

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 713 899**

51 Int. Cl.:

C22C 38/00	(2006.01)	C22C 38/44	(2006.01)
C22C 38/02	(2006.01)	C22C 38/58	(2006.01)
C22C 38/22	(2006.01)		
C22C 38/30	(2006.01)		
C22C 38/32	(2006.01)		
C22C 38/34	(2006.01)		
C22C 38/38	(2006.01)		
C22C 38/52	(2006.01)		
C22C 38/54	(2006.01)		
C22C 38/42	(2006.01)		

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **26.02.2008 PCT/US2008/054986**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **04.06.2009 WO09070345**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.02.2008 E 08730735 (1)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.12.2018 EP 2220261**

54 Título: **Acero inoxidable austenítico pobre**

30 Prioridad:

29.11.2007 US 991016 P

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

24.05.2019

73 Titular/es:

**ATI PROPERTIES LLC (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 2 713 899 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 pobre

5 **Antecedentes de la invención****Campo de la tecnología**

10 La presente divulgación se refiere a un acero inoxidable austenítico. En particular, la divulgación se refiere a una composición de acero inoxidable austenítico económica que tenga bajo níquel y molibdeno con al menos propiedades de resistencia a la corrosión y formabilidad comparables con respecto a aleaciones de níquel más altas.

Descripción de los antecedentes de la tecnología

15 Los aceros inoxidables austeníticos exhiben una combinación de propiedades altamente deseables que los hacen útiles para una amplia diversidad de aplicaciones industriales. Estos aceros poseen una composición base de hierro que está equilibrada por la adición de elementos promotores de la austenita y estabilizantes, tales como níquel, manganeso y nitrógeno, para permitir adiciones de elementos promotores de la ferrita, tales como cromo y molibdeno, que potencian la resistencia a la corrosión, para producirse mientras se mantiene una estructura austenítica a temperatura ambiente. La estructura austenítica proporciona al acero propiedades mecánicas altamente deseables, particularmente dureza, ductilidad y formabilidad.

25 Un ejemplo de un acero inoxidable austenítico es acero inoxidable AISI Tipo 316 (UNS S31600) que es una aleación que contiene un 16-18 % de cromo, 10-14 % de níquel y 2-3 % de molibdeno. Los intervalos de ingredientes de aleado en esta aleación se mantienen dentro de los intervalos específicos para mantener una estructura austenítica estable. Como se entiende por un experto en la materia, el contenido de níquel, manganeso, cobre y nitrógeno, por ejemplo, contribuye a la estabilidad de la estructura austenítica. Sin embargo, los costes en aumento del níquel y el molibdeno han creado la necesidad de alternativas económicas a S31600 que todavía exhiban alta resistencia a la corrosión y buena formabilidad. Recientemente, aleaciones en dúplex pobres tales como UNS S32003 (aleación AL 2003™) se han usado como alternativas de menor coste a S31600, pero aunque estas aleaciones tienen buena resistencia a la corrosión, contienen aproximadamente un 50 % de ferrita, que les da mayor resistencia y menor ductilidad que S31600 y, como consecuencia, no son tan deformables. Los aceros inoxidables en dúplex también son de uso más limitado tanto para altas y bajas temperaturas, en comparación con S31600.

35 Otra aleación alternativa es Grado 216 (UNS S21600), que se describe en la Pat. de EE.UU. N.º 3.171.738. S21600 contiene un 17,5-22 % de cromo, un 5-7 % de níquel, un 7,5-9 % de manganeso y un 2-3 % de molibdeno. Aunque S21600 es una variante más baja en níquel, más alta en manganeso de S31600, las propiedades de resistencia y resistencia a la corrosión de S21600 son mucho más altas que aquellas de S31600. Sin embargo, como con las aleaciones en dúplex, la formabilidad de S21600 no es tan buena como aquella de S31600. Además, debido a que S21600 contiene la misma cantidad de molibdeno que S31600, no hay ahorros de coste para el molibdeno.

45 Otros ejemplos incluyen numerosos aceros inoxidables en los que el níquel se reemplaza con manganeso para mantener una estructura austenítica, tales como se practica con el acero Tipo 201 (UNS S20100) y grados similares. Aunque el acero Tipo 201, por ejemplo, es una aleación baja en níquel que tiene buena resistencia a la corrosión, tiene escasas propiedades de formabilidad. Existe una necesidad de ser capaz de producir una aleación que tenga una combinación tanto de propiedades de resistencia a la corrosión como de formabilidad similares a S31600, manteniendo una menor cantidad de níquel y molibdeno de manera que sea económica. Adicionalmente, existe una necesidad de que dicha aleación tenga, a diferencia de las aleaciones en dúplex, un intervalo de aplicación de temperatura comparable a aquel de los aceros inoxidables austeníticos convencionales, por ejemplo desde 50 temperaturas criogénicas hasta 538 °C (100 °F).

El documento WO 00/26428 desvela una aleación de acero inoxidable austenítico que tiene la composición en porcentaje en peso amplia: C 0,025-0,15; Mn 4-12; Si 1,0 máx.; P 0,2 máx.; S 0,1 máx.; Cr 15,5- 17,5; Ni 1-4; Mo 0,25-1,5; Cu 1,5-4; W 1,0 máx.; Co 1,0 máx.; N 0,05-0,30. El equilibrio de la aleación son el hierro y las impurezas habituales. Dentro de estos intervalos, los elementos están equilibrados de tal manera que la cantidad combinada de carbono y nitrógeno es al menos aproximadamente el 0,19 %, la cantidad combinada de cromo y molibdeno es menos de aproximadamente el 17,75 % y % de Cr + 3,3 (% de Mo) + 13 (% de N) > 20,5. La aleación proporciona una combinación de resistencia a la corrosión, formabilidad y resistencia al endurecimiento de trabajo.

60 En consecuencia, la presente invención proporciona una solución que no está actualmente disponible en el mercado, que es una composición de aleación de acero inoxidable austenítico deformable que tiene propiedades de resistencia a la corrosión comparables a S31600 pero proporciona ahorros de coste en las materias primas. En consecuencia, la invención es una aleación austenítica que usa una combinación de los elementos Mn y N para reemplazar al Ni y al Mo de manera que se cree una aleación con propiedades similares a aquellas de aleaciones más altas en níquel y molibdeno a un coste de materias primas significativamente menor. Opcionalmente, los elementos W y Co pueden usarse independientemente o en combinación para reemplazar a los elementos Mo y Ni,

respectivamente.

Sumario de la invención

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

10 La invención es un acero inoxidable austenítico que usa elementos menos caros, tales como manganeso, cobre y nitrógeno como sustitutos para los elementos más costosos del níquel y el molibdeno. El resultado es una aleación de coste menor que tiene al menos propiedades de resistencia a la corrosión y formabilidad comparables a las aleaciones más costosas, tales como S31600.

15 Una realización de acuerdo con la presente divulgación es una aleación de acero inoxidable austenítico que incluye, en % en peso, hasta 0,20 C, 2,0-9,0 Mn, hasta 2,0 Si, 16,0-23,0 Cr, 1,0-5,0 Ni, 0,4 a 2,0 Mo, hasta 1,0 Cu, 0,1-0,35 N, hasta 4,0 W, hasta 0,01 B, hasta 1,0 Co, hierro e impurezas, teniendo el acero un número de ferrita de menos de 10 y un valor MD₃₀ de menos de 20 °C. En ciertas realizaciones del acero, el valor MD₃₀ es menos de -10 °C. En ciertas realizaciones del acero, el acero tiene un valor PRE_W mayor de aproximadamente 22. En ciertas realizaciones de la cero, $0,5 \leq (Mo+W/2) \leq 5,0$.

20 Otra realización del acero inoxidable austenítico de acuerdo con la presente divulgación incluye, en % en peso, hasta 0,10 C, 2,0-8,0 Mn, hasta 1,0 Si, 16,0-22,0 Cr, 1,0-5,0 Ni, 0,40-2,0 Mo, hasta 1,0 Cu, 0,12-0,30 N, 0,050-0,60 W, hasta 1,0 Co, hasta 0,04 P, hasta 0,03 S, hasta 0,008 B, hierro e impurezas, teniendo el acero un número de ferrita de menos de 10 y un valor MD₃₀ de menos de 20 °C. En ciertas realizaciones del acero, el valor MD₃₀ es menos de -10 °C. En ciertas realizaciones de la cero, $0,5 \leq (Mo+W/2) \leq 5,0$.

25 Aún otra realización del acero inoxidable austenítico de acuerdo con la presente divulgación incluye, en % en peso, hasta 0,08 C, 3,0-6,0 Mn, hasta 1,0 Si, 17,0-21,0 Cr, 3,0-5,0 Ni, 0,50-2,0 Mo, hasta 1,0 Cu, 0,14-0,30 N, hasta 1,0 Co, 0,05-0,60 W, hasta 0,05 P, hasta 0,03 S, hierro e impurezas, teniendo el acero un número de ferrita de menos de 10 y un valor MD₃₀ de menos de 20 °C. En ciertas realizaciones del acero, el valor MD₃₀ es menos de -10 °C. En ciertas realizaciones de la cero, $0,5 \leq (Mo+W/2) \leq 5,0$.

30 Una realización adicional del acero inoxidable austenítico de acuerdo con la presente divulgación consiste en, en % en peso, hasta 0,20 C, 2,0-9,0 Mn, hasta 2,0 Si, 16,0-Cr, 1,0-5,0 Ni, 0,4 a 2,0 Mo, hasta 1,0 Cu, 0,1-0,35 N, hasta 4,0 W, hasta 0,01 B, hasta 1,0 Co, hierro en equilibrio e impurezas, teniendo el acero un número de ferrita de menos de 10 y un valor MD₃₀ de menos de 20 °C.

35 En una realización, un método para producir acero inoxidable austenítico incluye fundir en un horno de arco eléctrico, refinar en un AOD, moldear en estado fundido en lingotes o moldear en estado fundido continuamente planchas, recalentar los lingotes o las planchas y laminado en caliente para producir placas o bobinas, laminado en frío hasta un espesor especificado y templar y decapar el material. Otros métodos de acuerdo con la invención pueden incluir por ejemplo, fundir y/o re-fundir en una atmósfera de vacío o en una especial, moldear en estado fundido en formas, o la producción de un polvo que se consolida en planchas o formas y similares.

40 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. Los ejemplos adicionales no limitantes de artículos de fabricación que pueden fabricarse a partir de o incluyen las presentes aleaciones son artículos resistentes a la corrosión, paneles de arquitectura resistentes a la corrosión, conectores flexibles, fuelles, tubos, tuberías, revestimientos de chimeneas, revestimientos de combustión, piezas de intercambiador de calor de marco de placa, piezas de condensador, piezas para equipo de procesamiento farmacéutico, piezas usadas en aplicaciones sanitarias y piezas para la producción de etanol o equipo de procesamiento.

Breve descripción de las figuras

55 La Figura 1 es un gráfico que muestra los resultados de ruptura al estrés para una realización de una aleación de acuerdo con la presente divulgación y para la Aleación Comparativa S31600.

Descripción detallada de la invención

60 En la presente descripción y en las reivindicaciones, aparte de en los ejemplos de funcionamiento o donde se indique de otra manera, todos los números que expresan cantidades o características de ingredientes y productos, condiciones de procesamiento y similares han de entenderse que se modifican en todos los casos por el término "aproximadamente". En consecuencia, salvo que se indique lo contrario, cualquier parámetro numérico expuesto en la siguiente descripción y las reivindicaciones adjuntas son aproximaciones que pueden variar dependiendo de las propiedades deseadas que uno busca obtener en el producto y los métodos de acuerdo con la presente divulgación.

Por lo menos, y no como un intento de limitar la aplicación de la doctrina de equivalentes al alcance de las reivindicaciones, cada parámetro numérico debe construirse al menos a la luz del número de dígitos significativos informados y aplicando técnicas de redondeo habituales. Los aceros inoxidable austeníticos de la presente invención se describirán ahora en detalle. En la siguiente descripción, “%” representa “% en peso” salvo que se especifique de otra manera.

La invención se dirige a un acero inoxidable austenítico. En particular, la invención se dirige a una composición de acero inoxidable austenítico que tiene al menos propiedades de resistencia a la corrosión y formabilidad comparables a aquellas de S31600. Una realización de un acero inoxidable austenítico de acuerdo con la presente invención incluye, en % en peso, hasta 0,20 C, 2,0-9,0 Mn, hasta 2,0 Si, 16,0-23,0 Cr, 1,0-5,0 Ni, 0,4 a 2,0 Mo, hasta 1,0 Cu, 0,1-0,35 N, hasta 4,0 W, hasta 0,01 B, hasta 1,0 Co, hierro e impurezas, teniendo el acero un número de ferrita de menos de 10 y un valor MD₃₀ de menos de 20 °C. En ciertas realizaciones del acero, el valor MD₃₀ es menos de -10 °C. En ciertas realizaciones del acero, el acero tiene un valor PRE_W mayor de aproximadamente 22. En ciertas realizaciones de la acero, $0,5 \leq (Mo+W/2) \leq 5,0$.

Otra realización del acero inoxidable austenítico de acuerdo con la presente divulgación incluye, en % en peso hasta 0,10 C, 2,0-8,0 Mn, hasta 1,0 Si, 16,0-22,0 Cr, 1,0-Ni, 0,40-2,0 Mo, hasta 1,0 Cu, 0,12-0,30 N, 0,05-0,60 W, hasta 1,0 Co, hasta 0,04 P, hasta 0,03 S, hasta 0,008 B, hierro e impurezas, teniendo el acero un número de ferrita de menos de 10 y un valor MD₃₀ de menos de 20 °C. En ciertas realizaciones del acero, el valor MD₃₀ es menos de -10 °C. En ciertas realizaciones del acero, el acero tiene un valor PRE_W mayor de aproximadamente 22. En ciertas realizaciones de la acero, $0,5 \leq (Mo+W/2) \leq 5,0$.

Aún otra realización del acero inoxidable austenítico de acuerdo con la presente divulgación incluye, en % en peso, hasta 0,08 C, 3,0-6,0 Mn, hasta 1,0 Si, 17,0-21,0 Cr, 3,0-Ni, 0,50-2,0 Mo, hasta 1,0 Cu, 0,14-0,30 N, hasta 1,0 Co, 0,05-0,60 W, hasta 0,05 P, hasta 0,03 S, hierro e impurezas, teniendo el acero un número de ferrita de menos de 10 y un valor MD₃₀ de menos de 20 °C. En ciertas realizaciones del acero, el valor MD₃₀ es menos de -10 °C. En ciertas realizaciones del acero, el acero tiene un valor PRE_W mayor de aproximadamente 22. En ciertas realizaciones de la acero, $0,5 \leq (Mo+W/2) \leq 5,0$.

Una realización adicional del acero inoxidable austenítico de acuerdo con la presente divulgación consiste en, en % en peso, hasta 0,20 C, 2,0-9,0 Mn, hasta 2,0 Si, 16,0-23,0 Cr, 3,0-Ni, 0,4 a 2,0 Mo, hasta 1,0 Cu, 0,1-0,35 N, hasta 4,0 W, hasta 0,01 B, hasta 1,0 Co, hierro en equilibrio e impurezas, teniendo el acero un número de ferrita de menos de 10 y un valor MD₃₀ de menos de 20 °C. En ciertas realizaciones del acero, el valor MD₃₀ es menos de -10 °C. En ciertas realizaciones del acero, el acero tiene un valor PRE_W mayor de aproximadamente 22. En ciertas realizaciones de la acero, $0,5 \leq (Mo+W/2) \leq 5,0$.

Una realización adicional del acero inoxidable austenítico de acuerdo con la presente divulgación consiste en, en % en peso, hasta 0,20 C, 2,0-9,0 Mn, hasta 2,0 Si, 16,0-23,0 Cr, 1,0-5,0 Ni, 0,4 a 2,0 Mo, hasta 1,0 Cu, 0,1-0,35 N, hasta 4,0 W, hasta 0,01 B, hasta 1,0 Co, hierro en equilibrio e impurezas, teniendo el acero un número de ferrita de menos de 10 y un valor MD₃₀ de menos de 20 °C.

C: Hasta el 0,20 %

El C actúa para estabilizar la fase austenita e inhibe la transformación martensítica inducida por deformación. Sin embargo el C también aumenta la probabilidad de formar carburos de cromo, especialmente durante la soldadura, que reduce la resistencia a la corrosión y la dureza. En consecuencia, el acero inoxidable austenítico de la presente invención tiene hasta un 0,20 % de C. En una realización de la invención, el contenido de C puede ser el 0,10 % o menos o, alternativamente, puede ser el 0,08 % o menos.

Si: Hasta el 2,0 %

Tener más del 2 % de Si promueve la formación de fases resbaladizas, tales como sigma, y reduce la solubilidad del nitrógeno en la aleación. El Si también estabiliza la fase ferrítica, de tal manera que más del 2 % de Si requiere la adición de estabilizantes de austenita adicionales para mantener la fase austenítica. En consecuencia, el acero inoxidable austenítico de la presente invención tiene hasta un 2,0 % de Si. En una realización de acuerdo con la presente divulgación, el contenido de Si puede ser un 1,0 % o menos. En otra realización de la invención, el contenido de Si puede ser el 0,50 %.

Mn: 2,0-9,0 %

El Mn estabiliza la fase austenítica y generalmente aumenta la solubilidad del nitrógeno, un elemento de aleado beneficioso. Para producir suficientemente estos efectos, se requiere un contenido de Mn de no menos del 2,0 %. Tanto el manganeso como el nitrógeno son sustitutos eficaces para el elemento más caro, el níquel. Sin embargo, tener más del 9,0 % de Mn degrada la trabajabilidad del material y su resistencia a la corrosión en ciertos ambientes. También, debido a la dificultad de descarburar aceros inoxidables con altos niveles de Mn, tales como más del 9,0 %, tener demasiado Mn aumenta significativamente los costes de procesamiento de fabricación del material. En

consecuencia, el acero inoxidable austenítico de la presente invención tiene un 2,0-9,0 % de Mn. En una realización, el contenido de Mn puede ser el 2,0-8,0 %, o alternativamente puede ser el 3,0-6,0 %.

Ni: 1,0-5,0 %

Se requiere al menos un 1 % de Ni para estabilizar la fase austenítica con respecto a la formación de ferrita y martensita. El Ni también actúa potenciando la dureza y la formabilidad. Sin embargo, debido al coste altamente alto del níquel, es deseable mantener el contenido de níquel tan bajo como sea posible. Los inventores han descubierto que puede usarse un intervalo del 1,0-5,0 % de Ni además de los otros intervalos de elementos definidos para lograr una aleación que tenga resistencia a la corrosión y formabilidad tan buenas como o mejores que aquellas de aleaciones de níquel más altas. En consecuencia, el acero inoxidable austenítico de la presente invención tiene un 1,0-5,0 % de Ni. En una realización, el contenido de Ni puede ser el 3,0-5,0 %. En otra realización, el contenido de Ni puede ser el 1,0-3,0 %.

Cr: 16,0-23,0 %

El Cr se añade para impartir resistencia a la corrosión a los aceros inoxidables y también actúa estabilizando la fase austenítica con respecto a la transformación martensítica. Se requiere al menos un 16 % de Cr para proporcionar resistencia a la corrosión adecuada. Por otro lado, debido a que el Cr es un poderoso estabilizante de la ferrita, un contenido de Cr que excede el 23 % requiere la adición de elementos de aleado más costosos, tales como níquel o cobalto, para mantener el contenido de ferrita aceptablemente bajo. Tener más del 23 % de Cr también produce la formación de fases indeseables, tales como sigma, con más probabilidad. En consecuencia, el acero inoxidable austenítico de la presente invención tiene un 16,0-23,0 % de Cr. En una realización, el contenido de Cr puede ser el 16,0-22,0 % o alternativamente puede ser el 17,0-21,0 %.

N: 0,1-0,35 %

El N se incluye en la aleación como un reemplazamiento parcial para el elemento estabilizante de la austenita Ni y el elemento potenciador de la corrosión Mo. Es necesario al menos un 0,10 % de N 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 exceder la solubilidad de N durante la fundición y el soldado, que da como resultado porosidad debido a las burbujas de gas nitrógeno. Incluso si no se excede la solubilidad límite, un contenido de N mayor del 0,35 % aumenta la propensión a la precipitación de partículas de nitruro, que degrada la resistencia a la corrosión y la dureza. En consecuencia, el acero inoxidable austenítico de la presente invención tiene un 0,1-0,35 % de N. En una realización, el contenido de N puede ser el 0,14-0,30 % o, alternativamente, puede ser el 0,12-0,30 %.

Mo: 0,4 al 2,0 %

Los presentes inventores buscaron limitar el contenido de Mo de la aleación manteniendo propiedades aceptables. El Mo es eficaz estabilizando la película de óxido pasiva que se forma en la superficie de los aceros inoxidables y protege contra la corrosión por picadura por la acción de los cloruros. Debido a su coste, el contenido de Mo puede ser el 0,5-2,0 %, que es adecuado para proporcionar la resistencia a la corrosión requerida en combinación con las cantidades apropiadas de cromo y nitrógeno. Un contenido de Mo que excede el 3,0 % provoca el deterioro de la trabajabilidad en caliente por aumento de la fracción de solidificación de ferrita (delta) a niveles potencialmente perjudiciales. Un alto contenido de Mo también aumenta la probabilidad de formar fases intermetálicas deletéreas, tales como la fase sigma. En consecuencia, en la composición de acero inoxidable austenítico de la presente invención el contenido de Mo puede ser aproximadamente el 0,40-2,0 %, o alternativamente puede ser el 0,50-2,0 %.

Co: Hasta el 1,0 %

El Co actúa como un sustituto para el níquel para estabilizar la fase austenita. La adición de cobalto también actúa aumentando la resistencia del material. El límite superior del cobalto es preferentemente el 1,0 %.

B: hasta el 0,01 %

Pueden añadirse adiciones tan bajas como el 0,0005% de B para mejorar la trabajabilidad en caliente y la calidad de la superficie de los aceros inoxidables. Sin embargo, adiciones de más del 0,01 % degradan la resistencia a la corrosión y la trabajabilidad de la aleación. En consecuencia, la composición de acero inoxidable austenítico de la presente invención tiene hasta un 0,01 % de B. En una realización, el contenido de B puede ser hasta el 0,008 %.

Cu: Hasta el 1,0 %

El Cu es un estabilizante de la austenita y puede usarse para reemplazar 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. La composición de acero inoxidable austenítico de la presente invención tiene hasta un 1,0

% de Cu.

W: Hasta el 4,0 %

5 El W proporciona un efecto similar a aquel del molibdeno mejorando la resistencia al picado por cloruro y la corrosión por grietas. El W también puede reducir la tendencia para la formación de fase sigma cuando se sustituye por molibdeno. Sin embargo, adiciones de más del 4 % pueden reducir la trabajabilidad en caliente de la aleación. En consecuencia, la composición de acero inoxidable austenítico de la presente invención tiene hasta un 4,0 % de W. En una realización, el contenido de W puede ser el 0,05-0,60 %.

10 $0,5 \leq (Mo+W/2) \leq 5,0$

15 El Mo y el W son ambos eficaces estabilizando la película de óxido pasiva que se forma en la superficie de los aceros inoxidables y protege contra la corrosión por picado por la acción de los cloruros. Ya que el W es aproximadamente la mitad de eficaz (en peso) que el Mo aumentando 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 menos del 5,0 %. En consecuencia, la composición de acero inoxidable austenítico de la presente invención tiene $0,5 \leq (Mo+W/2) \leq 5,0$.

20 $1,0 \leq (Ni+Co) \leq 6,0$

25 El níquel y el cobalto actúan ambos estabilizando la fase austenítica con respecto a la formación de ferrita. Se requiere al menos un 1,0 % de $(Ni+Co)$ para estabilizar la fase austenítica en presencia de elementos estabilizantes de ferrita tales como cromo y molibdeno, que deben añadirse para asegurar la resistencia a la corrosión apropiada. Sin embargo, tanto Ni como Co son elementos costosos, por lo que es deseable mantener el contenido de $(Ni+Co)$ en menos del 6,0 %. En consecuencia, la composición de acero inoxidable austenítico de la presente invención tiene $1,0 \leq (Ni+Co) \leq 6,0$.

30 El equilibrio del acero inoxidable austenítico de la presente invención incluye hierro e impurezas inevitables, tales como fósforo y azufre. Las impurezas inevitables se mantienen preferentemente al nivel práctico más bajo, como se entiende por un experto en la materia.

35 El acero inoxidable austenítico de la presente invención también puede definirse por ecuaciones que cuantifican las propiedades que exhiben, incluyendo, por ejemplo, número de equivalencia de resistencia al picado, número de ferrita y temperatura MD30.

40 El número de equivalencia de resistencia al picado (PRE_N) proporciona una clasificación relativa de la resistencia esperada de una aleación a la corrosión por picado en un ambiente que contiene cloruro. Cuanto más alto es el PRE_N , mejor es la resistencia a la corrosión esperada de la aleación. El PRE_N puede calcularse por la siguiente fórmula:

$$PRE_N = \% \text{ de Cr} + 3,3 (\% \text{ de Mo}) + 16 (\% \text{ de N})$$

45 Alternativamente, puede añadirse un factor de 1,65 (% de W) a la fórmula anterior para tener en cuenta la presencia de tungsteno en una aleación. El tungsteno mejora la resistencia al picado de los aceros inoxidables y es aproximadamente la mitad de eficaz que el molibdeno en peso. Cuando se añade tungsteno en el cálculo, el número de equivalencia de resistencia al picado se designa como PRE_W , que se calcula por la siguiente fórmula:

50 $PRE_W = \% \text{ de Cr} + 3,3 (\% \text{ de Mo}) + 1,65 (\% \text{ de W}) + 16 (\% \text{ de N})$

55 El tungsteno sirve como un fin similar al molibdeno en la aleación de la invención. Como tal, el tungsteno puede añadirse como un sustituto para el molibdeno para proporcionar resistencia al picado aumentada. De acuerdo con la ecuación, debe añadirse dos veces el peso del tungsteno para cada porcentaje de molibdeno retirado para mantener la misma resistencia al picado. Ciertas realizaciones de la aleación de la presente invención tienen valores PRE_W mayores de 22 y en ciertas realizaciones preferidas es tan alto como 30.

60 La aleación de la invención también puede definirse por su número de ferrita. Un número de ferrita positivo generalmente se correlaciona con la presencia de ferrita, que mejora las propiedades de solidificación de una aleación y ayuda a inhibir el agrietamiento por calor de la aleación durante las funciones de trabajo en caliente y soldadura. De esta manera se desea una pequeña cantidad de ferrita en la microestructura solidificada para buen moldeado en estado fundido y para la prevención de agrietamiento por calor durante la soldadura. Por otro lado, demasiada ferrita puede dar como resultado problemas durante el servicio, incluyendo pero no limitado a, inestabilidad de la microestructura, ductilidad limitada y propiedades mecánicas de alta temperatura deterioradas. El número de ferrita puede calcularse usando la siguiente ecuación:

65

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

La aleación de la presente invención tiene un número de ferrita de hasta 10, preferentemente un número positivo, más preferentemente de aproximadamente 3 a 5.

5 La temperatura MD₃₀ de una aleación se define como la temperatura a la que la deformación en frío del 30 % resultará en una transformación del 50 % de la austenita en martensita. Cuanto menor es la temperatura MD₃₀, más resistente es un material a la transformación en martensita. La resistencia a la formación de martensita da como resultado una tasa de endurecimiento de trabajo menor, que da como resultado buena formabilidad, especialmente en aplicaciones de extracción. MD₃₀ se calcula de acuerdo con la siguiente ecuación:

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

15 La aleación de la presente invención tiene una temperatura MD₃₀ de menos de 20 °C y en ciertas realizaciones preferidas es menos de aproximadamente -10 °C.

Ejemplos

20 La Tabla 1 incluye los valores de las composiciones reales y los parámetros calculados para las Aleaciones de la Invención 1-6, 8, 10, 11 y para las Aleaciones Comparativas CA1, S31600, S21600 y S20100. Las aleaciones 7 y 9 están fuera del alcance de la invención según se reivindica.

25 Las Aleaciones de la Invención 1-6, 8, 10, 11 la Aleación Comparativa CA1 se fundieron en un horno de vacío de tamaño de laboratorio y se vertieron en lingotes de 22,7 kg (50 lb). Estos lingotes se re-calentaron y se laminaron en caliente para producir material de grosor aproximadamente 0,635 cm (0,250"). Este material se templó, se chorreó y se decapó. Algo de ese material se laminó en frío a un espesor de 0,254 cm (0,100") y el restante se laminó en frío a un espesor de 0,13 cm o 0,1 cm (0,050 o 0,040"). El material laminado en frío se templó y se decapó. Las Aleaciones Comparativas S31600, S21600 y S20100 están disponibles en el mercado y los datos mostrados para estas aleaciones se tomaron de la bibliografía publicada o se midieron de ensayos de material recientemente producido para la venta comercial.

30 Los valores PRE_w calculados para cada aleación se muestran en la Tabla 1. Usando la ecuación analizada anteriormente en el presente documento, las aleaciones que tienen un PRE_w mayor de 24,1 se esperaría que tuvieran mejor resistencia al picado por cloruro que el material S31600, mientras que aquellos que tienen un PRE_w menor se picarían más fácilmente.

40 El número de ferrita para cada aleación en la Tabla 1 se ha calculado también. Los números de ferrita de las Aleaciones de la Invención son menos de 10, específicamente entre -3,3 y 8,3. Mientras que el número de ferrita de alguna de las Aleaciones de la Invención puede ser ligeramente menor que el deseado para la soldabilidad y el moldeado en estado fundido óptimos, todavía son más altas que aquellas de la Aleación Comparativa S21600, que es un material soldable.

45 Los valores MD₃₀ también se calcularon para las aleaciones en la Tabla 1. De acuerdo con los cálculos, todas las Aleaciones de la Invención exhiben resistencia mayor a la formación de martensita que la Aleación Comparativa S31600.

Tabla 1

	Aleaciones de la Invencción											Aleaciones Comparativas				
	1	2	3	4	5	6	8	10	11	CA1	S31600	S21600	S20100			
C	0,019	0,17	0,023	0,016	0,016	0,013	0,014	0,011	0,016	0,015	0,017	0,018	0,02			
Mn	4,7	4,9	5,7	4,0	4,8	4,9	5,1	5,1	4,9	4,8	1,24	8,3	6,7			
Si	0,28	0,26	0,28	0,27	0,25	0,27	0,24	0,28	0,29	0,26	0,45	0,40	0,40			
Cr	18,1	18,0	18,0	18,3	18,0	18,0	18,2	18,1	18,1	16,1	16,3	19,7	16,4			
Ni	4,5	4,6	4,1	4,9	4,5	4,2	1,0	4,5	3,7	3,5	10,1	6,0	4,1			
Mo	1,13	1,0	1,02	1,17	0,82	1,0	1,15	1,13	0,75	0,82	2,1	2,5	0,26			
Cu	0,40	0,39	0,37	0,42	0,42	0,99	0,40	0,40	0,40	0,42	0,38	0,40	0,43			
N	0,210	0,142	0,275	0,161	0,174	0,185	0,253	0,153	0,158	0,138	0,04	0,37	0,15			
P	0,002	0,017	0,018	0,012	0,013	0,018	0,014	0,014	0,014	0,013	0,03	0,03	0,03			
S	0,0001	0,0011	0,0023	0,0015	0,0017	0,0014	0,0015	0,0020	0,0019	0,0015	0,0010	0,0010	0,0010			
W	0,09	0,12	0,01	0,01	0,36	0,12	0,09	0,09	0,04	0,01	0,11	0,10	0,1			
B	0,0001	0,0025	0,0018	0,0022	0,0020	0,0021	0,0014	0,0022	0,0024	0,0022	0,0025	0,0025	0,0005			
Fe	70,4	70,5	70,1	70,7	70,6	70,2	73,5	69,4	71,7	73,8	68,8	62,2	71,4			
Co	0,10	0,10	0,04	0,09	0,10	0,10	0,10	0,89	0,10	0,10	0,35	0,10	0,10			
FN	2,8	6,7	-3,3	7,1	3,9	3,7	8,3	7,0	7,4	3,1	4,1	-6,2	-2,3			
PREw	25,5	23,9	25,8	24,7	24,6	24,6	26,3	24,5	23,2	21,1	24,0	33,9	19,7			
MD ₃₀	-52,4	-17,2	-84,1	-28,9	-27,4	-42,5	-40,1	-24,1	-12,2	24,6	7,8	-217,4	0,7			
RMCI	0,56	0,55	0,52	0,58	0,54	0,53	0,38	0,56	0,47	0,45	1,00	0,83	0,43			
Rendimiento	49,1	-	51,3	46,4	49,2	49,4	-	-	-	38,5	43,5	55	43			
Tracción	108,7	-	108,5	103,3	104,6	104,1	-	-	-	136,3	90,6	100	100			
% E	68	-	65	56	52	48	-	-	-	36	56	45	56			
OCH	0,45	-	0,41	0,42	0,40	0,39	-	-	-	0,31	0,45					
SSCVN	61,7	-	59,0	69,7	65,7	66,0	-	-	-	68,0	70					

La Tabla 1 también incluye un índice de coste de materia prima (RMCI), que compara los costes de los materiales para cada aleación con aquellos de la Aleación Comparativa S31600. El RMCI se calculó multiplicando el coste promedio 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 la Aleación Comparativa S31600. Como muestran los valores calculados, todas las Aleaciones de la Invención tienen un RMCI de menos de 0,6, que significa que el coste de las materias primas contenidas en las mismas es menos del 60 % de aquellas en la Aleación Comparativa S31600. Que pueda fabricarse un material que tenga propiedades similares a la Aleación Comparativa S31600 a un coste de materia prima significativamente menor es sorprendente y no se anticipó de la técnica anterior.

Las propiedades mecánicas de las Aleaciones de la Invención 1 y 3-6 se midieron y se compararon con aquellas de una Aleación Comparativa, CA1, y las Aleaciones Comparativas S31600, S21600 y S20100 disponibles en el mercado. La resistencia de rendimiento medida, la resistencia a tracción, el porcentaje de alargamiento por encima de una longitud de calibre de 5,08 cm (2 pulgadas), una altura de copa Olsen y una energía de impacto V notch de Charpy de tamaño 1/2 se muestran en la Tabla 1 para las Aleaciones de la Invención 1 y 3-6. Los ensayos de tracción se llevaron a cabo en un material de calibre 0,254 cm (0,100"), los ensayos de Charpy se llevaron a cabo en muestras de espesor de 0,5 cm (0,197") y los ensayos de la copa Olsen se llevaron a cabo en un material de espesor entre 0,1 y 0,13 cm (0,040 y 0,050 pulgadas). Todos los ensayos se realizaron a temperatura ambiente. Las unidades para los datos en la Tabla 1 son como sigue: rendimiento de resistencia y resistencia a la tracción, ksi; alargamiento, porcentaje; altura de copa Olsen, pulgadas; energía de impacto de Charpy, ft-lb. Como puede verse a partir de los datos, las Aleaciones de la Invención exhibieron propiedades comparables a aquellas de la Aleación Comparativa S31600.

Incluso aunque la composición de la Aleación Comparativa CA1 cae dentro de los intervalos de las Aleaciones de la Invención, el equilibrio de los elementos es tal que la MD₃₀ y PRE_w están fuera de los intervalos reivindicados. Los resultados de los ensayos mecánicos muestran que CA1, no es tan formable como S31600 y su menor PRE_w significa que su resistencia a la corrosión por picado no será tan buena como aquella de S31600.

Se realizaron ensayos de tracción de temperatura elevada en la Aleación de la Invención 1 a 21,1, 315,6, 537,8 y 760 °C (70, 600, 1000 y 1400 °F). Los resultados se muestran en la Tabla 2. Los datos ilustran que el rendimiento de la Aleación de la Invención 1 es comparable a aquel de la Aleación Comparativa S31600 a temperaturas elevadas.

Tabla 2

	Temperatura (°F)	Rendimiento de resistencia (ksi)	Resistencia a la tracción (ksi)	Porcentaje de alargamiento
Aleación de la Invención 1	70	49,1	108,7	68,0 %
	600	25,1	74,0	40,3 %
	1000	21,6	63,9	36,3 %
	1400	20,0	35,3	75,0 %
S31600	70	43,9	88,2	56,8 %
	600	28,1	67,5	33,8 %
	1000	29,5	63,4	36,8 %
	1400	22,1	42,0	25,0 %

La Tabla 3 ilustra los resultados de dos ensayos de ruptura al estrés realizados en la Aleación de la Invención 1 a 704,4 °C (1300 °F) bajo un estrés de 151,7 MPa (22 ksi). La Figura 1 demuestra que los resultados de ruptura al estrés para la Aleación de la Invención 1 son comparables a aquellas propiedades obtenidas para la Aleación Comparativa S31600 (LMP es el Parámetro de Larsen-Miller, que combina tiempo y temperatura en una única variable).

Tabla 3

T (°F)	Estrés (ksi)	Tiempo (h)	LMP	Alargamiento
1300	22,0	233,6	39369	72 %
1300	22,0	254,7	39435	79 %

Los usos potenciales de estas nuevas aleaciones son numerosos. Como se describe y se evidencia anteriormente, las composiciones de acero inoxidable austeníticas descritas anteriormente son capaces de reemplazar a S31600 en muchas aplicaciones. Adicionalmente, debido al alto coste de Ni y Mo, se reconocerán ahorros de coste significativos intercambiando de S31600 a las composiciones de aleación de la invención. Otro beneficio es, debido a que estas aleaciones son completamente austeníticas, que no serán susceptibles a una transición de dúctil a frágil

(DBT) aguda a temperatura sub-cero o bien una fragilización a 473,9 °C (885 °F). Por lo tanto, a diferencia de las aleaciones en dúplex, pueden usarse a temperaturas por encima de 343,3 °C (650 °F) y son materias primas candidatas para aplicaciones de baja temperatura y criogénicas. Se espera que la resistencia a la corrosión, la formabilidad y la capacidad de procesamiento de las aleaciones descritas en el presente documento serán muy cercanas a aquellas de los aceros inoxidable austeníticos convencionales. Los ejemplos no limitantes de artículos de fabricación que pueden fabricarse a partir de o incluyen las presentes aleaciones son artículos resistentes a la corrosión, paneles de arquitectura resistentes a la corrosión, conectores flexibles, fuelles, tubos, tuberías, revestimientos de chimeneas, revestimientos de combustión, piezas de intercambiador de calor de marco de placa, piezas de condensador, piezas para equipo de procesamiento farmacéutico, piezas usadas en aplicaciones sanitarias y piezas para la producción de etanol o equipo de procesamiento.

Aunque la descripción anterior ha presentado necesariamente solo un número limitado de realizaciones, aquellos expertos en la materia relevante apreciarán que pueden realizarse diversos cambios en los aparatos y los métodos y otros detalles de los ejemplos que se han descrito e ilustrado en el presente documento por aquellos expertos en la materia y que dichas modificaciones se mantendrán dentro del principio y el alcance de la presente divulgación como se expresa en el presente documento y en las reivindicaciones adjuntas. Se entiende, por lo tanto, que la presente invención no se limita a las realizaciones particulares desveladas o incorporadas en el presente documento, pero se pretende que abarque modificaciones que estén dentro del principio y el alcance de la invención, como se define por las reivindicaciones. También se apreciará por aquellos expertos en la materia que podrían realizarse cambios a las realizaciones anteriores sin salir del amplio concepto de la invención de las mismas.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un acero inoxidable austenítico que consiste en, en % en peso, hasta 0,20 C, 2,0-9,0 Mn, hasta 2,0 Si, 16,0-23,0 Cr, 1,0-5,0 Ni, 0,4-2,0 Mo, hasta 1,0 Cu, 0,1-0,35 N, hasta 4,0 W, hasta 0,01 B, hasta 1,0 Co, hierro en equilibrio e impurezas, teniendo el acero un número de ferrita de menos de 10 y un valor MD₃₀ de menos de 20 °C y en el que
- $$0,5 \leq (Mo+W/2) \leq 5,0.$$
- 10 2. El acero inoxidable austenítico de la reivindicación 1, que tiene un valor de PRE_W mayor de 22 y hasta 30.
3. El acero inoxidable austenítico de la reivindicación 1, que tiene un número de ferrita mayor de 0 hasta 10.
4. El acero inoxidable austenítico de la reivindicación 1, que tiene un número de ferrita de 3 hasta 5.
- 15 5. El acero inoxidable austenítico de la reivindicación 1, que comprende 3,0-5,0 Ni.
6. El acero inoxidable austenítico de la reivindicación 1, que comprende 1,0-3,0 Ni.
- 20 7. El acero inoxidable austenítico de la reivindicación 1, que comprende hasta 0,08 C.
8. El acero inoxidable austenítico de la reivindicación 1, que comprende hasta 0,5 Si.
9. El acero inoxidable austenítico de la reivindicación 1, que comprende 2,0-8,0 Mn.
- 25 10. El acero inoxidable austenítico de la reivindicación 1, que comprende 3,0-6,0 Mn.
11. El acero inoxidable austenítico de la reivindicación 1, que comprende 16,0-22,0 Cr.
- 30 12. El acero inoxidable austenítico de la reivindicación 1, que comprende 0,14-0,30 N.
13. El acero inoxidable austenítico de la reivindicación 1, que comprende 0,5-2,0 Mo.
14. El acero inoxidable austenítico de la reivindicación 1, que comprende hasta 0,008 B.
- 35 15. El acero inoxidable austenítico de la reivindicación 1, que comprende hasta 0,05-0,60 W.
16. El acero inoxidable austenítico de la reivindicación 1, que tiene un valor MD₃₀ menor de -10 °C.
- 40 17. El acero inoxidable austenítico de acuerdo con la reivindicación 1, que consiste en, en % en peso, hasta 0,10 C, 2,0-8,0 Mn, hasta 1,0 Si, 16,0-22,0 Cr, 1,0-5,0 Ni, 0,40-2,0 Mo, hasta 1,0 Cu, 0,12-0,30 N, 0,050-0,60 W, hasta 1,0 Co, hasta 0,04 P, hasta 0,03 S, hasta 0,008 B, hierro en equilibrio e impurezas, teniendo el acero un número de ferrita de menos de 10 y un valor MD₃₀ de menos de 20 °C.
- 45 18. El acero inoxidable austenítico de acuerdo con la reivindicación 1, que consiste en, en % en peso, hasta 0,08 C, 3,0-6,0 Mn, hasta 1,0 Si, 17,0-21,0 Cr, 3,0-5,0 Ni, 0,50-2,0 Mo, hasta 1,0 Cu, 0,14-0,30 N, hasta 0,01 B, hasta 1,0 Co, 0,05-0,60 W, hasta 0,05 P, hasta 0,03 S, hierro en equilibrio e impurezas, teniendo el acero un número de ferrita de menos de 10 y un valor MD₃₀ de menos de 20 °C.
- 50 19. El acero inoxidable austenítico de las reivindicaciones 17 o 18, que tiene un valor MD₃₀ menor de -10 °C.
20. El acero inoxidable austenítico de la reivindicación 1 o la reivindicación 19, que tiene un valor de PRE_W mayor de aproximadamente 22.
- 55 21. Un artículo de fabricación que comprende un acero inoxidable austenítico de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores.
22. El artículo de fabricación de la reivindicación 21, en donde el artículo está adaptado para su uso en al menos uno de los ambientes de baja temperatura y criogénico.
- 60 23. El artículo de fabricación de la reivindicación 21, en donde el artículo se selecciona del grupo que consiste en un artículo resistente a la corrosión, un panel de arquitectura resistente a la corrosión, un conector flexible, un fuelle, un tubo, una tubería, un revestimiento de chimeneas, un revestimiento de combustión, una pieza de intercambiador de calor de marco de placa, una pieza de condensador, una pieza para equipo de procesamiento farmacéutico, una pieza sanitaria y una pieza para la producción de etanol o equipo de procesamiento.
- 65

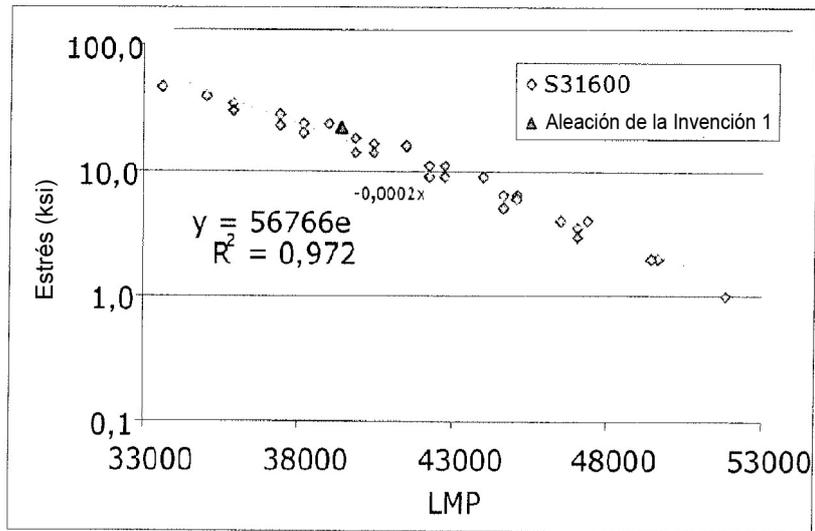


FIGURA 1