quad (\text{B6})$$

### Descripción de dibujos

La Figura 1 presenta una curva de S-N a 80°C de seguridad frente a rotura de muelles de alambre de 1 mm de diámetro, revenidos, bobinados. S es la tensión en MPa y N es el número de ciclos. La tensión media es 450 MPa..

### Ejemplos

La invención se describirá seguidamente mediante ejemplos concretos.

#### Ejemplo 1

Se prepararon coladas de aleaciones de acero de acuerdo con la invención con las denominaciones A, B, C. Para comparación había también aleaciones de acero denominados D, E, F, G, H, I, J, K, L. Las coladas se prepararon a escala de laboratorio por fusión de los elementos componentes en un crisol puesto en un horno de inducción. La composición de cada colada figura en la Tabla 1a y 1b.

Las ecuaciones 1-3 se calcularon para cada colada de aleación de acero, mostrando la Tabla 2 los resultados de los cálculos. Los resultados de la Tabla 2 se compararon luego con las condiciones para cada ecuación, B1-B6 y se determinó si las coladas de ensayo satisfacían las condiciones B1-B6. La Tabla 3 muestra el resultado de la comparación. Un "SI" significa que se ha satisfecho la condición; un "NO" significa que no se ha satisfecho la condición. Las coladas se colaron a lingotes pequeños y de cada colada se prepararon muestras de aleación de acero de 4x4x3 mm<sup>3</sup>.



**Tabla 1a. Composición en % en peso de aleaciones de acero inventivas**

Elemento de aleación	Colada A	Colada B	Colada C
C	0,049	0,044	0,023
N	0,20	0,20	0,21
Si	0,33	0,33	0,58
Mn	4,98	4,93	4,37
Ni	3,73	3,72	3,78
Cr	18,32	18,31	18,09
Cu	2,41	2,44	2,63
Mo	0,01	0,01	0,13
Nb	<0,01	<0,01	<0,01
P	0,013	0,013	0,018
S	0,009	0,007	0,001
Co	0,025	0,026	0,033
Ti	<0,005	<0,005	<0,005
V	0,035	0,035	0,051
W	0,01	0,02	0,01

**Tabla 1b: Composición en % en peso de aleaciones de acero comparativas**

Elemento de aleación	Colada D	Colada E	Colada F	Colada G	Colada H	Colada I	Colada J	Colada K	Colada L
C	0,050	0,046	0,041	0,023	0,023	0,025	0,075	0,081	0,051
N	0,19	0,20	0,20	0,20	0,15	0,20	0,11	0,14	0,16
Si	0,31	0,33	0,25	0,56	0,60	0,59	0,24	0,31	0,38
Mn	6,92	4,95	4,26	4,26	3,70	4,29	2,17	3,12	4,16
Ni	3,68	3,72	3,67	1,65	3,63	3,54	3,73	3,80	3,77
Cr	17,96	18,17	18,03	17,92	16,33	17,88	18,24	18,25	18,40
Cu	2,38	3,38	2,41	2,90	2,86	1,67	3,56	2,95	2,92
Mo	0,01	0,01	0,01	0,13	0,12	0,13	<0,01	<0,01	0,01
Nb	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
P	0,013	0,013	0,013	0,018	0,018	0,018	0,011	0,010	0,011
S	0,008	0,009	0,005	0,001	0,002	0,001	0,004	0,002	0,003
Co	0,024	0,025	0,025	0,031	0,031	0,032	0,021	0,024	0,022
Ti	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
V	0,035	0,035	0,033	0,053	0,048	0,051	0,039	0,035	0,033
W	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01

Las propiedades de cada colada se determinaron luego por una serie de ensayos que se describen seguidamente, realizados en la muestra recogida de cada colada.

- 5 Primeramente cada muestra fue sometida a deformación plástica por prensado en una prensa hidráulica hasta una reducción del espesor correspondiente a una reducción de espesor correspondiente a una deformación plástica del 60%. Para cada muestra se midió la fuerza máxima aplicada en kN. Los resultados se presentan en la Tabla 4.
- Después se midió la dureza Vickers [HV1] de cada muestra de acuerdo con el procedimiento estándar de medida (SS112517). Los resultados de la medida de dureza se recoge en la Tabla 4.
- 10 La cuantía de martensita de deformación formada durante el prensado [mart.] como porcentaje de la cantidad total de fases en cada muestra se midió con un Ferritoscopio como diferencia en la cantidad de fase magnética antes y después de la deformación de las muestras. Los resultados figuran en la Tabla 4.
- También se midió el número de grietas formadas en torno a la circunferencia de las muestras en un microscopio óptico de luz después de atacar con ácido oxálico las micromuestras. Los resultados figuran en la Tabla 4.
- 15 En la Tabla 4 se aprecia que las muestras de las coladas A, B, C podían deformarse con fuerzas de deformación relativamente bajas, que variaban de 141 a 168 N. La dureza de las muestras deformadas varía de 418 a 444 HV y el porcentaje de martensita en las muestras es de 8 a 11%. En las muestras se observaron pocas grietas, de 14 a 22.
- 20 Las muestras de las coladas D, G, H e I presentaban después de deformación una dureza demasiado alta, que variaba de 474 a 484 HV, para que fuera adecuada para trabajado en frío en dimensiones finas. Se observó un alto número de grietas, 87 y 41, en muestras de las coladas G e I. Las muestras de las coladas E, F, J, K y L presentaban una fuerza de deformación demasiado alta, de 180 a 193 N, para ser adecuada para trabajado en frío con relaciones de reducción altas. Las muestras de las coladas K y L presentaban además una dureza demasiado alta, 487 y 458 HV. En las muestras de las coladas F y J se observó también un alto número de grietas, 43 y 53.

5 De los resultados presentados en la Tabla 4, es evidente que las muestras tomadas de las coladas A, B y C presentan una aptitud excelente para ser deformadas en frío en comparación con muestras tomadas de las coladas D, E, F, G, H, I, J, K, L. Así, sobre la base de la fuerza de deformación, la dureza, el contenido de martensita y el número de grietas, las muestras tomadas de las coladas A, B y C presentaban una resistencia mecánica y una ductilidad satisfactorias para someterlas a reducciones en el espesor que corresponden a relaciones de reducción mucho mayores que 60% de deformación plástica en comparación con las coladas D, E, F, G, H, I, J, K, L.

**Tabla 2: Resultados del cálculo de las ecuaciones 1-3 para coladas A-L**

Ecuación	Aleación de acero inventiva			Aleación de acero comparativa								
	Colada A	Colada B	Colada C	Colada D	Colada E	Colada F	Colada G	Colada H	Colada I	Colada J	Colada K	Colada L
Ec 1	19,	19,2	19,7	18,8	19,0	18,7	19,5	18,0	19,5	18,9	19,1	19,3
Ec 2	13,4	13,3	12,7	14,1	13,6	12,8	10,4	10,8	12,0	10,9	12,2	12,3
Ec 3	-36,6	-34,4	-33,5	-40,8	-60,8	-20,7	28,5	21,4	8,4	-15,6	-25,0	-29,9

**Tabla 3: Cumplimiento de las condiciones B1-B4 para coladas A-L**

Condición	Aleación de acero inventiva		Aleación de acero comparativa									
	Colada A	Colada B	Colada C	Colada D	Colada E	Colada F	Colada G	Colada H	Colada I	Colada J	Colada K	Colada L
B1	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
B2	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI
B3	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
B4	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
B5	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
B6	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI
Composición dentro de la parte pre-caracterizadora de la reivindicación 1	SI	SI	SI	NO	SI	SI	NO	NO	NO	NO	NO	SI
SI: satisface la condición. NO: no satisface la condición.												

**Tabla 4: Resultados de los ensayos de aptitud para ser trabajadas en frío las aleaciones A-L.**

Parámetro del ensayo	Aleación inventiva			Aleación comparativa								
	Colada A	Colada B	Colada C	Colada D	Colada E	Colada F	Colada G	Colada H	Colada I	Colada J	Colada K	Colada L
Fuerza, kN	168	164	141	174	188	193	174	163	175	186	180	181
Dureza, HV1	418	426	444	478	412	414	474	484	484	430	487	458
Martensita, %	8	8	11	4	4	9	14	33	16	21	10	7
Grietas, nº	19	29	14	24	28	43	87	9	41	53	16	7

**Ejemplo 2**

5 Se preparó una colada de la aleación inventiva de acero. Se prepararon para comparación dos aleaciones N y O ligeramente diferentes. También a fines comparativos había una colada, denominada P de la aleación de acero 302, una aleación estándar de aleación de acero para muelles, preparada asimismo como una colada, denominada Q de la aleación de acero 204Cu, una aleación estándar de acero de bajo contenido de níquel.

10 Las coladas pesaban aproximadamente 10 toneladas métricas cada una y se produjeron fundiendo los elementos componentes en un horno de HF y refinando seguidamente en un convertidor CLU y tratamiento en cuchara. Las coladas separadas se colaron como lingotes de 53,39 cm. En la Tabla 5 se recoge la composición de cada colada. Para las coladas M-Q se calcularon las ecuaciones 1-3. La Tabla 6 muestra los resultados de los cálculos. Luego se compararon los resultados de los cálculos de la Tabla 6 con las condiciones para cada ecuación, B1-B6 y se determinó si las coladas de acero satisfacían las condiciones B1-B6. La Tabla 7 muestra el resultado de la comparación. Un SI significa que la condición se satisface, un NO significa que la condición no se satisface.

15

**Tabla 5; Composición de las coladas M-Q en % en peso**

Elemento de aleación	Aleación inventiva	Aleaciones de acero comparativas			
		Colada M	Colada N	Colada O	Colada P (AISI302)
C	0,043	0,081	0,079	0,079	0,075
N	0,18	0,10	0,13	0,044	0,11
Si	0,37	0,25	0,34	0,45	0,25
Mn	4,99	2,15	3,05	1,20	8,09
Ni	3,72	3,69	3,71	8,11	2,75
Cr	18,34	18,28	18,25	17,91	16,24
Cu	2,50	3,64	2,94	0,66	2,12
Mo	0,01	0,01	0,01	0,33	0,17
Nb	0,01	0,01	0,01	0,01	0,007
P	0,012	0,012	0,009	0,026	0,038
S	0,002	0,0025	0,0015	0,0006	0,0002
Al	0,001	<0,001	<0,001	<0,003	<0,003
Co	0,04	0,03	0,04	0,057	0,046
Ti	0,001	0,001	0,001	<0,005	0,005
V	0,05	0,04	0,04	0,051	-
W	0,01	0,01	0,01	0,03	-

**Tabla 6: Resultados del cálculo de las ecuaciones 1-3 para coladas M-Q**

Ecuación	Aleación de acero inventiva	Aleaciones de acero comparativas			
		Colada M	Colada N	Colada O	Colada P (AISI302)
Ecuac 1	19,4	19,0	19,2	19,6	17,0
Ecuac 2	12,8	11,8	11,8	12,4	12,5
Ecuac 3	-27,5	-16,2	-16,3	-26,2	30,3

**Tabla 7: Cumplimiento de las condiciones B1-B6 para coladas M-Q**

Condición	Aleación de acero inventiva	Aleaciones de acero comparativas			
		Colada M	Colada N	Colada O	Colada P (AISI302)
B1	SI	SI	SI	SI	NO
B2	SI	NO	SI	SI	SI
B3	SI	NO	NO	SI	NO
B4	SI	SI	SI	SI	SI
B	SI	SI	SI	SI	SI
B6	SI	NO	NO	SI	NO
Composición dentro de la parte de pre-caracterización de la reiv 1	SI	NO	NO	NO	NO

SI: satisface la condición. NO: no satisface la condición.

**Las coladas se sometieron al tratamiento siguiente:**

- 5 Los lingotes de la colada M así como las coladas N, O, P y Q de las aleaciones de acero comparativas se calentaron a una temperatura de 1200°C y se conformaron por laminación a barras cuadradas de una dimensión final de 150 x 150 mm<sup>2</sup>.
- Las barras cuadradas se calentaron luego a una temperatura de 1250°C y se laminaron a alambre de 5,5 mm de diámetro. La varilla de alambre se sometió directamente a recocido después de laminación a 1050°C. Todas las coladas tenían buenas propiedades para ser trabajadas en caliente.
- 10 Finalmente, los alambres laminados en caliente se estiraron en frío en varias etapas con un revenido intermedio a 1050°C a un diámetro final de 1,4 mm, 1,0 mm, 0,60 mm y 0,66 mm. El alambre se laminó en frío también a una dimensión de 2,75 x 0,40 mm<sup>2</sup>. Las muestras se tomaron de alambres estirados en frío.
- Se analizaron las propiedades de la aleación de acero de cada colada durante el trabajado en frío de las aleaciones de acero y se documentaron los resultados. Se observó que la aleación de acero de la colada M tenía una aptitud para ser trabajada excelente, bajo endurecimiento por deformación y alta ductilidad. Todas estas propiedades eran mejores o del mismo nivel en comparación con las coladas P y Q de las aleaciones estándar de calidad AISI 302 o 204Cu. También se observó que la colada O tenía buena aptitud para ser trabajada pero el endurecimiento por deformación era más alto que el de AISI 302. La colada N resultaba frágil ya para reducciones bajas y se observaron grietas de tensión.
- 15
- 20 Las propiedades de cada aleación de acero de las coladas M, N, O, P y Q se determinaron como se describe seguidamente.

**Resistencia a tracción**

- 25 La resistencia a tracción se determinó de acuerdo con la muestra SSEM 10002-1 en muestras de cilindro de alambre (5,50 mm) y alambre estirado en frío de las coladas M, N, O y P. Todas las muestras se estiraron y recocieron con los mismos parámetros de producción. La cantidad de martensita de las muestras que tenían un diámetro de 5,50 mm se determinó con un equipo de equilibrio magnético. La cantidad de martensita se midió de nuevo en muestras que se estiraron a un diámetro de 1,4 mm y se calculó el aumento de la fase de martensita. La Tabla 8 muestra los resultados del ensayo a tracción y la cantidad de martensita de deformación de las muestras.

**Tabla 8: Resultados de los ensayos a tracción en muestras de las coladas M-P**

Colada	Dimensiones, mm	Resistencia a tracción, MPa	Martensita, %
Colada M	5,50	684	0,3
Colada M	1,40	1978	12,7
Colada M	0,60	2063	
Colada M	0,66	1977	
Colada M	1,00	1980	
Colada M	2,75 x 0,40	1580	
Colada N	5,50	701	0,6
Colada N	1,40	2200	40,8
Colada N	0,60	2420	
Colada N	0,66	2348	
Colada O	5,50	683	0,2
Colada O	1,40	2210	23,9
Colada O	0,60	2274	
Colada O	0,66	2237	
Colada O	2,75 x 0,40	1670	
Colada P (AISI302)	5,50	697	
Colada P (AISI302)	0,60	2055	
Colada P (AISI302)	0,66	1999	

5 Los mejores resultados a tracción se lograron con la colada M, especialmente para grandes reducciones. La aleación de acero de la colada M tiene la resistencia mecánica más baja y la máxima ductilidad, comparable a la resistencia a tracción de la colada P (AISI302). En la muestra M se formó muy poca martensita. Los resultados revelan además que la aleación de acero de la colada O presenta una resistencia demasiado alta y demasiado baja ductilidad para trabajado en frío en dimensiones finas, cuando son necesarias altas relaciones de reducción. Todas las dimensiones de muestras de la colada N eran frágiles y, por tanto, la aleación N de acero es menos adecuada para trabajado en frío. La mayoría de martensita se formó en la Muestra N.

10 **Efecto del revenido**

El efecto del revenido es importante para muchas aplicaciones, en especial para muelles. Una respuesta alta al revenido beneficiará a muchas propiedades para muelles, como la fuerza del muelle, la relajación y la resistencia a la fatiga.

15 Para determinar el efecto del revenido se tomaron de las coladas M y P muestras de alambre estirado en frío. Se midió la resistencia a la tracción de los alambres. Se bobinaron los alambres y se trataron térmicamente para aumentar la resistencia (envejecimiento). El tratamiento térmico también aumenta la tenacidad de la martensita de deformación y libera tensiones (revenido). Después del tratamiento térmico, se midió de nuevo la resistencia a tracción de los alambres y se determinó el efecto del revenido como un aumento de la resistencia a tracción La Tabla 9 muestra los resultados del efecto del revenido como aumento de la resistencia a tracción para alambre de 20 1,0 mm a diferentes temperaturas, con un mantenimiento de 1 hora.



El aumento de la resistencia a tracción para muestras de la colada M es mucho más alto que para muestras de la colada P (AISI 302). Un gran aumento de la resistencia a tracción es importante para muchas aplicaciones, especialmente para aplicaciones de muelles. La alta respuesta al revenido de la colada M depende principalmente del alto contenido de cobre y nitrógeno, que aumenta el endurecimiento por precipitación de la aleación de acero.

5 **Tabla 9: Resultados del efecto de revenido sobre la resistencia a tracción**

Colada	Temperatura, °C	Resistencia a tracción, MPa	Aumento de la resistencia a tracción, %
Colada M	r.a	1974	
Colada M	250	2174	10,1
Colada M	350	2247	13,8
Colada P (AISI 302)	t.a.	2146	
Colada P (AISI) 302)	250	2253	5,0
Colada P (AISI 302)	350	2323	8,2

**Relajación**

La relajación es un parámetro muy importante para aplicaciones de muelles. La relajación es la fuerza del muelle que pierde el muelle a lo largo del tiempo.

10 La propiedad de relajación se determinó para las coladas M y P. De cada colada se tomaron muestras de alambre de 1,0 mm de diámetro. Cada alambre se bobinó a un muelle y se sometió a revenido a 350°C durante 1 hora. Cada muelle se estiró luego a una longitud que correspondía a una tensión de 800, 1000, 1200 y 1400 MPa, respectivamente. La pérdida de la fuerza del muelle en Newton (N) se midió a lo largo de 24 horas a temperatura ambiente. La relajación es la pérdida de la fuerza del muelle medida en porcentaje. Los resultados del ensayo se  
 15 presentan en la Tabla 10.

**Tabla 10: Pérdida de fuerza del muelle**

Colada	Tensión inicial del muelle, MPa	Relajación %
Colada M	800	0,73
Colada M	1000	0,90
Colada M	1200	1,38
Colada M	1400	1,99
Colada P (AISI 302)	800	0,90
Colada P (AISI302)	1000	1,80
Colada P (AISI 302)	1200	3,70
Colada P (AISI 302)	1400	3,80

5 Se puede ver claramente en la Tabla 10 que la relajación de la colada M es mucho más baja que la de las muestras de la colada P (AISI 302), lo que hace que la aleación de acero de la colada M sea mucho más adecuada para aplicaciones de muelles

**Resistencia a fatiga**

10 La resistencia a fatiga se determinó en muestras de las coladas M y P. Los muelles hechos de las coladas M y P se sometieron a revenido a 350°C durante 1 hora. Luego se sujetaron los muelles en una fijación y se sometieron a tensiones a tensiones cíclicas. Luego se ensayaron los muelles en paralelo al mismo tiempo. Cada muestra de muelle se ensayó a un nivel de tensión dado hasta que fallo la muestra, o hasta que se alcanzó un máximo de 10.000.000 ciclos. La resistencia a fatiga de la muestra se evaluó luego usando el diagrama SN de Wöhler. La Figura 1 muestra el resultado del ensayo al 90% de seguridad frente a la rotura.

De la Figura 1 es evidente que la resistencia a fatiga del muelle revenido de la colada M es más alta que la de los muelles de la colada P (AISI302.)

15 **Corrosión por picadura**

La resistencia frente a la corrosión por picaduras se determinó en muestras de la colada M y de la colada P (AISI 302 y 204 Cu) mediante medición de la temperatura crítica de picaduras (CPT) durante el ensayo electroquímico.

20 De cada colada de acero se tomó una muestra de varilla de alambre de 5 mm. Cada muestra se desbastó y pulió para reducir la influencia de las propiedades de superficie. Las muestras se sumergieron en una solución de NaCl al 1% a un potencial constante de 300 mV. La temperatura de la inmersión se aumentó en 5°C cada 5 minutos hasta que se pudo registrar la corrosión de las muestras. El resultado del ensayo CPT se presenta en la Tabla 11.

La Tabla 11 presenta que la colada M exhibe una adecuada resistencia a la corrosión por picadura en comparación con la muestra P (AISI 302). Los resultados de los ensayos de corrosión demuestran además que la colada M presenta una resistencia más alta a la corrosión que la colada Q (AISI 204 Cu).

25 **Tabla 11. Temperatura crítica de picadura (PCT) medida a +300 MV y 0,1% deNaCl.**

Muestra	CPT, 0,1% NaCl, 300 mV, °C
Colada M	60,50
Colada P (AISI 302)	90, >95
Colada P (AISL 204 Cu)	35, 35

**REIVINDICACIONES**

1. Una aleación de acero inoxidable austenítico que tiene una composición que consiste en porcentaje (% en peso):

$$0,02 \leq C \leq 0,06$$

$$Si < 1,0$$

5

$$2,0 \leq Mn \leq 6,0$$

$$2,0 \leq Ni \leq 4,5$$

$$17 \leq Cr \leq 19$$

$$2,0 \leq Cu \leq 4,0$$

$$0,15 \leq N \leq 0,25$$

10

$$0 \leq Mo \leq 1,0$$

$$0 \leq W \leq 0,3$$

$$0 \leq V \leq 0,3$$

$$0 \leq Ti \leq 0,5$$

$$0 \leq Al \leq 1,0$$

15

$$0 \leq Nb \leq 0,5$$

$$0 \leq Co \leq 1,0$$

$$S \leq 0,05$$

$$P \leq 0,05$$

20 el resto hasta completar hierro e impurezas normalmente presentes, caracterizada porque el contenido de los elementos de aleación se ajusta de manera que se satisfagan las condiciones siguientes:

$$Ni_{equiv} - 1,42 * Cr_{equiv} \leq -13,42; \text{ y}$$

$$Ni_{equiv} + 0,85 * Cr_{equiv} \geq 29,00$$

en la que

$$Cr_{equiv} = [\%Cr] + 2 * [\%Si] + 1,5 * [\%Mo] + 5 * [\%V] + 5,5 * [\%Al] + 1,75 * [\%Nb] + 1,5 * [\%Ti] + 0,75 * [\%W]$$

25

$$Ni_{equiv} = [\%Ni] + [\%Co] + 0,5 * [\%Mn] + 0,3 * [\%Cu] + 25 * [\%Ni] + 30 * [\%C]$$

y

$$-70^{\circ}C < MD30 < -25^{\circ}C$$

en la que

$$MD30 = (551 - 462 * ([55C] + [\%N]) - 9,2 [\%Si] - 8,1 [\%Mn] - 13,7 * [\%Cr] - 29 * ([\%Ni] + [\%Cu]) - 68 * [\%Nb] - 18,5 * [\%Mo])^{\circ}C$$

30

2. La aleación de acero inoxidable austenítico de acuerdo con la reivindicación 1 en la que los contenidos de los elementos en la aleación del acero están equilibrados de manera que se satisface la siguiente condición :

$$Ni_{equiv} - 1,42 * Cr_{equiv} \geq 16,00$$

3. La aleación de acero inoxidable austenítico de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 2-3 en la que los contenidos de los elementos en la aleación del acero están equilibrados de manera que se satisface la siguiente condición :

35

$$Ni_{equiv} + 0,85 * Cr_{equiv} \leq 31,00$$

4. La aleación de acero inoxidable austenítico de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-3 en la que los

## ES 2 562 794 T3

contenidos de los elementos en la aleación del acero están equilibrados de manera que se satisface la siguiente condición:

$$Ni_{equiv} + 0,85 * Cr_{equiv} \leq 30,00$$

5. La aleación de acero inoxidable austenítico de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-4 en la que
- 5  $0,2 \leq Si \leq 0,6\%$  en peso
6. La aleación de acero inoxidable austenítico de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-5 en la que
- $2,0 \leq Mn \leq 5,5\%$  en peso
7. La aleación de acero inoxidable austenítico de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-6 en la que
- $2,0 \leq Mn \leq 5,0\%$  en peso
- 10 8. La aleación de acero inoxidable austenítico de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-7 en la que
- $2,5 \leq Ni \leq 4,0\%$  en peso
9. La aleación de acero inoxidable austenítico de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-8 en la que
- $17,5 \leq Cr \leq 19\%$  en peso
10. La aleación de acero inoxidable austenítico de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-9 en la que
- 15  $0 \leq Mo \leq 0,5\%$  en peso
11. La aleación de acero inoxidable austenítico de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-10 en la que cada uno de W, V, Ti, Al, Nb es  $\leq 0,2\%$  en peso
12. La aleación de acero inoxidable austenítico de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-11 en la que
- $0 \leq Co \leq 0,5\%$  en peso
- 20 13. La aleación de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-12, en la que las cantidades de cada uno de los elementos W, V, Ti, Al y Nb  $\leq 0,1\%$  en peso, y en la que
- $(W+V+Ti+Al+Nb) \leq 0,3\%$  en peso.
- 25 14. Un artículo, tal como un alambre, un muelle, un fleje, un tubo, un conducto, una barra o un artículo fabricado por encabezado en frío o forja que comprende la aleación de acero inoxidable austenítico de acuerdo con una de cualquiera de las reivindicaciones 1-13.

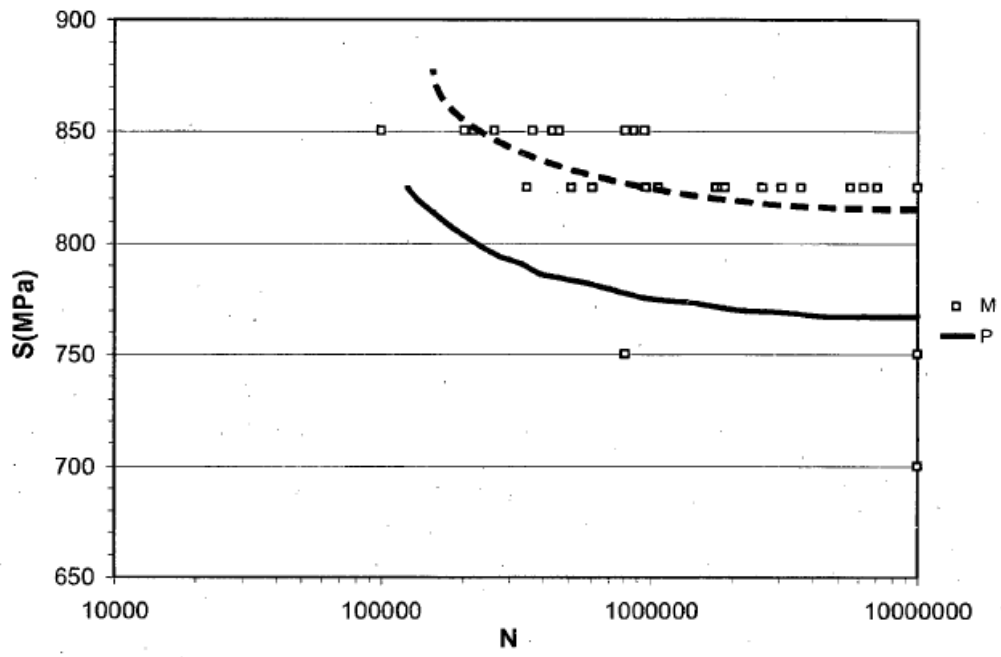


Figura 1