

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 745 260**

51 Int. Cl.:

**B23K 35/30** (2006.01)  
**B23K 35/02** (2006.01)  
**C22C 19/05** (2006.01)  
**B23K 1/008** (2006.01)  
**B23K 1/19** (2006.01)  
**C22C 1/02** (2006.01)  
**C22C 30/00** (2006.01)  
**B23K 101/14** (2006.01)  
**B23K 103/04** (2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **11.02.2016 PCT/EP2016/052906**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **25.08.2016 WO16131702**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.02.2016 E 16704595 (4)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.06.2019 EP 3259095**

54 Título: **Aleación a base de níquel para la soldadura fuerte de acero superaustenítico**

30 Prioridad:

**17.02.2015 EP 15155359**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**28.02.2020**

73 Titular/es:

**HÖGANÄS AB (PUBL) (100.0%)  
Bruksgatan 35  
263 83 Höganäs , SE**

72 Inventor/es:

**PERSSON, ULRIKA y  
MÅRS, OWE**

74 Agente/Representante:

**DEL VALLE VALIENTE, Sonia**

**ES 2 745 260 T3**

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

## DESCRIPCIÓN

Aleación a base de níquel adecuada para la soldadura fuerte de acero superaustenítico

5 **Campo de la invención**

Esta invención se refiere a un metal de relleno de soldadura fuerte a base de níquel adecuado para la soldadura fuerte de componentes compuestos por acero inoxidable superaustenítico o componentes compuestos por materiales similares cuando se requiere una alta resistencia a la corrosión, por ejemplo en entornos con cloruro. Los ejemplos típicos de productos producidos a partir de componentes sometidos a soldadura fuerte son los intercambiadores de calor. La invención también se refiere a un método para someter a soldadura fuerte.

**Antecedentes**

15 La soldadura fuerte es un procedimiento para unir piezas de metal con la ayuda de metal de relleno de soldadura fuerte y calentamiento. La temperatura de fusión de un metal de relleno de soldadura fuerte está por debajo de la temperatura de fusión del material base pero por encima de 450°C. Por debajo de esta temperatura, el procedimiento de unión se denomina soldeo. Los metales de relleno de soldadura fuerte usados más habitualmente para la soldadura fuerte de aceros inoxidables se basan en cobre o níquel. Los metales de relleno de soldadura fuerte a base de cobre se prefieren cuando se consideran ventajas de costes, mientras que los metales de relleno de soldadura fuerte a base de níquel son necesarios en aplicaciones de alta corrosión y alta temperatura. El cobre se usa a menudo, por ejemplo, para intercambiadores de calor para la calefacción urbana y para instalaciones de agua corriente.

25 Los metales de relleno de soldadura fuerte a base de níquel con alto contenido de cromo se usan por su alta resistencia a la corrosión en aplicaciones expuestas a medios corrosivos. Los metales de relleno de soldadura fuerte a base de níquel también pueden usarse en aplicaciones de alta temperatura de servicio. Una aplicación típica expuesta a un entorno altamente corrosivo son los intercambiadores de calor para enfriamiento con medios de enfriamiento agresivos.

30 Existen varios tipos diferentes de metales de relleno de 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 relleno de 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 (el 7% en peso de Ni, el 3% en peso de B, el 4,5% en peso de Si, el 3% en peso de Fe y siendo el resto Ni) se usa para producir juntas de alta resistencia en aplicaciones a alta temperatura. Sin embargo, la presencia de boro es una desventaja ya que provoca fragilidad del material base cuando el boro difunde en el material base. La difusión de boro también puede provocar una reducción local de la resistencia a la corrosión ya que se forma CrB en los límites de grano. Otro metal de relleno de soldadura fuerte a base de níquel que contenga boro tiene la misma desventaja.

40 Para superar la desventaja del boro, se desarrollaron otros metales de relleno de soldadura fuerte a base de níquel. BNi-5 (Ni-19Cr-10Si) tiene una alta resistencia a la corrosión debido al alto contenido de cromo. La temperatura de soldadura fuerte para esta aleación es bastante alta (1150-1200°C) y cuando sólo se usa silicio como depresor del punto de fusión se limita la fluidez. Otros metales de relleno de soldadura fuerte a base de níquel sin boro son BNi-6 (Ni-10P) y BNi7 (Ni-14Cr-10P). Las temperaturas de soldadura fuerte para estos metales de relleno de soldadura fuerte son menores debido al alto contenido de fósforo del 10% en peso, que también hace que los metales de relleno de soldadura fuerte tengan excelentes propiedades de flujo. Sin embargo, el alto contenido de fósforo (el 10% en peso) puede formar una junta sometida a soldadura fuerte sin la resistencia mecánica requerida debido al riesgo de formación de fases frágiles que contienen fósforo.

50 Otro metal de relleno de soldadura fuerte a base de níquel se describe en las patentes US6696017 y US6203754. Este metal de relleno de soldadura fuerte tiene la composición Ni-29Cr-6P-4Si y combina una alta resistencia mecánica y una alta resistencia a la corrosión con una temperatura de soldadura fuerte bastante baja (1050-1100°C). Este metal de relleno de soldadura fuerte se desarrolló especialmente para una generación de enfriadores EGR usados en entornos altamente corrosivos.

60 Otro metal de relleno a base de níquel se describe en la solicitud de patente estadounidense US2013/0224069A1. Este documento describe un metal de relleno de soldadura fuerte con buena resistencia a la corrosión frente a ácido clorhídrico. La aleación contiene el 6-18% en peso de molibdeno, el 10-25% en peso de cromo, el 0,5-5% en peso de silicio, el 4,5-8% en peso de fósforo y siendo la parte restante níquel e impurezas inevitables. Las diversas aleaciones descritas tienen temperaturas de líquido de 1120°C o menor.

65 La solicitud de patente japonesa JP2008 253999A da a conocer una estructura soldada basada en níquel resistente a la corrosión a alta temperatura obtenida mediante soldeo y unión de piezas que contienen el 45-75% de Ni, el 23-35% de Cr, el 1-5% de Mo, el 3-6% de Si y el 0,05-0,5% de C, siendo el resto Fe e impurezas inevitables. El material depositado en la zona de soldadura contiene un primer material depositado que tiene una tenacidad mayor que las

piezas que van a soldarse, y un segundo material depositado que tiene la misma composición química que las piezas que van a soldarse. El segundo material depositado soporta la atmósfera corrosiva a alta temperatura.

5 La temperatura práctica más alta que concuerda con un crecimiento de grano limitado según el manual de especialidad de ASM Stainless Steel es de 1095°C. Por tanto, se prefiere una temperatura de soldadura fuerte por debajo de esta para evitar los problemas con el crecimiento de grano en el componente de acero inoxidable.

10 Los aceros inoxidables superausteníticos, como Type 254 SMO® o Type 654SMO® de Outokumpu, son menos propensos a verse sometidos al crecimiento de grano a temperaturas elevadas. Sin embargo, en tales aceros se forman fácilmente fases sigma frágiles alrededor de 1050°C. La soldadura fuerte de los componentes sometidos a entornos corrosivos, compuestos por acero inoxidable superausteníticos, con metal de relleno de soldadura fuerte a base de níquel es difícil y representa un reto. Los motivos son, por ejemplo, que tiene que aplicarse una temperatura de soldadura fuerte lo suficientemente alta como para evitar la formación de fases sigma y chi frágiles durante la solidificación de la junta pero la temperatura de soldadura fuerte tiene que ser lo suficientemente baja como para impedir la erosión del material base. El metal de soldadura fuerte también debe tener un flujo lo suficientemente bueno como para rellenar los espacios y las grietas de manera efectiva.

20 Esto hace que la mayoría de las aleaciones de soldadura fuerte existentes sean inadecuadas para la soldadura fuerte de aceros superausteníticos. BNi 5 tiene un intervalo de fusión adecuado para la soldadura fuerte de acero inoxidable superaustenítico. Sin embargo, la resistencia a la corrosión de BNi 5 es insuficiente como para funcionar con estos tipos de aceros en el entorno para el que se diseñan los aceros.

25 Los metales de relleno a base de níquel convencionales con la mejor resistencia a la corrosión, Ni-29Cr-6P-4Si, no actúan con calidades de acero inoxidable superaustenítico en entornos con cloruro. Mientras que Ni-29Cr-6P-4Si tiene una resistencia a la corrosión suficientemente buena, la temperatura de sólido es demasiado baja como para evitar la formación de fases sigma en el material base durante el enfriamiento, lo que deteriora las propiedades del acero inoxidable superaustenítico. Por tanto, existe la necesidad de un metal de relleno de soldadura fuerte a base de níquel que tenga una temperatura de sólido por encima de 1140°C y pueda formar juntas que puedan resistir entornos corrosivos que contengan cloruro.

### 30 **Sumario**

35 La invención da a conocer un metal de relleno de soldadura fuerte a base de níquel en forma de una aleación que contiene o que consiste en entre el 20% en peso y el 35% en peso de cromo, entre el 7% en peso y el 15% en peso de hierro y entre el 2,5% en peso y el 9% en peso de silicio, entre el 0% en peso y el 15% en peso de molibdeno, impurezas inevitables y siendo el resto níquel. La temperatura de sólido del relleno de soldadura fuerte debe estar entre 1140°C y 1220°C. El metal de relleno de soldadura fuerte es adecuado para la producción de convertidores catalíticos e intercambiadores de calor.

40 La invención también da a conocer un método de soldadura fuerte.

### **Descripción detallada**

45 En un aspecto de la presente invención, se proporciona un metal de relleno de soldadura fuerte con resistencia a la corrosión superior que corresponde a aceros inoxidables superausteníticos. Los ejemplos de productos sometidos a soldadura fuerte de manera adecuada con el nuevo metal de relleno de soldadura fuerte a base de níquel son intercambiadores de calor, tales como intercambiadores de calor de placas o tubos que se usan en aplicaciones industriales o aplicaciones automotrices tales como en sistemas de enfriamiento de gases de escape. Los convertidores catalíticos de diferentes tipos también son posibles aplicaciones producidas a partir de aceros inoxidables superausteníticos. El nuevo metal de relleno de soldadura fuerte también puede usarse para soldadura fuerte de calidades convencionales de acero inoxidable.

50 En otro aspecto de la presente invención, se proporciona un método de soldadura fuerte que implica el uso del nuevo metal de relleno de soldadura fuerte para la soldadura fuerte de aceros inoxidables superausteníticos. En un aspecto adicional, se proporciona un producto sometido a soldadura fuerte.

55 Para evitar la formación de fases sigma frágiles, debe aplicarse un enfriamiento forzado desde al menos 1050°C hasta como máximo 600°C. La temperatura de sólido del metal de soldadura fuerte tiene que ser de al menos 1140°C para garantizar la solidificación completa de la junta de soldadura fuerte antes de aplicar un enfriamiento rápido, de lo contrario existe el riesgo de formación de grietas y huecos en la junta durante el enfriamiento rápido.

60 El material de relleno de soldadura fuerte en forma de polvo, pasta, cinta, lámina metálica u otras formas se sitúa en el espacio o en el espacio entre las superficies de los materiales base que van a unirse. El paquete se sitúa en un horno en una atmósfera protectora reductora o a vacío, y se calienta hasta una temperatura por encima de la temperatura de líquido, al menos por encima de 1200°C, y se mantiene a esa temperatura hasta que se completa la soldadura fuerte, es decir, el metal de relleno de soldadura fuerte se funde y mediante fuerzas capilares el metal de

relleno de soldadura fuerte fundido humedece la superficie del material base y fluye hacia el espacio. Durante el enfriamiento por debajo de la temperatura de sólido, se forma una junta sometida a soldadura fuerte sólida. Cuando se forma la junta sólida, el componente sometido a soldadura fuerte puede someterse a enfriamiento forzado, lo que significa que el componente se somete a una corriente de un gas de enfriamiento inerte a alta presión, normalmente de al menos 10 bar.

Por tanto, un método de soldadura fuerte según la presente invención abarcará las siguientes etapas;

a) aplicar un material de metal de relleno de soldadura fuerte según cualquiera de las realizaciones según la presente invención a al menos una pieza de acero inoxidable o a una combinación de piezas de acero inoxidable y, si corresponde, ensamblar las piezas de acero inoxidable para dar un artículo,

b) calentar el artículo hasta la temperatura de soldadura fuerte, una temperatura por encima de la temperatura de líquido del metal de relleno de soldadura fuerte, al menos por encima de 1200°C,

c) mantener la/las pieza(s) a la temperatura de soldadura fuerte hasta que se obtenga una soldadura fuerte completa,

d) enfriar las piezas sometidas a soldadura fuerte hasta una temperatura por debajo de la línea de sólido de la junta sometida a soldadura fuerte,

e) enfriar las piezas sometidas a soldadura fuerte desde una temperatura de al menos 1050°C hasta 600°C o por debajo a una velocidad de enfriamiento de al menos 2°C/segundo con un gas de enfriamiento inerte a una presión de al menos 10 bar,

f) recuperar el artículo.

En una realización del método de soldadura fuerte según la invención, se usa un enfriamiento forzado a una velocidad de al menos 2°C/segundo desde al menos 1050°C hasta como máximo 600°C.

En una realización del método de soldadura fuerte según la invención, tiene que aplicarse un enfriamiento forzado a una velocidad de al menos 2°C/segundo desde al menos 1120°C hasta como máximo 600°C.

En una realización del método de soldadura fuerte según la invención, se usa un enfriamiento forzado a una velocidad de al menos 5°C/segundo desde al menos 1050°C hasta como máximo 600°C.

En una realización del método de soldadura fuerte según la invención, tiene que aplicarse un enfriamiento forzado a una velocidad de al menos 5°C/segundo desde al menos 1100°C hasta como máximo 600°C.

En una realización del método de soldadura fuerte según la invención, tiene que aplicarse un enfriamiento forzado a una velocidad de al menos 5°C/segundo desde al menos 1120°C hasta como máximo 600°C.

En una realización del método de soldadura fuerte según la invención, se usa un enfriamiento forzado a una velocidad de al menos 7°C/segundo desde al menos 1050°C hasta como máximo 600°C.

En una realización del método de soldadura fuerte según la invención, tiene que aplicarse un enfriamiento forzado a una velocidad de al menos 7°C/segundo desde al menos 1100°C hasta como máximo 600°C.

En una realización del método de soldadura fuerte según la invención, tiene que aplicarse un enfriamiento forzado a una velocidad de al menos 7°C/segundo desde al menos 1120°C hasta como máximo 600°C.

Según una realización, el metal de relleno de soldadura fuerte puede proporcionarse en forma de polvo. La formación del polvo del metal de relleno de soldadura fuerte puede realizarse usando métodos conocidos en la técnica. Por ejemplo, pueden producirse 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, preferiblemente entre 20-100 µm y lo más preferiblemente entre 30-70 µm. El tamaño medio de partícula puede determinarse usando el método descrito en la norma EN24497 o expresarse como la mediana del diámetro de partícula  $X_{50}$  según la norma SS-ISO 13320-1. El tamaño medio de partícula o la mediana del tamaño de partícula debe interpretarse en el presente documento como el tamaño de una partícula en una población de partículas en la que el 50% en volumen o peso de la población es menor que este tamaño y el 50% en volumen o peso es mayor que este tamaño.

Se encuentran calidades típicas de acero inoxidable superaustenítico en la tabla 1. Otras calidades tales de acero son AL6XN y 925hMo. El acero inoxidable superaustenítico puede definirse como un acero inoxidable austenítico que contiene níquel, cromo, molibdeno y nitrógeno y que tiene n.º de PREN por encima de 45, definido según el volumen 13A del manual ASM, 2003. El n.º de PREN viene dado en el presente documento por la ecuación n.º de

PREN = % de Cr + 3,3 \* % de Mo + 30 \* % de N. El alto contenido de molibdeno junto con los altos contenidos de cromo y nitrógeno ha facilitado a estas calidades excelente resistencia a la corrosión y propiedades mecánicas mejoradas.

5 Tabla 1. Ejemplo de acero inoxidable superaustenítico

	Outokumpu 254 SMO® (UNS S31254)	UNS S34565	Outokumpu 654 SMO® (UNS S32654)
C	0,020 máx.	0,020 máx.	0,020 máx.
Cr	19,5-20,5	24	24,0-25,0
Ni	17,5-18,5	17	21,0-23,0
Mo	6,0-6,5	4,5	7,0-8,0
N	0,18-0,22	0,45	0,45-0,55
Cu	0,50-1,00		0,30-0,60
S	0,010 máx.		0,005 máx.
P	0,030 máx.		0,030 máx.
Si	0,80 máx.		0,50 máx.
Mn	1,00 máx.	5,5	2,00-4,00
Fe	el resto	el resto	el resto

10 Todos los aceros inoxidable contienen por definición un mínimo del 11% de cromo, pocos aceros inoxidable contienen más del 30% de cromo. Se requiere un contenido de cromo por encima del 11% para la formación de la capa protectora de óxido de cromo que otorga al acero sus características de resistencia a la corrosión. Cuanto mayor sea el contenido de cromo, mejor es la resistencia a la corrosión pero cuando aumenta el contenido, las propiedades de flujo se ven afectadas de manera negativa, y las aleaciones de soldadura fuerte con contenido de cromo por encima del 25% se emplean muy rara vez. Los contenidos de cromo por encima del 35% pueden provocar una disminución de la resistencia de junta ya que se crean varias fases intermetálicas.

15 Por tanto, el contenido de cromo del nuevo new metal de relleno de soldadura fuerte está entre el 20 y el 35% en peso, preferiblemente entre el 25-33% en peso. En algunas realizaciones, pueden desearse intervalos más estrechos.

20 Para reducir el punto de fusión de la aleación, se añaden depresores del punto de fusión.

Se conoce bien que el silicio, el boro y el fósforo son depresores del punto de fusión efectivos.

25 Habitualmente se usa una combinación de al menos dos depresores del punto de fusión en metales de relleno de soldadura fuerte para obtener propiedades suficientes, tales como humectación y flujo. Sin embargo, en la presente invención se ha mostrado que sólo puede usarse silicio, facilitando la producción del metal de relleno de soldadura fuerte y la manipulación cuando se usa.

30 Un contenido de silicio por encima del 9% en peso no es adecuado ya que el riesgo para la formación de fases frágiles es demasiado alto y un contenido por debajo del 2,5% en peso hace que las propiedades de flujo del metal de relleno de soldadura fuerte sean insuficientes. El contenido de silicio del metal de relleno de soldadura fuerte es por tanto del 2,5-9% en peso. En algunas realizaciones, se desean intervalos más estrechos.

35 El nuevo metal de relleno de soldadura fuerte contiene hierro entre el 7-15% en peso, preferiblemente entre el 8-12% en peso para obtener propiedades de flujo suficientes, y molibdeno entre el 0-15% en peso, preferiblemente entre el 5-10% en peso, preferiblemente entre el 6-10% en peso y lo más preferiblemente entre el 7-10% en peso. En algunas realizaciones, se desean intervalos más estrechos.

40 Las impurezas inevitables son normalmente componentes que están presentes en una cantidad menor del 2% en peso, preferiblemente menor del 1% en peso y en una cantidad tan pequeña que la presencia del componente no influye sustancialmente en las propiedades del material de relleno de soldadura fuerte. El carbono puede considerarse en este contexto una impureza inevitable, y en determinadas realizaciones de la presente invención el contenido de carbono debe estar por debajo del 0,05% en peso.

45 Los constituyentes del metal de relleno de soldadura fuerte están contenidos de forma prealeada.

En una realización de la presente invención, el metal de relleno de soldadura fuerte a base de níquel comprende:

Cr: el 25-35% en peso

50 Fe: el 7-15% en peso

## ES 2 745 260 T3

	Si:	el 3-8% en peso
	Mo:	el 5-10% en peso
5	impurezas inevitables	el 1% en peso máx., de las que el C está por debajo del 0,05% siendo el resto níquel (Ni).
	En otra realización de la presente invención, el metal de relleno de soldadura fuerte a base de níquel comprende:	
10	Cr:	el 25-35% en peso
	Fe:	el 7-15% en peso
15	Si:	el 3-8% en peso
	Mo:	el 6-10% en peso
20	impurezas inevitables	el 1% en peso máx., de las que el C está por debajo del 0,05% siendo el resto níquel (Ni).
	En otra realización de la presente invención, el metal de relleno de soldadura fuerte a base de níquel comprende:	
25	Cr:	el 25-33% en peso
	Fe:	el 8-12% en peso
30	Si:	el 3-8% en peso
	Mo:	el 7-10% en peso
35	impurezas inevitables	el 0,5% en peso máx., de las que el C está por debajo del 0,05% siendo el resto níquel (Ni).
	En todavía otra realización de la presente invención, el metal de relleno de soldadura fuerte a base de níquel comprende:	
40	Cr:	el 28-32% en peso
	Fe:	el 8-12% en peso
45	Si:	el 3-8% en peso
	Mo:	el 6-9% en peso
50	impurezas inevitables	el 0,5% en peso máx., de las que el C está por debajo del 0,05% siendo el resto níquel (Ni).
	En todavía otra realización de la presente invención el metal de relleno de soldadura fuerte a base de níquel comprende:	
55	Cr:	el 28-32% en peso
	Fe:	el 8-12% en peso
60	Si:	el 6-8% en peso
	Mo:	el 6-9% en peso
65	impurezas inevitables	el 0,5% en peso máx., de las que el C está por debajo del 0,05% siendo el resto níquel (Ni).

El metal de relleno de soldadura fuerte tiene una temperatura de sólido de entre 1140°C y 1220°C, el intervalo de fusión (es decir, la diferencia entre la temperatura de líquido y la temperatura de sólido) debe ser estrecho, es decir, por debajo de 100°C. Las temperaturas de sólido y de líquido pueden determinarse mediante calorimetría diferencial de barrido (DSC, por sus siglas en inglés). El metal de relleno de soldadura fuerte tiene una excelente capacidad para fluir y penetrar en el espacio que va a someterse a soldadura fuerte. Además, la aleación de soldadura fuerte fundida no está erosionando el metal base cuando se funde porque la composición bien equilibrada del nuevo metal de relleno a base de níquel limita la fuerza impulsora de difusión en el material base. La erosión se define como un estado provocado por la disolución del metal base mediante el metal de relleno de soldadura fuerte fundido, dando como resultado una reducción del grosor del metal base. La erosión siempre aumenta con una mayor temperatura de soldadura fuerte porque las velocidades de difusión de los elementos aumentan con la temperatura.

El metal de relleno de soldadura fuerte según esta invención puede estar en forma de polvo que puede producirse mediante atomización o bien con gas o bien con agua. Dependiendo de la técnica de aplicación, es necesaria una distribución de tamaño de partícula diferente. Cuando se aplica a las piezas que van a someterse a soldadura fuerte, el metal de relleno de soldadura fuerte, en este contexto denominado material de metal de relleno de soldadura fuerte, puede estar en forma de polvo o en forma de una pasta, cinta o lámina metálica.

El metal de relleno de soldadura fuerte es adecuado para soldadura fuerte en horno de vacío o en atmósfera reductora con un punto de rocío por debajo de -30°C. Para evitar o reducir la evaporación de cromo, el horno de vacío, después de alcanzar un nivel de vacío <math>10^{-3}</math> Torr, puede volver a rellenarse con un gas inerte o reductor a una presión de algunos Torr. El metal de relleno de soldadura fuerte tiene una temperatura de sólido de al menos 1140°C y produce juntas sin fisuras con buena resistencia a la corrosión cuando se somete a soldadura fuerte a 1200°C o mayor, sin ningún crecimiento de grano observado. Debido a que el metal de relleno de soldadura fuerte actúa sobre fuerzas capilares, la humectación del metal de relleno de soldadura fuerte sobre el material base que va a someterse a soldadura fuerte es crucial, un requisito que el metal de relleno de soldadura fuerte según la presente invención cumple de manera excelente.

### Ejemplos

Se usó Ni-29Cr-6P-4Si (Ni613) como metal de relleno de soldadura fuerte de referencia. Ni613 es un metal de relleno de soldadura fuerte a base de níquel producido por Höganäs AB, Suecia, y es el metal de relleno con la mejor resistencia a la corrosión en el mercado.

La tabla 2 muestra las composiciones químicas de las muestras según la invención, muestras comparativas y la muestra de referencia. La cantidad de cada componente se facilita en porcentaje en peso. La expresión 'resto' (el resto) significa que el material restante en la masa fundida consiste en Ni e impurezas inevitables presentes en una cantidad tan pequeña que la presencia del componente no influye sustancialmente en las propiedades del material de relleno de soldadura fuerte.

#### Ejemplo 1

Intervalo de fusión y flujo.

Un primer criterio que debe satisfacer el material de relleno de soldadura fuerte es que la temperatura de sólido esté entre 1140°C y 1220°C. Además, el intervalo de fusión debe ser estrecho, es decir por debajo de 100°C. Puede observarse en la tabla 2 que la temperatura a la que el metal de relleno de soldadura fuerte se funde y se somete a soldadura fuerte se ve afectada por el fósforo, el manganeso y el silicio. Se realizó el análisis químico según métodos analíticos conocidos, se midieron las temperaturas de sólido y de líquido mediante análisis por calorimetría diferencial de barrido (DSC) en un instrumento STA 449 F3 Jupiter. Se ajustó la velocidad de calentamiento a 10K/min y el gas de purga fue argón.

Se sometió a ensayo el flujo poniendo 0,5 g de aleación de soldadura fuerte sobre una chapa plana de acero inoxidable. Luego se sometió a soldadura fuerte la muestra a una temperatura por encima de la línea de líquido a alto vacío. Después de la soldadura fuerte, se estudió la aleación fundida y se midió el área cubierta por la aleación fundida. Un área grande es buena ya que muestra una buena humectación que se requiere para una buena propiedad de flujo. Además, la aleación no debe separarse en dos o más fases. Esto también se consideró como no aceptable. Se usaron bueno (aceptable), OK (aceptable) y malo (no aceptable) para resumir el resultado del ensayo de flujo.

Tabla 2. Composición de aleaciones, resultado de ensayos de fusión y flujo.

Muestra n.º	P	Si	Mo	Ni	Cr	Fe	Mn	TSol °C	TLiq °C	Flujo
1 (comp.)	3	3,2	8,0	resto	30,0	10,0		1051	1150	Bueno
2 (comp.)	4	2,0	8,0	resto	29,0	10,0		1058	1173	Bueno
3 (comp.)	4	0,9	7,9	resto	29,0	10,4		1054	1204	Malo

## ES 2 745 260 T3

4 (comp.)	3	1,9	8,0	resto	30,0	10,0		1062	1230	Malo
5 (comp.)		12,3	7,6	resto	28,8	11,6		1000	1253	Malo
6 (comp.)		10,4	7,5	resto	28,7	11,2	5,8	1070	1250	Malo
7 (inv.)		7,1	7,5	resto	29,1	11,1		1150	1210	Bueno
8 (comp.)	2,2	8,8	7,5	resto	30,1	10,2		1000	1176	Bueno
9 (comp.)	2,1	6,5	7,8	resto	29,6	10,1		990	1100	Bueno
10 (comp.)	1,1	9,6	7,5	resto	29,4	10,7	2,9	990	1210	Malo
11 (comp.)		11,0	7,6	resto	28,9	11,5		1023	1240	Malo
12 (comp.)	1,5	7,7	7,7	resto	29,3	10,4	1,7	997	1120	Malo
13 (comp.)	1,1	9,4	7,7	resto	29,2	10,6		1000	1120	Malo
14 (inv.)		3,1	7,5	resto	28,7	11,1		1195	1208	OK
15 (inv.)		4,9	7,8	resto	29,3	10,2		1190	1227	OK
16 (comp.)			7,6	resto	29,0	11,0		1350	1380	Malo
17 (comp.)		2,0	7,5	resto	28,9	10,1				Malo
Ni613 (ref.)	7	4		resto	29,0			980	1030	Bueno

### Ejemplo 2

Ensayo de soldadura fuerte, fases intermetálicas.

5 Se usó Ni-29Cr-6P-4Si como polvo de metal de relleno de soldadura fuerte de referencia para someter a soldadura fuerte chapas de acero de SMO654 a 1150°C a vacío. Se permitió que se enfriase la junta sometida a soldadura fuerte sin ningún enfriamiento forzado hasta una temperatura de 1000°C. Por debajo de esta temperatura, se aplicó un enfriamiento forzado a una presión de 10 bar de nitrógeno hasta una temperatura de 500°C. Esta muestra se comparó con una muestra sometida a soldadura fuerte según la invención, la muestra n.º 7 sometida a soldadura fuerte a 1250°C con chapas de acero de SMO654 usando un enfriamiento forzado a una presión de 10 bar de nitrógeno, desde 1150°C hasta una temperatura de 500°C. Se investigaron mediante metalografía las muestras sometidas a soldadura fuerte para identificar cualquier fase intermetálica en los límites de grano.

15 En la muestra sometida a enfriamiento forzado desde 1000°C, se encontraron precipitados en el límite de grano a través de toda la chapa de metal, figura 1. En la segunda muestra, de enfriamiento forzado desde 1150°C, usando un metal de relleno de soldadura fuerte según la invención, se redujo considerablemente la cantidad de fases intermetálicas y los límites de grano son sólo visibles en la superficie, figura 2.

### 20 Ejemplo 3

Se puso una chapa de SMO654 puro en el horno y se calentó hasta 1180°C y se enfrió lentamente, es decir sin enfriamiento forzado. Como referencia, se puso una chapa de SMO654 puro en el horno a 1250°C y se sometió a enfriamiento forzado desde 1150°C, a una presión de 10 bar de nitrógeno, hasta una temperatura de 500°C. Luego se sometieron a ensayo las dos chapas para el ensayo de tracción. La muestra no expuesta a enfriamiento forzado es mucho menos dúctil, debido a la formación de fases intermetálicas, que la muestra expuesta a enfriamiento forzado desde por encima de 1150°C tal como se muestra mediante la curva de tensión-deformación en la figura 3.

### 30 **Leyendas de las figuras**

Figura 1. Muestra enfriada de manera rápida por debajo de 1000°C, precipitados en los límites de grano.

Figura 2. Muestra enfriada desde 1150°C, pocos precipitados en los límites de grano.

35 Figura 3. Alargamiento de la muestra en función de la fuerza aplicada.

**REIVINDICACIONES**

1. Metal de relleno de soldadura fuerte a base de níquel, que consiste en:
- 5                   Cr:                                   el 25-35% en peso  
                       Fe:                                   el 7-15% en peso  
                       Si:                                   el 3-8% en peso  
                       Mo:                                  el 5-10% en peso  
                       impurezas inevitables           el 1% en peso máx., de las que el C está por debajo  
 10                   del 0,05%  
                       siendo el resto níquel (Ni).
2. Metal de relleno de soldadura fuerte a base de níquel según la reivindicación 1, consistiendo dicho metal en:
- 15                   Cr:                                   el 25-35% en peso  
                       Fe:                                   el 7-15% en peso  
                       Si:                                   el 3-8% en peso  
                       Mo:                                  el 6-10% en peso  
                       impurezas inevitables           el 1% en peso máx., de las que el C está por debajo  
 20                   del 0,05%  
                       siendo el resto níquel (Ni).
- 25 3. Metal de relleno de soldadura fuerte a base de níquel según la reivindicación 1, consistiendo dicho metal en:
- Cr:                                   el 25-33% en peso  
                       Fe:                                   el 8-12% en peso  
 30                   Si:                                   el 3-8% en peso  
                       Mo:                                  el 7-10% en peso  
                       impurezas inevitables           el 1% en peso máx., de las que el C está por debajo  
                       del 0,05%  
                       siendo el resto níquel (Ni).
- 35 4. Metal de relleno de soldadura fuerte a base de níquel según cualquiera de las reivindicaciones 1-3, caracterizado porque el metal está presente como un polvo que tiene un tamaño medio de partícula de entre 10-150  $\mu\text{m}$ , preferiblemente entre 20-100  $\mu\text{m}$ , lo más preferiblemente de 30-70  $\mu\text{m}$ .
- 40 5. Material de metal de relleno de soldadura fuerte a base de níquel según cualquiera de las reivindicaciones 1-3, caracterizado porque el material metal de relleno de soldadura fuerte está en forma de polvo, pasta, tira o lámina metálica.
- 45 6. Método para someter a soldadura fuerte un artículo que comprende al menos dos piezas de acero inoxidable, que comprende las etapas de;
- 50                   a) aplicar un material de metal de relleno de soldadura fuerte según cualquiera de las reivindicaciones 1-5 a al menos una pieza de acero inoxidable o a una combinación de piezas de acero inoxidable y, si corresponde, ensamblar las piezas de acero inoxidable para dar un artículo,  
                       b) calentar el artículo hasta la temperatura de soldadura fuerte, una temperatura por encima de 1200°C,  
                       c) mantener la(s) pieza(s) a la temperatura de soldadura fuerte hasta que se obtenga la soldadura fuerte completa,  
                       d) enfriar las piezas sometidas a soldadura fuerte hasta una temperatura por debajo de la línea de sólido de la junta sometida a soldadura fuerte,  
 55                   e) enfriar las piezas sometidas a soldadura fuerte desde una temperatura de al menos 1050°C hasta 600°C o por debajo a una velocidad de enfriamiento mínima de 2°C/s con un gas de enfriamiento inerte a una presión de al menos 10 bar,  
                       f) recuperar el artículo.
- 60 7. Método según la reivindicación 6, en el que la al menos una pieza del acero inoxidable es un acero inoxidable superaustenítico.
8. Producto sometido a soldadura fuerte producido según cualquiera de las reivindicaciones 6-7.
- 65 9. Producto sometido a soldadura fuerte según la reivindicación 8, que es un intercambiador de calor.

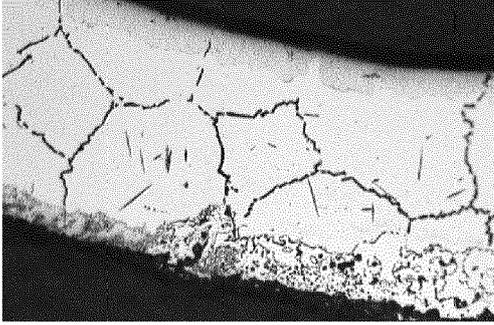


Figura 1. Muestra enfriada de manera rápida por debajo de 1000°C, precipitados en los límites de grano

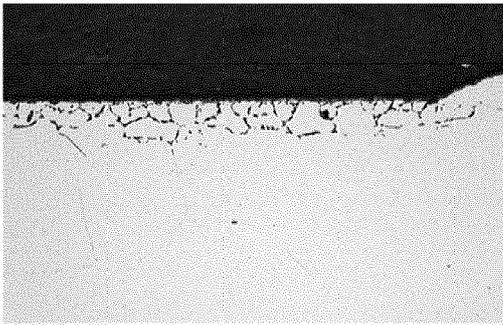


Figura 2. Muestra enfriada desde 1150°C, pocos precipitados en los límites de grano

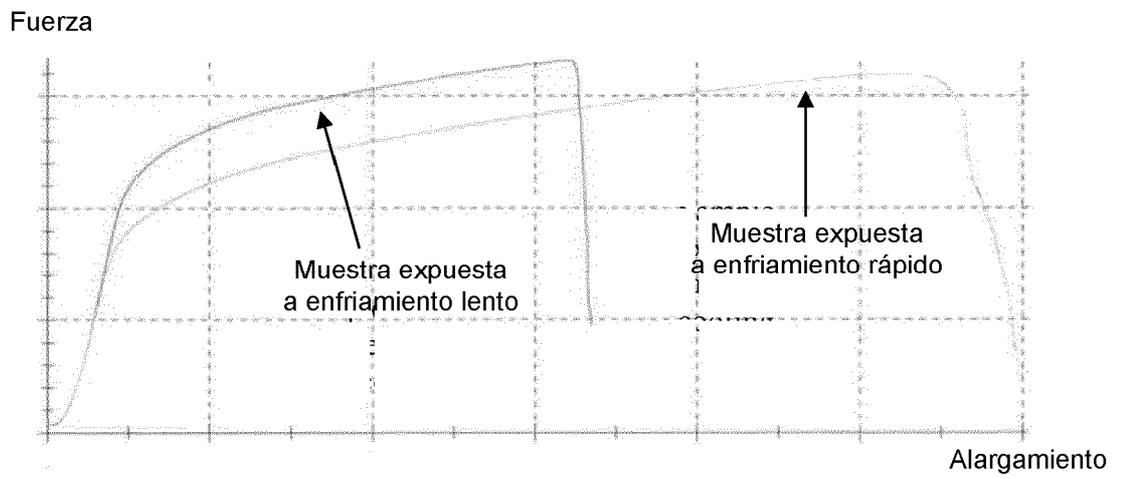


Figura 3. Alargamiento de la muestra en función de la fuerza aplicada