

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 376 276**

51 Int. Cl.:  
**B23K 35/02** (2006.01)  
**B23K 35/30** (2006.01)  
**C22C 33/02** (2006.01)  
**C22C 38/20** (2006.01)  
**C22C 38/34** (2006.01)  
**C22C 38/38** (2006.01)  
**C22C 38/42** (2006.01)  
**C22C 38/58** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **09723003 .1**  
 96 Fecha de presentación: **16.03.2009**  
 97 Número de publicación de la solicitud: **2271460**  
 97 Fecha de publicación de la solicitud: **12.01.2011**

54 Título: **METAL DE APORTACIÓN PARA SOLDADURA FUERTE A BASE DE HIERRO-CROMO.**

30 Prioridad:  
**19.03.2008 DK 200800424**  
**28.03.2008 US 64836 P**

73 Titular/es:  
**Höganäs Ab (publ)**  
**Bruksgatan 35**  
**263 83 Höganäs, SE**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**12.03.2012**

72 Inventor/es:  
**MÅRS, Owe y**  
**PERSSON, Ulrika**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**12.03.2012**

74 Agente/Representante:  
**No consta**

ES 2 376 276 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

Metal de aportación para soldadura fuerte a base de hierro-cromo

Sumario de la invención

5 Esta invención se refiere a un metal de aportación para soldadura fuerte con un excelente comportamiento de humectación en material a base de acero inoxidable. El metal de aportación para soldadura fuerte produce una unión por soldadura fuerte con alta solidez y una buena resistencia a la corrosión.

10 El metal de aportación para soldadura fuerte puede proporcionarse en forma de polvo y la formación para dar el polvo del metal de aportación para soldadura fuerte puede llevarse a cabo usando métodos conocidos en la técnica. Por ejemplo, pueden prepararse polvos que tienen la composición definida en las reivindicaciones fundiendo una aleación homogénea y convirtiéndola en un polvo mediante un proceso de atomización. El tamaño medio de partícula del polvo puede oscilar entre 10 - 150 µm, normalmente entre 10 - 100 µm.

15 El polvo de metal de aportación para soldadura fuerte según la invención es una aleación que contiene entre el 11% en peso y el 35% en peso de cromo, entre el 2% en peso y el 20% en peso de cobre, entre el 0% en peso y el 30% en peso de níquel y entre el 2% en peso y el 6% en peso de silicio, entre el 4% en peso y el 8% en peso de fósforo y al menos el 20% en peso de hierro. El metal de aportación para soldadura fuerte también puede contener manganeso hasta el 10% en peso. El metal de aportación para soldadura fuerte es adecuado para la producción de convertidores catalíticos e intercambiadores de calor.

Campo de la invención

20 Esta invención se refiere a un metal de aportación para soldadura fuerte a base de hierro-cromo adecuado para la soldadura fuerte de acero inoxidable y otros materiales en los que se requiere resistencia a la corrosión y alta solidez. Ejemplos típicos de aplicaciones son intercambiadores de calor y convertidores catalíticos.

Antecedentes de la invención

25 La soldadura fuerte es un proceso para unir piezas metálicas con la ayuda de metal de aportación para soldadura fuerte y calentamiento. La temperatura de fusión del metal de aportación para soldadura fuerte debe ser inferior a la temperatura de fusión del material de base pero superior a 450°C. Si el metal de aportación para soldadura fuerte tiene una temperatura de soldadura fuerte inferior a 450°C el proceso de unión se denomina soldadura. Los metales de aportación para soldadura fuerte usados más comúnmente para la soldadura fuerte de aceros inoxidables son a base de cobre o níquel. Se prefieren los metales de aportación para soldadura fuerte a base de cobre cuando se consideran las ventajas de coste, mientras que se necesitan los metales de aportación para soldadura fuerte a base de níquel en aplicaciones de alta corrosión y alta solidez. Los metales de aportación para soldadura fuerte a base de níquel con alto contenido en cromo se usan por su alta resistencia a la corrosión en aplicaciones expuestas a entornos corrosivos. Los metales de aportación para soldadura fuerte a base de níquel también pueden usarse en aplicaciones de alta temperatura de servicio y/o cuando se requiere alta solidez en la aplicación. Una aplicación típica expuesta tanto a un entorno corrosivo como a una alta temperatura de servicio es el refrigerador de recirculación de gases de escape (EGR) en motores diésel de automoción. Los metales de aportación para soldadura fuerte para estas aplicaciones deben tener determinadas propiedades para ser adecuados para su uso tal como; resistencia a la corrosión, resistencia a la oxidación a alta temperatura, buena humectación del material de base, sin provocar la fragilización del material de base durante la soldadura fuerte.

Técnica relacionada

40 Hay varios tipos diferentes de metales de aportación para soldadura fuerte a base de níquel enumerados en la norma de la American Welding Society (ANSI/AWS A 5.8). Muchos de estos metales de aportación para soldadura fuerte a base de níquel se usan para la soldadura fuerte de intercambiadores de calor. BNi-2 con la composición Ni-7Cr-3B-4,5Si-3Fe se usa para producir uniones de alta solidez en aplicaciones a alta temperatura. Sin embargo, la presencia de boro es una desventaja puesto que puede provocar la fragilización del material de base cuando el boro difunde al interior del material de base. Otro metal de aportación para soldadura fuerte a base de níquel que contiene boro tiene la misma desventaja.

50 Para superar la desventaja del boro, se desarrollaron otros metales de aportación para soldadura fuerte a base de níquel. BNi-5 (Ni-19Cr-10Si) tiene una alta resistencia a la corrosión debido al alto contenido en cromo. La temperatura de soldadura fuerte para esta aleación es bastante alta (1150-1200°C). Otros metales de aportación para soldadura fuerte a base de níquel libres de boro son BNi-6 (Ni-10P) y BNi7 (Ni-14Cr-10P). La temperatura de soldadura fuerte para estos metales de aportación para soldadura fuerte es inferior debido al alto contenido en fósforo; el 10% en peso. El alto contenido en fósforo (10% en peso) puede formar una unión por soldadura fuerte sin la solidez requerida debido al riesgo de que se forme fósforo que contiene fases frágiles.

55 Otro metal de aportación para soldadura fuerte a base de níquel se describe en las patentes US6696017 y US6203754. Este metal de aportación para soldadura fuerte tiene la composición Ni-29Cr-6P-4Si y combina una alta solidez y una

alta resistencia a la corrosión con una temperatura de soldadura fuerte bastante baja (1050-1100°C). Este metal de aportación para soldadura fuerte se desarrolló especialmente para la nueva generación de refrigeradores de EGR usados en un entorno altamente corrosivo.

5 La desventaja con todos los metales de aportación para soldadura fuerte a base de níquel es el alto contenido en níquel caro. El contenido en níquel es de al menos el 60%, pero normalmente superior. El alto contenido en níquel en estos metales de aportación para soldadura fuerte hace que los metales de aportación para soldadura fuerte y la producción de intercambiadores de calor y convertidores catalíticos sean costosos.

10 Para superar la desventaja con los costosos metales de aportación para soldadura fuerte a base de níquel se ha estudiado la posibilidad de usar metales de aportación para soldadura fuerte a base de hierro. Hay dos metales de aportación para soldadura fuerte a base de hierro en el mercado. AlfaNova, descrito en la solicitud PCT WO02098600, tiene una composición próxima al acero inoxidable con adición de silicio, fósforo y boro para reducir el punto de fusión del metal de aportación para soldadura fuerte. La temperatura de soldadura fuerte para esta aleación es de 1190°C.

15 Otro metal de aportación para soldadura fuerte a base de hierro, AMDRY805, descrito en la solicitud estadounidense US20080006676 A1, tiene la composición Fe-29Cr-18Ni-7Si-6P. Esta aleación está libre de boro para superar la desventaja asociada con el boro. La temperatura de soldadura fuerte para esta aleación es de 1176°C.

La mayor temperatura práctica compatible con un crecimiento de grano limitado es de 1095°C, según el manual de especialidad de la ASM Stainless Steel, 1994, página 291. Por tanto se prefiere una temperatura de soldadura fuerte baja para evitar los problemas asociados con el crecimiento de grano, tal como ductilidad y dureza empeoradas, en el material de base.

20 Descripción detallada de la invención

Esta invención se refiere a un metal de aportación para soldadura fuerte a base de hierro-cromo con una excelente humectación en acero inoxidable. El metal de aportación para soldadura fuerte produce uniones de soldadura fuerte de alta solidez con una buena resistencia a la corrosión y tiene un coste significativamente menor en comparación con los metales de aportación para soldadura fuerte a base de níquel. Este metal de aportación para soldadura fuerte es adecuado para la soldadura fuerte de diferentes tipos de intercambiadores de calor y convertidores catalíticos a un coste significativamente menor que los metales de aportación para soldadura fuerte a base de níquel convencionales.

25 El uso típico para este metal de aportación para soldadura fuerte son aplicaciones a alta temperatura que funcionan en entornos corrosivos. Estas aplicaciones pueden ser diferentes tipos de intercambiadores de calor (de placas o tubulares) que se usan en aplicaciones de automoción, por ejemplo recirculación de gases de escape. Los convertidores catalíticos de diferentes tipos también son posibles aplicaciones.

La composición del metal de aportación para soldadura fuerte según esta invención es

cobre aproximadamente el 2-20% en peso, preferiblemente el 5-15% en peso

cromo aproximadamente el 11-35% en peso, preferiblemente el 20-30% en peso

níquel aproximadamente el 0-30% en peso, preferiblemente el 10-20% en peso

35 silicio aproximadamente el 2-6% en peso

fósforo aproximadamente el 4-8% en peso

hierro a un contenido de al menos el 20% en peso.

Pueden estar presentes otros componentes distintos de los enumerados. La cantidad total de componentes se ajusta para que sumen el 100% en peso.

40 El metal de aportación para soldadura fuerte puede contener opcionalmente manganeso hasta el 10% en peso, preferiblemente menos del 7% en peso.

45 Se reconoce que puede ser ventajoso que la composición de los componentes principales del material de aportación para soldadura fuerte sea similar a la composición del material a base de acero inoxidable. Ejemplos de calidades de acero inoxidable son 316L, que tiene una composición típica de Fe-17Cr-13,5Ni-2,2Mo, y 304L, que tiene una composición típica de Fe-18,8Cr-11,2Ni. Todo acero inoxidable contiene por definición un mínimo del 11% de cromo y pocos aceros inoxidables contienen más del 30% de cromo. Se requiere un contenido en cromo superior al 11% para la formación de la capa protectora de óxido de cromo que proporciona al acero sus características de resistencia a la corrosión. A mayor contenido en cromo, mejor resistencia a la corrosión, pero un contenido superior al 35% puede provocar la disminución en la solidez de la unión. Por tanto, el contenido en cromo debe estar entre el 11 y el 35% en peso, preferiblemente el 20-30% en peso.

Para reducir el punto de fusión de la aleación, se añaden reductores del punto de fusión. Es bien sabido que el silicio, boro y fósforo son reductores del punto de fusión eficaces. Estudiando el diagrama de gases para Fe-P se encuentra que el sistema tiene un punto de fusión mínimo de 1100°C a aproximadamente el 10% en peso de fósforo. El sistema Fe-Si tiene un punto de fusión de 1380°C al 10% en peso de Si y un punto de fusión mínimo de aproximadamente 1210°C a aproximadamente el 19% en peso de Si. Un contenido en fósforo y silicio superior al 10% en peso cada uno no es deseable puesto que el riesgo de formación de una fase frágil es demasiado alto. Por tanto se prefiere mantener el contenido en fósforo entre el 4 y el 8% en peso y el silicio entre el 2 y el 6% en peso.

El sistema Fe-B tiene un punto de fusión mínimo de 1174°C a aproximadamente el 4% en peso de boro. Sin embargo el boro tiene la desventaja de que provoca la fragilización del componente sometido a soldadura fuerte. El boro es intersticial y debido a su pequeño diámetro puede difundir rápidamente al interior de la estructura reticular del material de base y formar la fase CrB frágil. Debido a la difusión del boro, se eleva la temperatura de refusión de la aleación, lo que en algunos casos es un efecto deseable. El documento US4444587 describe cómo el manganeso puede ser un buen sustituto para el boro, ya que el manganeso también reduce el punto de fusión. Un 10-30% en peso de manganeso junto con silicio y carbono reducirá en el sistema a base de hierro la temperatura de fusión en más de 200°C. En segundo lugar, el manganeso se vaporizará casi completamente durante el ciclo de soldadura fuerte, lo que permitirá elevar la temperatura de refusión pero sin el riesgo de formar ninguna fase frágil como CrB.

El níquel estabiliza la austenita, lo que potencia la resistencia a la oxidación de la aleación. El níquel también aumenta la tenacidad de la unión por soldadura fuerte. Mirando el diagrama de fases ternario para Cr-Fe-Ni puede observarse que el níquel también tiene un efecto reductor del punto de fusión. Con el 30% en peso de Cr y el 20% en peso de Ni el punto de fusión del sistema Cr-Fe-Ni es de aproximadamente 1470°C según el manual de especialidad de la ASM Stainless Steel. El contenido en níquel del metal de aportación para soldadura fuerte relacionado con esta invención debe mantenerse por debajo del 30% en peso para minimizar el coste del metal de aportación para soldadura fuerte.

Sorprendentemente se ha encontrado que el cobre reduce la difusión de silicio y fósforo al interior del material de base durante la operación de soldadura fuerte. También se impide la precipitación de fósforo. También se encontró inesperadamente que la presencia de cobre tiene un efecto positivo sobre la resistencia a la corrosión, dando como resultado una menor pérdida de peso cuando se sumerge HCl al 10% o H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 10%. Se cree que es necesario un 2% en peso de cobre para obtener el efecto positivo del cobre. El contenido en cobre del metal de aportación para soldadura fuerte cubierto por esta invención debe mantenerse por debajo del 20% en peso con el fin de no diferir demasiado en la química del material de base que va a someterse a soldadura fuerte. Por tanto, el contenido en cobre debe ser de entre el 2 y el 20% en peso, preferiblemente el 5-15% en peso.

El metal de aportación para soldadura fuerte según esta invención está en forma de polvo y puede producirse mediante atomización o bien con gas o bien con agua. El metal de aportación para soldadura fuerte puede usarse en forma de polvo o convertirse en una pasta, cinta adhesiva, lámina u otras formas mediante métodos convencionales. Dependiendo de la técnica de aplicación, se necesita una distribución del tamaño de partícula diferente, pero el tamaño medio de partícula del polvo de metal de aportación para soldadura fuerte es de 10-100 µm.

El metal de aportación para soldadura fuerte es adecuado para la soldadura fuerte en horno de vacío usando vacío (<10<sup>-3</sup> Torr). El metal de aportación para soldadura fuerte tiene un punto de fusión inferior a 1100°C y produce uniones a una temperatura de soldadura fuerte de 1120°C que tienen una alta solidez y una buena resistencia a la corrosión sin ningún crecimiento de grano observado.

El metal de aportación para soldadura fuerte en forma de pasta, cinta adhesiva, lámina u otras formas se coloca junto al intersticio o en el intersticio entre las superficies del material de base que van a unirse. Durante el calentamiento, el metal de aportación para soldadura fuerte se funde y mediante fuerzas capilares el metal de aportación para soldadura fuerte fundido humecta la superficie del material de base y fluye al interior del intersticio. Durante el enfriamiento forma una unión por soldadura fuerte maciza. Puesto que el metal de aportación para soldadura fuerte actúa por fuerzas capilares, la humectación del metal de aportación para soldadura fuerte sobre el material de base que va a someterse a soldadura fuerte es crucial. El metal de aportación para soldadura fuerte cubierto por esta invención tiene una excelente humectación sobre material a base de acero inoxidable. El metal de aportación para soldadura fuerte también tiene una buena tolerancia de anchura de intersticio y puede soldar mediante soldadura fuerte intersticios superiores a 500 µm.

Las uniones realizadas por soldadura fuerte con el metal de aportación para soldadura fuerte según esta invención tienen una microestructura que consiste en una mezcla homogénea de fases ricas en Cr-P y fases ricas en Ni-Fe-Si-Cu. Sorprendentemente, se ha encontrado que la difusión de silicio y fósforo estaba limitada por la presencia de cobre en el metal de aportación para soldadura fuerte. La precipitación de fósforo en los límites de grano en el material de base también se impedía por la presencia de Cu. Los metales de aportación para soldadura fuerte sin cobre tenían una zona de difusión más amplia en el material de base y también había precipitación de fósforo en los límites de grano, lo que puede provocar la fragilización del material de base.

#### Descripción de las figuras

La figura 1 muestra una muestra en T usada para la prueba de soldadura fuerte.

La figura 2 muestra una muestra usada para la prueba de solidez de la unión.

La figura 3 muestra los resultados de una segunda prueba de corrosión en la que se colocan muestras durante cuatro semanas en un medio de corrosión.

#### Ejemplos:

- 5 Como materiales de referencia se usaron tres metales de aportación para soldadura fuerte; un metal de aportación para soldadura fuerte a base de hierro, Fe29Cr18Ni7Si6P, y dos metales de aportación para soldadura fuerte a base de níquel, BNI5 y HBNI613. Fe29Cr18Ni7Si6P es un metal de aportación para soldadura fuerte a base de hierro descrito en la solicitud de patente US2008006676. BNI5 con la composición Ni-19Cr-10Si es una calidad a base de níquel convencional y HBNI613 con la composición Ni-30Cr-6P-4Si es un metal de aportación para soldadura fuerte a base de níquel producido por Höganäs AB.
- 10 Además, se prepararon mediante atomización con agua ocho metales de aportación para soldadura fuerte diferentes, tres según la invención y cinco como ejemplos comparativos.

- 15 La tabla 1 muestra la composición real de los metales de aportación para soldadura fuerte producidos. La cantidad de cada componente se proporciona en porcentaje en peso. La expresión 'res' (resto) significa que el material restante en la masa fundida consiste en Fe. Según la invención, el polvo de metal de aportación comprende al menos el 20% en peso de Fe, y los componentes restantes se ajustan dentro de los límites indicados con el fin de que sumen el 100% en peso. Los elementos traza como resultado de impurezas inevitables provocadas por el método de producción están presentes en una cantidad tan pequeña que no influyen en las propiedades del material de aportación para soldadura fuerte. Los elementos traza están presentes normalmente en una cantidad inferior al 1% en peso.

- 20 Un primer criterio que debe cumplirse para el material de aportación para soldadura fuerte es que la temperatura de soldadura fuerte debe ser preferiblemente de 1120°C o inferior. En la tabla 1 puede observarse que la temperatura a la que se funde y produce soldadura fuerte el metal de aportación para soldadura fuerte se ve afectada por el cobre, fósforo y silicio.

Los métodos usados para someter a prueba las propiedades son los siguientes:

#### 1) Prueba de humectación.

- 25 Se colocó el metal de aportación para soldadura fuerte, 0,2 gramos, sobre un sustrato de placa de acero inoxidable 304 que tiene unas dimensiones de 50\*50 mm. Entonces se calentaron los sustratos con el metal de aportación para soldadura fuerte a 1120°C durante 10 min. a vacío de 10<sup>-4</sup> Torr. Se determinó la humectación en cuanto a la razón de extensión definida como;

$$S = A_f/A_s$$

- 30 donde  $A_f$  es el área cubierta por el metal de aportación fundido y  $A_s$  el área de sustrato.

A partir de la tabla 2 puede observarse que los metales de aportación para soldadura fuerte con cobre y alto contenido en fósforo (4, 7, 8) tienen una buena humectación. El metal de aportación para soldadura fuerte cubierto por esta invención tienen una mejor humectación sobre el material a base de acero inoxidable que el material de referencia Fe29Cr18Ni7Si6P y tan buena como o mejor que el material de referencia BNI5.

#### 35 2) Examen metalográfico

- Se convirtió el metal de aportación para soldadura fuerte en una pasta mezclando el polvo de metal con un aglutinante. Se usó acero inoxidable 304 como material de base. Se sometieron a soldadura fuerte muestras en T, según la figura 1, a 1100°C durante 10 min. a vacío de 10<sup>-4</sup> Torr. Tras someterlas a soldadura fuerte se cortaron en sección transversal las muestras en T. Se investigó el área de sección transversal de la unión por soldadura fuerte en un microscopio óptico. Se identifica una buena unión por soldadura fuerte como una unión libre de poros y grietas con una microestructura homogénea.
- 40

- Como puede observarse en la tabla 2 todas las aleaciones formaron uniones macizas sin grietas ni poros. La aleación de metal de aportación para soldadura fuerte según esta invención (4, 7, 8) forma una microestructura homogénea con difusión limitada de elementos al interior del material de base y sin precipitación de fósforo en los límites de grano. Se encuentra precipitación de fósforo en los límites de grano cuando se usan metales de aportación para soldadura fuerte sin cobre (1, 5).
- 45

#### 3) Solidez de la unión.

- Se sometió a prueba la solidez de la unión usando procedimientos similares a los recomendados en ANSI/AWS C3.2M/C3.2.2001 para la configuración de unión de tipo solape con 100 µm de juego paralelo. Se convirtió el metal de aportación para soldadura fuerte en una pasta mezclando el metal de aportación para soldadura fuerte con un aglutinante. Entonces se calentaron las muestras de solidez de la unión con la pasta hasta 1120°C durante 60 min. a vacío de 10<sup>-4</sup> Torr.
- 50

A partir de la tabla 2 puede observarse que la solidez de los metales de aportación para soldadura fuerte con cobre estaba en el mismo intervalo de solidez que la referencia a base de níquel BNI5.

4) Pruebas de corrosión

5 Se midió la corrosión como la pérdida de peso del metal de aportación para soldadura fuerte tras siete días en medio de corrosión. Se fundió el metal de aportación para soldadura fuerte para dar pastillas pequeñas. Se colocaron las pastillas en vasos de precipitados con disoluciones acuosas de HCl al 10% y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 10%, respectivamente. Se pesaron las pastillas antes de colocarlas en los vasos de precipitados y tras siete días. Se calculó la pérdida de peso.

10 En la tabla 2 puede observarse que los metales de aportación para soldadura fuerte que contienen cobre (4, 7 y 8) tenían menos pérdida de peso que los metales de aportación para soldadura fuerte sin cobre (1, 5). Además, el metal de aportación para soldadura fuerte según la invención tiene una resistencia a la corrosión comparable a la de los materiales de referencia a base de níquel BNI5 y HBNI613 y mejor resistencia a la corrosión que el metal de aportación para soldadura fuerte a base de hierro de referencia Fe29Cr18Ni7Si6P.

15 Se realizó una segunda prueba de corrosión en la que se evaluaron las uniones por soldadura fuerte. Se fabricaron y utilizaron las mismas muestras en T (véase la figura 1) que las usadas para la prueba de soldadura fuerte. Se colocó cada muestra en T en un vaso de precipitados con un medio de corrosión durante cuatro semanas y después de esto se inspeccionó para determinar signos de corrosión. Se produjeron un total de doce muestras en T: tres muestras que usan la aleación 7 comprendida por la invención, tres muestras que usan BNI5, tres muestras que usan HBNI613 y tres muestras que usan Fe29Cr18Ni7Si6P como material de soldadura fuerte. Los medios de corrosión usados eran disoluciones acuosas del 10% en peso de HNO<sub>3</sub>, del 10% en peso de H<sub>2</sub>SO y del 10% en peso de HCl. En esta prueba la aleación 7, que representa la composición cubierta por esta invención, se comparó con los metales de aportación para soldadura fuerte de referencia a base de níquel, BNI5 y HBNI613 así como el metal de aportación para soldadura fuerte de referencia a base de hierro Fe29Cr18Ni7Si6P.

25 El resultado se encuentra en la figura 3. Como puede observarse, la aleación 7 no muestra corrosión tras cuatro semanas en H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y sólo una posible corrosión tras cuatro semanas en HCl y HNO<sub>3</sub>. Esto es mejor que los resultados para el metal de aportación para soldadura fuerte de referencia a base de hierro Fe28Cr18Ni7Si6P, lo que demuestra el efecto positivo del Cu en un material para soldadura fuerte a base de hierro-cromo.

Tabla 1 Química y temperatura de fusión de los metales de aportación para soldadura fuerte sometidos a prueba.

Aleación		Fe	Cu	Ni	Cr	P	Si	Mn	Fusión a 1120°C
1	comp.	res	-	10,7	20,9	6,7	5,7	5,7	completa
2	comp.	res	10	10,4	20,5	3,5	4,1	5,3	no
3	comp.	res	-	20,9	20,4	3,76	5,8	-	no
4	inv.	res	10,4	20,4	20,4	6,8	3,9	-	completa
5	comp.	res	-	10,6	27,2	6,8	3,8	-	completa
6	comp.	res	-	20,3	27,2	4,2	4	5,3	parcial
7	inv.	res	10	20,1	27,3	6,9	4,91	5,2	completa
8	inv.	res	5,18	15,1	23,5	5,96	4,9	2,76	completa

30 Tabla 2 Resultados de la prueba de humectación, examen metalográfico, prueba de solidez de unión y pruebas de corrosión.

Aleación		Humectación (%)	Microestructura en la unión por soldadura fuerte	Solidez de unión (N/mm <sup>2</sup> )	Pérdida de peso (g)	
					HCl al 10%	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> al 10%
1	comp.	20	Microestructura no homogénea Difusión al interior del material de base, precipitación de P en los límites de grano	93	0,159 (16%)	0,080 (8%)
4	inv.	45	Microestructura homogénea Difusión limitada al interior del material de base	98	0,016 (1,6%)	0,012 (1,2%)
5	comp.	30	Microestructura homogénea Difusión al interior del	110	0,021 (0,2%)	0,029 (0,3%)

ES 2 376 276 T3

			material de base, precipitación de P en los límites de grano			
7	inv.	40	Microestructura homogénea Difusión limitada al interior del material de base	97	0,004 (0,4%)	0,006 (0,6%)
8	inv.	30	Microestructura homogénea Difusión limitada al interior del material de base	92	0,014 (1,4%)	0,008 (0,8%)
Fe29Cr18Ni7Si 6P	ref.	15	Microestructura no homogénea Difusión al interior del material de base	98	0,045 (4,5%)	0,014 (1,4%)
BNi5	ref.	30	Microestructura homogénea Difusión limitada al interior del material de base	88	0,011 (1,1%)	0,014 (1,4%)
HBNi613	ref.	60	Microestructura homogénea Difusión limitada al interior del material de base	126	0,005 (0,5%)	0,010 (1%)

**REIVINDICACIONES**

1. Polvo de metal de aportación para soldadura fuerte a base de hierro-cromo adecuado para la soldadura fuerte de material a base de acero inoxidable que comprende:
- entre el 11 y el 35% en peso de cromo,
- 5 entre el 0 y el 30% en peso de níquel,
- entre el 2 y el 20% en peso de cobre,
- entre el 2 y el 6% en peso de silicio,
- entre el 4 y el 8% en peso de fósforo,
- entre el 0 y el 10% en peso de manganeso,
- 10 siendo el resto al menos el 20% en peso de hierro y elementos traza en cantidades inferiores al 1% en peso como impurezas inevitables.
2. Polvo de metal de aportación para soldadura fuerte según la reivindicación 1, en el que el contenido en níquel es de entre el 10 y el 20% en peso.
3. Polvo de metal de aportación para soldadura fuerte según la reivindicación 1 ó 2, en el que el contenido en cobre es de entre el 5 y el 15% en peso.
- 15 4. Polvo de metal de aportación para soldadura fuerte según la reivindicación 1, 2 ó 3, en el que el contenido en manganeso es inferior al 7% en peso.
5. Polvo de metal de aportación para soldadura fuerte según cualquiera de las reivindicaciones 1-4, en el que el contenido en cromo es de entre el 20 y el 30% en peso.
- 20 6. Polvo de metal de aportación para soldadura fuerte según cualquier reivindicación anterior, en el que el polvo de metal de aportación para soldadura fuerte a base de hierro tiene un tamaño medio de partícula de 10-100 µm.
7. Polvo de metal de aportación para soldadura fuerte según cualquier reivindicación anterior, en el que el metal de aportación para soldadura fuerte a base de hierro se convierte en una pasta, cinta adhesiva, lámina u otras formas mediante métodos convencionales.
- 25 8. Uso de un polvo de metal de aportación para soldadura fuerte según cualquiera de las reivindicaciones 1-7 para la soldadura fuerte en horno.
9. Uso de un polvo de metal de aportación para soldadura fuerte según cualquiera de las reivindicaciones 1-7 para la soldadura fuerte de intercambiadores de calor y convertidores catalíticos.
- 30 10. Fabricación de productos de soldadura fuerte mediante la soldadura fuerte de materiales de base a base de hierro **caracterizada porque** los materiales a base de hierro se unen mediante un polvo de metal de aportación para soldadura fuerte a base de hierro-cromo según cualquiera de las reivindicaciones 1-7.



Fig. 1

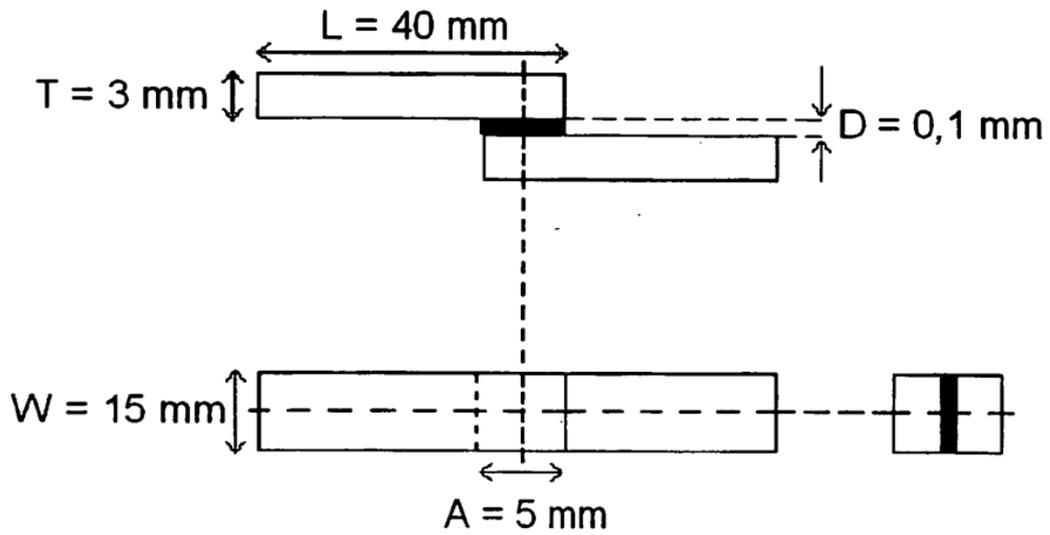
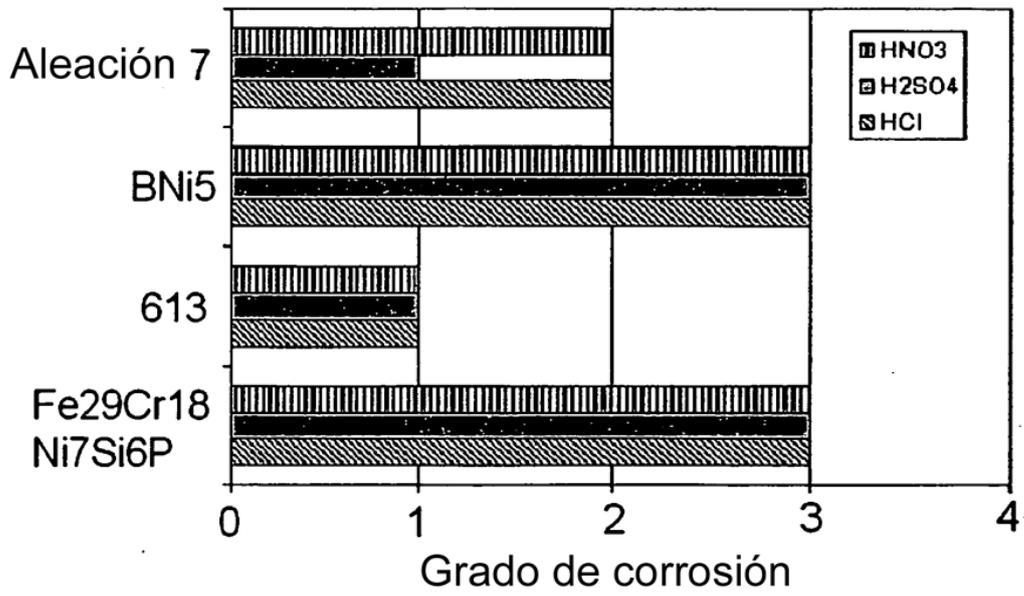


Fig. 2

- A = solape de unión
- W = anchura
- T = grosor
- D = juego de unión
- L = longitud



- 1: Sin corrosión
- 2: Posible corrosión
- 3: Corrosión
- 4: Corrosión con grietas

Fig. 3