

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 644 452**

51 Int. Cl.:

<b>C21D 8/02</b>	(2006.01)
<b>C22C 38/00</b>	(2006.01)
<b>C22C 38/54</b>	(2006.01)
<b>C22C 38/02</b>	(2006.01)
<b>C22C 38/42</b>	(2006.01)
<b>C22C 38/44</b>	(2006.01)
<b>C22C 38/52</b>	(2006.01)
<b>C22C 38/58</b>	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **26.02.2008 PCT/US2008/054945**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **02.07.2009 WO09082501**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.02.2008 E 08730701 (3)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.09.2017 EP 2229463**

54 Título: **Acero inoxidable austenítico magro resistente a la corrosión**

30 Prioridad:

**20.12.2007 US 15338**

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

**29.11.2017**

73 Titular/es:

**ATI PROPERTIES, INC. (100.0%)  
1600 N.E. OLD SALEM ROAD  
ALBANY, OR 97321, US**

72 Inventor/es:

**BERGSTROM, DAVID S.;  
RAKOWSKI, JAMES M.;  
STINNER, CHARLES P.;  
DUNN, JOHN J. y  
GRUBB, JOHN F.**

74 Agente/Representante:

**VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro**

ES 2 644 452 T3

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

## DESCRIPCIÓN

Acero inoxidable austenítico magro resistente a la corrosión

5 **Referencia cruzada a solicitudes relacionadas**

La presente solicitud reivindica prioridad bajo la 35 U.S.C. § 119(e) en trámite junto con la presente Solicitud de Patente Provisional de EE.UU. N.º de serie 61/015.338, presentada el jueves, 20 de diciembre de 2007.

10 **Antecedentes de la invención****Campo de la tecnología**

15 La presente divulgación se refiere a un acero inoxidable austenítico. En particular, la divulgación se refiere a una composición de acero inoxidable austenítico rentable que tiene bajo níquel y bajo molibdeno pero que tiene una resistencia a la corrosión mejorada y propiedades de formabilidad comparables en comparación con determinadas aleaciones que contienen níquel y molibdeno más altos.

**Descripción de los antecedentes de la tecnología**

20 Los aceros inoxidables austeníticos muestran una combinación de propiedades altamente deseables que los hacen útiles para una amplia variedad de aplicaciones industriales. Estos aceros poseen una composición base de hierro que se equilibra mediante la adición de elementos promotores y estabilizadores de la austenita, tales como níquel, manganeso y nitrógeno, que permiten que se hagan adiciones de elementos promotores de la ferrita, tales como  
25 cromo y molibdeno, que potencian la resistencia a la corrosión, al tiempo que mantienen una estructura austenítica a temperatura ambiente. La estructura austenítica proporciona al acero propiedades mecánicas altamente deseables, particularmente tenacidad, ductilidad y formabilidad.

30 Un ejemplo de un acero inoxidable austenítico es acero inoxidable EN 1.4432, que es una aleación que contiene 16,5-18,5 % de cromo, 10,5-13 % de níquel y 2,5-3 % de molibdeno. Las gamas de los ingredientes de aleación en esta aleación se mantienen dentro de los intervalos especificados con el fin de mantener una estructura austenítica estable. Como es entendido por un experto en la técnica, el contenido de níquel, manganeso, cobre y nitrógeno, por ejemplo, contribuye a la estabilidad de la estructura austenítica. Sin embargo, los crecientes costes del níquel y el molibdeno han creado la necesidad de alternativas rentables a la EN 1.4432 que sigan mostrando una alta  
35 resistencia a la corrosión y buena formabilidad. Recientemente, las aleaciones dúplex magras tales como UNS S32003 (aleación AL 2003™) se han usado como alternativas de menor coste a la EN 1.4432, pero aunque estas aleaciones tienen una buena resistencia a la corrosión, contienen aproximadamente 50 % de ferrita, lo que les da mayor resistencia y menor ductilidad que a la EN 1.4432, y como consecuencia, no son tan formables. Los aceros inoxidables dúplex también tienen un uso más limitado tanto para las temperaturas altas como bajas, en comparación con la EN 1.4432.

Otra aleación austenítica es la Calidad 317 (UNS S31700). S31700 contiene 18-20 % de cromo, 11-15 % de níquel y 3-4 % de molibdeno. Debido su mayor contenido de Ni y Mo, S31700 es una alternativa más costosa a la EN 1.4432 y otra calidad austenítica de uso común, Tipo 316 (UNS S31600), que contiene 16-18 de cromo, 10-14 % de níquel y  
45 2-3 % de molibdeno. Aunque la resistencia a la corrosión de S31700 es superior a la de EN 1.4432 y S31600, sus materias primas más costosas hacen que el uso de S31700 sea demasiado costoso para muchas aplicaciones.

Otra alternativa de aleación es la Calidad 216 (UNS S21600), que se describe ea Patente de EE.UU. N.º 3.171.738. S21600 contiene 17,5-22 % de cromo, 5-7 % de níquel, 7,5-9 % de manganeso, 2-3 % de molibdeno y 0,25-0,50 de nitrógeno. S21600 es una variante de S31600 de níquel más bajo y mayor manganeso que contiene nitrógeno muy alto, lo que le da una mayor resistencia y mejora la resistencia a la corrosión. Sin embargo, la formabilidad de S21600 no es tan buena como la de S31600 o EN 1.4432, y el muy bajo número de ferrita de S21600 (-6.2) hace que el colado y la soldadura sean más difíciles. Además, ya que S21600 contiene una cantidad similar de molibdeno como EN 1.4432, el cambio a S21600 no proporciona ningún ahorro de costes para el molibdeno.

55 Otros ejemplos de aceros inoxidables austeníticos incluyen numerosas aleaciones en las que el níquel se sustituye por manganeso para mantener una estructura austenítica, tal como se practica con el acero Tipo 201 (UNS S20100) y calidades similares. Sin embargo, aunque el acero Tipo 201 es una aleación de bajo níquel que tiene una buena resistencia a la corrosión, tiene propiedades de formabilidad deficientes. Existe la necesidad de poder producir una  
60 aleación que tenga una resistencia a la corrosión y una formabilidad tan buenas o mejores que las de EN 1.4432, al tiempo que contiene cantidades menores de níquel y molibdeno, para ser rentable. Además, existe la necesidad de que dicha aleación tenga, a diferencia de las aleaciones dúplex, un intervalo de aplicación de temperatura comparable al de los aceros inoxidables austeníticos estándar, por ejemplo de temperaturas criogénicas de hasta 537,8 °C.

65 La solicitud de patente Japonesa número 05247592 divulga un acero que tiene una composición que consiste en, en peso, <0,02% de C, <2 % de Si, <2 % de Mn, <0,04 % de P, <0,04 % de S, 3-7 % de Ni, 17-27 % de Cr, 0,5-6 % de

Mo, 1-5 % de Cu, <3 % de W, 0,05-0,3 % de N y el resto esencialmente Fe. Además, se puede incorporar 0,1-1 % de Co y/o 0,0005-0,0015 % de B. Además, los contenidos respectivos de Cr, Mo, N y ferrita-delta están regulados de modo que satisfagan las relaciones en  $Cr(\%) + 3,3Mo(\%) + 16N(\%) > 30$  y  $8,09 - 0,26Cr(\%) - 0,62Mo(\%) + 0,028(ferrita-delta)(\%) > 1,7$ . La solicitud de patente de EE.UU. número 5.254.184 divulga un acero inoxidable dúplex que tiene una buena combinación de resistencia al desgaste y resistencia a la corrosión que contiene como productos intermedios generales y valores preferentes, en porcentaje en peso de aproximadamente: - C 0,1 máx., 0,05 máx., 0,025 máx., - Mn 0-6, 1-4, 1-3, Si 2,5-6, 3-6, 4-5, - Cr 16-24, 17-22, 18-21, - Ni 2-12, 6-10, 7-9, - Mo 4 máx., 0,5-3, 1-2, - N 0,07-0,30, 0,10-0,25, 0,15-0,20, - y el resto de la aleación es esencialmente hierro. En la condición de recocido, la aleación está limitada a aproximadamente 15-50 % de ferrita. Para lograr su buena resistencia al desgaste, los elementos de la aleación son igualados de modo que el  $\% Ni + 0,68 (\% Cr) + 0,55 (\% Mn) + 0,45 (\% Si) + (\% C + \% N) + \% Mo + 0,2 (\% Co)$ , sea al menos de aproximadamente 27,5 y la relación Ni/Si no sea más de aproximadamente 2,5.

Por consiguiente, la presente invención proporciona una solución que no está actualmente disponible en el mercado, que es una composición de una aleación de acero inoxidable austenítico formable que tiene propiedades de resistencia a la corrosión tan buenas o superiores a las de EN 1.4432 pero proporciona ahorros de costes de materias primas. Por consiguiente, la invención es una aleación austenítica que usa una combinación de los elementos Mn, Cu y N, para sustituir Ni y Mo de una manera para crear una aleación con una resistencia a la corrosión comparable o superior, formabilidad y otras propiedades relativas a determinadas aleaciones de mayor níquel y molibdeno a un coste de materia prima significativamente menor. Opcionalmente, los elementos W y Co se pueden usar independientemente o en combinación para sustituir los elementos Mo y Ni, respectivamente.

### Sumario de la invención

La invención proporciona un acero inoxidable austenítico de acuerdo con la reivindicación 1 de las reivindicaciones adjuntas.

La invención es un acero inoxidable austenítico que usa elementos menos caros, tales como manganeso, cobre y nitrógeno, como sustitutos de los elementos más costosos de níquel y molibdeno. El resultado es una aleación de menor coste que tiene una resistencia a la corrosión y una formabilidad tan buenas o mejores que las de EN 1.4432, y potencialmente tan buenas como UNS S31700.

El acero inoxidable austenítico de acuerdo con la presente divulgación consiste en, en % en peso, hasta 0,20 de C, 2-6 de Mn, hasta 2 de Si, 16-23 de Cr, 5-7 de Ni, 0,5 a 3 de Mo, hasta 3 de Cu, 0,1-0,35 de N, hasta 4 de W, hasta 0,01 de B, hasta 1 de Co, hierro e impurezas, en el que  $0,5 \leq (Mo + W/2) \leq 5$  y  $5 \leq (Ni + Co) \leq 8$ . El acero tiene un número de ferrita mayor a 0 a inferior a aproximadamente 11 y un valor de  $MD_{30}$  de menos de aproximadamente -10 °C.

Otra realización más del acero inoxidable austenítico de acuerdo con la presente divulgación consiste en, en % en peso, hasta 0,08 de C, 3-6 de Mn, hasta 2 de Si, 17-23 de Cr, 5-7 de Ni, 0,5-3 de Mo, hasta 1 de Cu, 0,14-0,35 de N, hasta 4 de W, hasta 0,008 de B, hasta 1 de Co, hierro e impurezas.

El acero inoxidable austenítico descrito en la presente divulgación puede tener un valor de  $PRE_W$  mayor a aproximadamente 26.

En una realización, un procedimiento de producción de un acero inoxidable austenítico de acuerdo con la presente divulgación incluye la fusión en un horno de arco eléctrico, refinado en un AOD, colado en lingotes o planchas de fundido continuo, recalentamiento de los lingotes o las planchas y laminado en caliente para producir placas o serpentines, laminación en frío hasta un espesor especificado, y recocido y decapado del material. Otros procedimientos de acuerdo con la invención pueden incluir, por ejemplo, la fusión y/o re-fusión en vacío o bajo una atmósfera especial, el colado en formas, o la producción de un polvo que se consolida en planchas o formas y similares.

Las aleaciones de acuerdo con la presente divulgación pueden usarse en numerosas aplicaciones. De acuerdo con un ejemplo, las aleaciones de la presente divulgación pueden incluirse en artículos de fabricación adaptados para su uso en ambientes de baja temperatura o criogénicos. Ejemplos adicionales no limitantes de artículos de fabricación que pueden fabricarse a partir de o incluir las presentes aleaciones son artículos resistentes a la corrosión, paneles arquitectónicos resistentes a la corrosión, conectores flexibles, fuelles, tubo, tubería, revestimientos de chimenea, revestimientos de conductos, piezas para placas de bastidores de intercambiadores de calor, piezas de condensador, piezas para equipos de procesamiento farmacéutico, piezas usadas en aplicaciones sanitarias y piezas para equipos de producción o procesamiento de etanol.

### Descripción detallada de la invención

En la presente descripción y en las reivindicaciones, aparte de en los ejemplos de operación, o donde se indique otra cosa, todos los números que expresan cantidades o características de ingredientes y productos, condiciones de

procesamiento y similares, deben entenderse que están modificados en todos los casos por el término "aproximadamente". Por consiguiente, a menos que se indique otra cosa, cualquier parámetro numérico expuestos en la siguiente descripción y en las reivindicaciones adjuntas son aproximaciones que pueden variar dependiendo de las propiedades deseadas que se tratan de obtener en el producto y en los procedimientos de acuerdo con la presente divulgación. Como mínimo, y no en un intento de limitar la aplicación de la doctrina de los equivalentes al alcance de las reivindicaciones, cada parámetro numérico debe interpretarse al menos a la luz del número de dígitos significativos indicados y aplicando técnicas de redondeo habituales. Los aceros inoxidable austeníticos de la presente invención se describirán en detalle. En la siguiente descripción, "%" representa "% en peso", a menos que se especifique otra cosa.

La invención se refiere a un acero inoxidable austenítico. En particular, la invención se refiere a una composición de acero inoxidable austenítico que tiene una resistencia a la corrosión y una formabilidad tan buenas o mejores que las de EN 1.4432, y potencialmente tan buenas como S31700.

El acero inoxidable austenítico de acuerdo con la presente divulgación consiste en, en % en peso, hasta 0,20 de C, 2-6 de Mn, hasta 2 de Si, 16-23 de Cr, 5-7 de Ni, 0,5 a 3 de Mo, hasta 3 de Cu, 0,1-0,35 de N, hasta 4 de W, hasta 0,01 de B, hasta 1 de Co, hierro e impurezas, en el que  $0,5 \leq (Mo + W/2) \leq 5$  y  $5 \leq (Ni + Co) \leq 8$ . El acero tiene un número de ferrita mayor a 0 a inferior a aproximadamente 11 y un valor de MD<sub>30</sub> de menos de aproximadamente -10 °C.

Otra realización más del acero inoxidable austenítico de acuerdo con la presente divulgación consiste en, en % en peso, hasta 0,08 de C, 3-6 de Mn, hasta 2 de Si, 17-23 de Cr, 5-7 de Ni, 0,5-3 de Mo, hasta 1 de Cu, 0,14-0,35 de N, hasta 4 de W, hasta 0,008 de B, hasta 1 de Co, hierro e impurezas.

**C: hasta 0,20 %**

El C actúa para estabilizar la fase austenita e inhibe la transformación martensítica inducida por deformación. Sin embargo, C también aumenta la probabilidad de formar carburos de cromo, especialmente durante la soldadura, lo que reduce la resistencia a la corrosión y la tenacidad. Por consiguiente, el acero inoxidable austenítico de la presente invención tiene hasta 0,20 % de C. En una realización de la invención, el contenido de C puede ser de 0,08 % o menos.

**Si: hasta 2 %**

Tener más del 2 % de Si promueve la formación de fases de fragilización, tales como sigma, y reduce la solubilidad del nitrógeno en la aleación. Si también estabiliza la fase ferrítica, y más del 2 % de Si requiere estabilizadores de austenita adicionales para mantener la fase austenítica. Por consiguiente, el acero inoxidable austenítico de la presente invención tiene hasta 2 % de Si. En una realización de la aleación, el contenido de Si puede ser de 1 % o menos. En determinadas realizaciones, los efectos de la adición de Si se igualan ajustando el contenido de Si a 0,5-1 %.

**Mn: 2,0-6 %**

El Mn estabiliza la fase austenítica y generalmente aumenta la solubilidad del nitrógeno, un elemento de aleación beneficioso. Para producir suficientemente estos efectos, se requiere un contenido de Mn de más del 2 %. Tanto Mn como N son sustitutos eficaces del elemento más caro, Ni. Sin embargo, tener más del 6 % de Mn degradaría la trabajabilidad del material y su resistencia a la corrosión en determinados ambientes. Además, ya que la aleación inventiva contiene al menos 5 % de Ni, no se debe requerir más del 6 % de Mn para estabilizar suficientemente la fase austenítica. Por consiguiente, el acero inoxidable austenítico de la presente invención tiene 2-6 % de Mn. En una realización, el contenido de Mn puede ser de 3-6 %.

**Ni: 5-7 %**

El Ni actúa para estabilizar la fase austenítica, así como para potenciar la tenacidad y formabilidad. Sin embargo, debido al alto coste del níquel, es deseable mantener el contenido de Ni bajo. Los inventores han descubierto que un intervalo de 5-7 % de níquel permitirá que se mantenga la fase austenítica, al tiempo que se sigue permitiendo añadir una cantidad suficiente de elementos estabilizadores de ferrita tales como Cr y Mo para proporcionar un material que tiene un rendimiento frente a la corrosión similar o superior a EN 1.4432, al tiempo que mantienen una tenacidad y formabilidad similares a un coste menor. Por consiguiente, el acero inoxidable austenítico de la presente invención incluye 5-7 % de Ni.

**Cr: 16-23 %**

Se añade Cr para impartir resistencia a la corrosión a los aceros inoxidables y también actúa para estabilizar la fase austenítica con respecto a la transformación martensítica. Se requiere al menos 16 % de Cr para proporcionar una resistencia a la corrosión adecuada. Por otra parte, ya que el Cr es un potente estabilizador de ferrita, un contenido

de Cr que supera el 23 % requiere la adición de elementos de aleación más costosos, tales como níquel o cobalto, para mantener el contenido de ferrita aceptablemente bajo. Tener más del 23 % de Cr también hace que la formación de fases indeseables, tales como sigma, sea más probable.

5 Por consiguiente, el acero inoxidable austenítico de la presente invención tiene 16-23 % de Cr. En una realización, el contenido de Cr puede ser de 17-23 %.

**N: 0,1-0,35 %**

10 El N está incluido en la aleación como un reemplazo parcial del elemento Ni estabilizador de la austenita y el elemento de potenciación Mo. Al menos 0,1 % de N es necesario para la resistencia y la resistencia a la corrosión y para estabilizar la fase austenítica. La adición de más del 0,35 % de N puede superar la solubilidad de N durante la fusión y la soldadura, lo que da como resultado una porosidad debida a burbujas de gas nitrógeno. Incluso si no se supera el límite de solubilidad, un contenido de N de más de 0,35 % aumenta la propensión a la precipitación de las partículas de nitruro, lo que degrada la resistencia a la corrosión y tenacidad. Por consiguiente, el acero inoxidable austenítico de la presente invención incluye 0,1-0,35 % de N. En una realización, el contenido de N puede ser de 0,14-0,35 %.

**Mo: de 0,5 a 3 %**

20 Los presentes inventores trataron de limitar el contenido de Mo de la aleación al tiempo que mantenían propiedades aceptables. El Mo es eficaz para estabilizar la película de óxido pasivo que se forma en la superficie de los aceros inoxidables y protege frente a la corrosión por picadura por acción de los cloruros. Con el fin de obtener estos efectos, se puede añadir Mo en esta invención hasta un nivel del 3 %. Un contenido de Mo que supere el 3 % provoca un deterioro de la trabajabilidad en caliente aumentando la fracción de ferrita (delta) de solidificación a niveles potencialmente perjudiciales. Un alto contenido de Mo también aumenta la probabilidad de formar fases intermetálicas nocivas, tales como la fase sigma. Por consiguiente, la composición del acero inoxidable austenítico de la presente invención incluye 0,5 a 3 % de Mo.

**Co: hasta 1 %**

30 El Co actúa como un sustituto de níquel para estabilizar la fase austenita. La adición de cobalto también actúa para aumentar la resistencia del material. El límite superior del cobalto es preferentemente 1 %.

**B: hasta 0,01 %**

35 Se pueden añadir adiciones de hasta el 0.0005 % de B para mejorar la trabajabilidad en caliente y la calidad superficial de los aceros inoxidables. Sin embargo, las adiciones de más de 0,01 % degradan la resistencia a la corrosión y la trabajabilidad de la aleación. Por consiguiente, la composición del acero inoxidable austenítico de la presente invención tiene hasta el 0,01 % de B. En una realización, el contenido de B puede ser de hasta 0,008 %, o puede ser de hasta 0,005 %.

**Cu: hasta 3 %**

45 El Cu es un estabilizador de austenita y se puede usar para sustituir una porción del níquel en esta aleación. También mejora la resistencia a la corrosión en ambientes reductores y mejora la formabilidad reduciendo la energía de falla de apilamiento. Sin embargo, se ha demostrado que las adiciones de más del 3 % de Cu reducen la trabajabilidad en caliente de los aceros inoxidables austeníticos. Por consiguiente, la composición del acero inoxidable austenítico de la presente invención tiene hasta el 3 % de Cu. En una realización, el contenido de Cu puede ser de hasta 1 %.

**W: hasta 4 %**

50 El W proporciona un efecto similar al del molibdeno para mejorar la resistencia a la corrosión por picadura y grietas de cloruro. W también puede reducir la tendencia a la formación de la fase sigma cuando se sustituye por molibdeno. Sin embargo, las adiciones de más del 4 % pueden reducir la trabajabilidad en caliente de la aleación. Por consiguiente, la composición del acero inoxidable austenítico de la presente invención tiene hasta el 4 % de W.

**$0,5 \leq (Mo+W/2) \leq 5$**

60 El molibdeno y tungsteno son ambos eficaces para estabilizar la película de óxido pasivo que se forma en la superficie de los aceros inoxidables y protege frente a la corrosión por acción de los cloruros. Ya que el W es aproximadamente la mitad de eficaz (en peso) que el Mo para aumentar la resistencia a la corrosión, se requiere una combinación de  $(Mo + W/2) > 0,5$  % para proporcionar la resistencia a la corrosión necesaria. Sin embargo, tener demasiado Mo aumenta la probabilidad de formar fases intermetálicas, y demasiado W reduce la trabajabilidad en caliente del material. Por lo tanto, la combinación de  $(Mo + W/2)$  debe ser inferior a 5 %. Por consiguiente, la composición del acero inoxidable austenítico de la presente invención tiene  $0,5 \leq (Mo + W/2) \leq 5$ .

**5 ≤ (Ni + Co) ≤ 8**

5 El níquel y cobalto actúan ambos para estabilizar la fase austenítica con respecto a la formación de ferrita. Se requiere al menos el 5 % de (Ni + Co) para estabilizar la fase austenítica en presencia de los elevados niveles de los elementos estabilizadores de ferrita tales como Cr y Mo, que se deben añadir para asegurar una resistencia a la corrosión superior. Sin embargo, tanto Ni como Co son elementos costosos, por lo que es deseable mantener el contenido de (Ni + Co) inferior a 8 %. Por consiguiente, la composición del acero inoxidable austenítico de la presente invención tiene 5 ≤ (Ni + Co) ≤ 8.

10 El resto del acero inoxidable austenítico de la presente invención incluye hierro e impurezas inevitables, tales como fósforo y azufre. Las impurezas inevitables se mantienen preferentemente en el nivel práctico más bajo, tal como lo entiende un experto en la técnica.

15 El acero inoxidable austenítico de la presente invención también puede definirse mediante las ecuaciones que cuantifican las propiedades que muestran, que incluyen, por ejemplo, el número de equivalencia de resistencia a picaduras, número de ferrita y temperatura MD<sub>30</sub>.

20 El número de equivalencia de la resistencia a la picadura (PRE<sub>N</sub>) proporciona una jerarquización relativa de la resistencia esperada de una aleación a la corrosión por picadura en un ambiente que contiene cloruro. Cuanto mayor sea el PRE<sub>N</sub>, mejor será la resistencia a la corrosión esperada de la aleación. El PRE<sub>N</sub> se puede calcular mediante la siguiente fórmula:

$$PRE_N = \%Cr + 3,3(\%Mo) + 16(\%N)$$

25 De manera alternativa, se puede añadir un factor de 1,65 (%W) a la fórmula anterior para tener en cuenta la presencia tungsteno en una aleación. El tungsteno mejora la resistencia a la picadura de los aceros inoxidables y es aproximadamente la mitad de eficaz que el molibdeno en peso. Cuando se incluye tungsteno en el cálculo, el número de equivalencia de la resistencia a la picadura se designa PRE<sub>W</sub>, que se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$PRE_W = \%Cr + 3,3(\%Mo) + 1,65(\%W) + 16(\%N)$$

35 El tungsteno cumple un propósito similar al del molibdeno en la aleación inventada. Como tal, el tungsteno puede añadirse como sustituto del molibdeno para proporcionar una resistencia a la picadura incrementada. De acuerdo con la ecuación, se debe añadir el doble del porcentaje en peso de tungsteno por cada porcentaje de molibdeno eliminado para mantener la misma resistencia a la picadura. Las realizaciones de la aleación de la presente invención pueden tener un valor de PRE<sub>W</sub> de más de 26, y preferentemente es de hasta 30.

40 La aleación de la invención también puede definirse por su número de ferrita. Un número de ferrita positivo se correlaciona generalmente con la presencia de ferrita, que mejora las propiedades de solidificación de una aleación y ayuda a inhibir el craqueo en caliente de la aleación durante las operaciones de trabajo en caliente y soldadura. Por tanto, se desea una pequeña cantidad de ferrita en la microestructura solidificada inicial para una buena colabilidad y para la prevención del craqueo en caliente durante la soldadura. Por otra parte, demasiada ferrita puede dar lugar a problemas durante el servicio, incluyendo, pero sin limitación, inestabilidad microestructural, ductilidad limitada y propiedades mecánicas de alta temperatura alteradas. El número de ferrita se puede calcular usando la siguiente ecuación:

$$FN = 3,34(Cr + 1,5Si + Mo + 2Ti + 0,5Nb) - 2,46(Ni + 30N + 30C + 0,5Mn + 0,5Cu) - 28,6$$

50 La aleación de la presente invención tiene un número de ferrita calculado de hasta 11 y que es un número positivo, y más preferentemente de aproximadamente 3 a 7. Será evidente a partir de la siguiente discusión que determinadas aleaciones de acero inoxidable conocidas que incluyen contenidos relativamente bajos de níquel y molibdeno tienen números de ferrita significativamente más bajos que las aleaciones de acuerdo con la presente divulgación.

55 La temperatura MD<sub>30</sub> de una aleación se define como la temperatura a la que una deformación en frío del 30 % dará lugar a una transformación del 50 % de la austenita en martensita. Cuanto menor es la temperatura del MD<sub>30</sub>, más resistente es un material a la transformación en martensita. La resistencia a la formación de martensita da lugar a una menor velocidad de endurecimiento del trabajo, lo que da lugar a una buena formabilidad, especialmente en aplicaciones de estirado. MD<sub>30</sub> se calcula de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$MD_{30}(^{\circ}C) = 413 - 462(C + N) - 9,2(Si) - 8,1(Mn) - 13,7(Cr) - 9,5(Ni) - 17,1(Cu) - 18,5(Mo)$$

65 La aleación de la presente invención tiene una temperatura MD<sub>30</sub> de menos de -10 °C, preferentemente inferior a aproximadamente -30 °C. Muchas de las aleaciones de acero inoxidable de bajo níquel conocidas tienen valores de MD<sub>30</sub> significativamente mayores que los de las aleaciones de acuerdo con la presente divulgación.

**Ejemplos**

La **Tabla 1** incluye las composiciones y los valores de los parámetros calculados para las Aleaciones Inventivas 1-3 y para las Aleaciones Comparativas, CA1, EN 1.4432, S31600, S21600, S31700 y S20100.

5 Las Aleaciones Inventivas 1-3 y Aleación Comparativa CA1 se fundieron en un horno de vacío de tamaño de laboratorio y se vertieron en lingotes de 22,7 kg. Estos lingotes fueron recalentados y laminados en caliente para producir material de aproximadamente 0,635 cm de espesor. Este material fue recocido, chorreado y decapado. Parte de ese material se laminó en frío hasta 0,254 cm de espesor, y el resto se laminó en frío hasta 0,127 cm o 10 0,102 cm de espesor. El material laminado en frío fue recocido y decapado. Las Aleaciones Comparativas EN1.4432, S31600, S21600, S31700 y S20100 están disponibles en el mercado y los datos mostrados para estas aleaciones se tomaron de la literatura publicada o se midieron a partir de ensayos del material recientemente producido para la venta comercial.

15 Los valores de PRE<sub>w</sub> calculados para cada aleación se muestran en la **Tabla 1**. Usando la ecuación tratada en el presente documento anteriormente, se esperaría que las aleaciones que tenían un PRE<sub>w</sub> mayor a 26 tuvieran una mejor resistencia a la picadura de cloruro que el material EN 1.4432. Se esperaría que un PRE<sub>w</sub> mayor a 29 tuviera al menos una resistencia equivalente a la picadura de cloruros del S31700.

20 También se ha calculado el número de ferrita para cada aleación en la **Tabla 1**. Los números de ferrita de las Aleaciones Inventivas 1-3 están entre 5 y 7,5. Estos están dentro del intervalo deseado para promover una buena soldabilidad y colabilidad.

25 Los valores de MD<sub>30</sub> también se calcularon para las aleaciones de la **Tabla 1**. De acuerdo con los cálculos, todas las Aleaciones Inventivas muestran una mayor resistencia a la formación de martensita que S31600.

**Tabla 1**

Aleaciones Inventivas				Aleaciones Comparativas					
	1	2	3	CA1	EN 1.4432	S31700	S31600	S21600	S20100
C	0,019	0,013	0,024	0,019	0,02	0,016	0,017	0,018	0,02
Mn	5,8	5,5	5,9	4,7	1,2	1,6	1,24	8,3	6,7
Si	0,27	0,28	0,28	0,28	0,4	0,4	0,45	0,40	0,40
Cr	19,8	19,8	22,7	18,1	16,9	18,3	16,3	19,7	16,4
Ni	6,1	6,1	6,9	4,5	10,7	13,1	10,1	6,0	4,1
Mo	1,51	1,34	0,59	1,13	2,6	3,2	2,1	2,5	0,26
Cu	0,40	1,98	0,71	0,40	0,4	0,4	0,38	0,40	0,43
N	0,195	0,181	0,220	0,210	0,04	0,06	0,04	0,37	0,15
P	0,018	0,019	0,016	0,002	0,03	0,025	0,03	0,03	0,03
S	0,0015	0,0018	0,0022	0,0001	0,0010	0,001	0,0010	0,0010	0,0010
W	0,12	0,06	0,01	0,09	0,1	0,1	0,11	0,10	0,1
B	0,0025	0,0019	-	0,0001	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025	0,0005
Fe	65,6	64,6	62,2	70,4	67,9	62,5	68,8	62,2	71,4
Co	0,10	0,07	0,09	0,10	0,3	0,33	0,35	0,10	0,10
FN	5,6	5,0	7,5	2,8	5,9	4,8	4,1	-6,2	-2,3
PRE <sub>w</sub>	28,3	27,4	28,2	25,5	26,1	29,9	24,0	33,9	19,7
MD <sub>30</sub>	-99,4	-112,1	-149,7	-52,4	-16,2	-79,4	7,8	-217,4	0,7
ICMP	0,71	0,68	0,64	0,56	1,09	1,31	1,00	0,83	0,43
Rendimiento	54,4	52,2	59,3	49,1	43	48	43,5	55	43
Tracción	108,0	105,4	111,1	108,7	87	92	90,6	100	100
% E	42	38	32	68	55	46	56	45	56
OCH	0,37	0,36	0,33	0,45	-	-	0,45	-	-
SSCVN	56,0	50,3	42,3	61,7	-	-	70	-	-
CPT	29,2	23,8	29,8	14,6	23,0	34,1	12,9	-	< 2,0

30 La **Tabla 1** muestra un índice de coste de materia prima (ICMP), que compara los costes de material para cada aleación con los de S31600. El ICMP se calculó multiplicando el coste medio de octubre de 2007 para las materias primas Fe, Cr, Mn, Ni, Mo, W y Co por el porcentaje de cada elemento contenido en la aleación y dividiendo por el coste de las materias primas en S31600. Como muestran los valores calculados, las Aleaciones Inventivas tienen valores de ICMP entre 0,64 y 0,71, lo que significa que el coste de las materias primas contenidas en ellas está entre el 64 y 71% de los de S31600. Por el contrario, el ICMP de EN 1.4432 es 1,09. Sin embargo, el número de ferrita para cada Aleación Inventiva es comparable al enumerado para EN 1.4432 y los valores de MD<sub>30</sub> de las Aleaciones Inventivas son sustancialmente más bajos que los de EN 1.4432. El hecho de que se pueda fabricar un material que 35 tenga formabilidad y resistencia a la corrosión al menos comparable a EN 1.4432, pero a un coste de materia prima

significativamente menor, es sorprendente y no se anticipó de la técnica anterior.

Las propiedades mecánicas de las Aleaciones Inventivas 1-3 han sido medidas y comparadas con las de las Aleaciones Comparativas CA1 y EN 1.4432, S31600, S21600, S31700 y S20100 disponibles en el mercado. El límite elástico, la resistencia a la tracción, y el alargamiento porcentual medidos sobre una longitud de calibre de 5,08 cm, la energía de impacto de Charpy de muesca en V de 1/2 de tamaño y la altura de la copa de Olsen se muestran en la **Tabla 1** para estas aleaciones. Los ensayos de tracción se realizaron en material de calibración de 0,254 cm, los ensayos de Charpy se realizaron en muestras de 0,500 cm de espesor y los ensayos de la copa de Olsen se llevaron a cabo en material de entre 0,102 cm y 0,127 cm de espesor. Todos los ensayos se realizaron a temperatura ambiente. Las unidades para los datos de la **Tabla 1** son las siguientes: límite elástico y resistencia a la tracción, ksi; alargamiento, en porcentaje; altura de la copa de Olsen, pulgadas; energía de impacto de Charpy, ft-lbs. Como puede verse a partir de los datos, las Aleaciones Inventivas mostraron una resistencia ligeramente mayor y un menor porcentaje de alargamiento que las presentadas para EN 1.4432, proporcionando por tanto propiedades de formabilidad al menos comparables a las de EN 1.4432.

Se realizó un ensayo electroquímico de la temperatura crítica de picadura de acuerdo con la Norma ASTM G150 en las muestras de las Aleaciones Inventivas 1-3 y de las Aleaciones Comparativas CA1, EN 1.4432, S31600, S31700 y S20100. Como puede observarse a partir de los resultados de la **Tabla 1**, la Aleación Inventiva 2 tiene una temperatura crítica de picadura similar a la de EN 1.4432, mientras que las Aleaciones Inventivas 1 y 3 tienen temperaturas críticas de picadura significativamente superiores a la de EN 1.4432 y más del doble de la de S31600. El hecho de que una aleación que tiene costes de materia prima entre un 29 % y 36 % más bajos que los de S31600 tuviera una temperatura crítica de picadura de aproximadamente 16 °C más alta mientras que sigue teniendo tenacidad y formabilidad comparables es sorprendente para los inventores.

Los usos potenciales de esta nueva aleación son numerosos. Como se ha descrito y se ha demostrado anteriormente, las composiciones de los aceros inoxidable austeníticos descritos en el presente documento pueden usarse en muchas aplicaciones en las que se requiere la formabilidad y la tenacidad de S31600, pero se necesita una mayor resistencia a la corrosión. Adicionalmente, debido al alto coste del níquel y el molibdeno, se reconocerá un significativo ahorro de coste cambiando de S31600 o EN 1.4432 a la Aleación Inventiva. Otro beneficio es que, ya que las Aleaciones Inventivas son totalmente austeníticas, no serán susceptibles ni a una transición dúctil a frágil brusca (DBT) a una temperatura bajo cero o a una fragilidad de 473,9 °C. Por lo tanto, a diferencia de las aleaciones dúplex, se pueden usar a temperaturas por encima de 343,3 °C y son los principales materiales candidatos para aplicaciones a baja temperatura y criogénicas. Se espera que la formabilidad y procesabilidad de las aleaciones descritas en el presente documento sean muy próximas a las de los aceros inoxidable austeníticos estándar. Los artículos de fabricación específicos para los que las aleaciones de acuerdo con la presente divulgación serían particularmente ventajosas incluyen, por ejemplo, conectores flexibles para los gases de automoción y otras aplicaciones, fuelles, tuberías flexibles y revestimientos de chimenea/conductos. Los expertos en la materia pueden fabricar fácilmente estos y otros artículos de fabricación a partir de las aleaciones de acuerdo con la presente divulgación usando técnicas de fabricación convencionales.

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Un acero inoxidable austenítico que consiste en, en % en peso, hasta 0,20 de C, 2,0-6,0 de Mn, hasta 2,0 de Si, 16,0-23,0 de Cr, 5,0-7,0 de Ni, 0,5 a 3,0 de Mo, hasta 3,0 de Cu, 0,1-0,35 de N, hasta 4,0 de W, hasta 0,01 de B, hasta 1,0 de Co y el resto hierro e impurezas, teniendo el acero un número de ferrita mayor a 0 a inferior a aproximadamente 11 y un valor de MD<sub>30</sub> inferior a -10 °C y en el que  $0,5 \leq (Mo + W/2) \leq 5,0$  y  $5,0 \leq (Ni + Co) \leq 8,0$ .
- 10 2. El acero inoxidable austenítico de acuerdo con la reivindicación 1, que tiene un valor de PRE<sub>W</sub> mayor de 26.
- 10 3. El acero inoxidable austenítico de acuerdo con la reivindicación 1, que tiene un número de ferrita de 3 hasta 5.
4. El acero inoxidable austenítico de acuerdo con la reivindicación 1, en el que C no es mayor de 0,08.
- 15 5. El acero inoxidable austenítico de acuerdo con la reivindicación 1, en el que Si no es mayor de 1,0.
6. El acero inoxidable austenítico de acuerdo con la reivindicación 1, en el que Mn está limitado a 3,0-6,0.
7. El acero inoxidable austenítico de acuerdo con la reivindicación 1, en el que Cr está limitado a 17,0-23,0.
- 20 8. El acero inoxidable austenítico de acuerdo con la reivindicación 1, en el que N está limitado a 0,14-0,35.
9. El acero inoxidable austenítico de acuerdo con la reivindicación 1, en el que B no es mayor de 0,008.
- 25 10. El acero inoxidable austenítico de acuerdo con la reivindicación 1, en el que Cu no es mayor de 1,0.
11. El acero inoxidable austenítico de acuerdo con la reivindicación 1, que tiene un valor de MD<sub>30</sub> inferior a -30 °C.
- 30 12. El acero inoxidable austenítico de acuerdo con la reivindicación 1, que consiste en, en % en peso, hasta 0,08 de C, 3,0-6,0 de Mn, hasta 2,0 de Si, 17,0-23,0 de Cr, 5,0-7,0 de Ni, 0,5-3,0 de Mo, hasta 1,0 de Cu, 0,14-0,35 de N, hasta 4,0 de W, hasta 0,008 de B, hasta 1,0 de Co y el resto hierro.
13. Un artículo de fabricación que comprende un acero inoxidable austenítico de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores.
- 35 14. El artículo de fabricación de la reivindicación 13, en donde el artículo está adaptado para su uso en al menos uno de los ambientes de baja temperatura y criogénicos.
- 40 15. El artículo de fabricación de la reivindicación 13, en donde el artículo se selecciona de entre el grupo que consiste en un artículo resistente a la corrosión, un panel arquitectónico resistente a la corrosión, un conector flexible, un fuelle, un tubo, una tubería, un revestimiento de chimeneas, un revestimiento de canal de humos, una pieza para placas de bastidores de intercambiadores de calor, una pieza de condensador, una pieza para equipos de procesamiento farmacéutico, una pieza sanitaria y una pieza para equipos de producción o procesamiento de etanol.