

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 989 841**

51 Int. Cl.:

C22C 38/00	(2006.01) B23K 26/302	(2014.01)
B21C 37/12	(2006.01) C21D 8/10	(2006.01)
C21D 9/08	(2006.01) B23K 101/06	(2006.01)
C22C 38/04	(2006.01) B23K 103/02	(2006.01)
C22C 38/06	(2006.01)	
C22C 38/22	(2006.01)	
C22C 38/24	(2006.01)	
C22C 38/28	(2006.01)	
C22C 38/32	(2006.01)	
B23K 9/032	(2006.01)	

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **14.11.2016 PCT/EP2016/077544**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **26.10.2017 WO17182111**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.11.2016 E 16795054 (2)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.10.2024 EP 3445883**

54 Título: **Un tubo de aleación de aluminio-cromo-hierro de alta temperatura, un método de fabricación del tubo y un uso del tubo como tubo radiante**

30 Prioridad:

22.04.2016 EP 16166659

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

27.11.2024

73 Titular/es:

**KANTHAL AB (100.0%)
Box 502
734 27 Hallstahammar, SE**

72 Inventor/es:

WICKMAN, KRISTER

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 989 841 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

Un tubo de aleación de aluminio-cromo-hierro de alta temperatura, un método de fabricación del tubo y un uso del tubo como tubo radiante

Campo técnico

- 5 La presente invención se refiere a un tubo de aleación de hierro-cromo-aluminio para altas temperaturas según el preámbulo de la reivindicación 1 y a un método para la fabricación de este tubo según el preámbulo de la reivindicación independiente del método. En particular, pero no exclusivamente, la presente invención se refiere a dicho tubo para su uso en aplicaciones de calentamiento y/o dispositivos de calentamiento, tales como un tubo radiante, un tubo de mufla, un tubo de protección de un termopar, un tubo de retorta, un tubo de horno, etc.

10 Antecedentes y técnica anterior

- 15 En aplicaciones de calentamiento, tales como en hornos calentados por gas o calentados eléctricamente y en dispositivos de calentamiento, es común usar tubos de un material que tenga alta resistencia a la temperatura, alta resistencia a la corrosión y buenas propiedades frente al choque térmico. Estos tubos incluyen, por ejemplo, tubos cerámicos, tubos de carburo de silicio y tubos basados en aleaciones de níquel-cromo (NiCr). En entornos oxidantes a temperaturas de trabajo que superan 1100°C, los tubos hechos de aleaciones de hierro-cromo-aluminio (FeCrAl) ofrecen varias ventajas en comparación con otros materiales para tubos, incluyendo una vida útil frente a la oxidación y una temperatura de trabajo máxima que superan con mucho las de la mayoría de los otros materiales, tales como aleaciones formadoras de cromia. Esto se debe principalmente a la capacidad de formar una película de alúmina densa y adherente que protege el material de FeCrAl contra la corrosión y el ataque atmosférico. Ejemplos de estas aleaciones de FeCrAl son las aleaciones disponibles comercialmente vendidas bajo las marcas comerciales Kanthal® APM y Kanthal® APMT y Kanthal® AF.

- 20 Los tubos de aleación de FeCrAl pueden fabricarse como tubos sin costura por medio de extrusión y como tales proporcionan un excelente rendimiento y vida útil en comparación con la mayoría de las otras alternativas de tubos metálicos para altas temperaturas, en particular en condiciones de carburización. Sin embargo, el procedimiento de fabricación de estos tubos sin costura es relativamente costoso y complicado y los tubos sin costura resultantes son, por lo tanto, costosos en comparación con otros tubos usados en la especialidad. Adicionalmente, existen limitaciones en los procedimientos de fabricación con respecto a lo grande (diámetro) que se pueda fabricar el tubo y también lo delgado que pueda ser el espesor de la pared.

- 25 Ejemplos de tubos y procedimientos de fabricación se mencionan en los documentos JP 2012 115890, CN 102 330 034. Sin embargo, los tubos mencionados en los mismos no proporcionan una solución a los problemas actuales. Los artículos "Thermal Alloys Engineering: Protection Tubes in FeCrAl-Alloys for High Temperature Service", (20110201), * páginas 2, 7: y Karl-Heinz Brensing ET AL, Steel Tube and Pipe Manufacturing Process, (19941231), páginas 1-63, página 55-página 58 también divulgan tubos y procedimientos de fabricación pero no proporcionan una solución a los problemas actuales.

35 Compendio

- En vista de los problemas mencionados anteriormente, es deseable proporcionar un tubo de aleación de FeCrAl para altas temperaturas que sea menos costoso y más fácil de producir y que también pueda tener un diámetro grande y/o un espesor de pared delgado, pero que todavía tenga propiedades superiores en cuanto a la resistencia a la oxidación y la corrosión y que, por lo tanto, consiga una vida útil larga.

- 40 Esto se consigue por medio del tubo de aleación de hierro-cromo-aluminio (FeCrAl) para altas temperaturas definido inicialmente como se expone en el conjunto adjunto de reivindicaciones, donde el tubo está formado a partir de una tira continua de aleación de hierro-cromo-aluminio y comprende una costura soldada helicoidal. El tubo de aleación de hierro-cromo-aluminio para altas temperaturas obtenido tendrá resistencias a la oxidación y corrosión que son muy similares a las de un tubo sin costura correspondiente, producido a partir de un material similar. Por otra parte, puesto que el tubo propuesto puede producirse mediante soldadura en espiral a partir de una tira continua de material de FeCrAl para altas temperaturas en lugar de mediante extrusión, el tubo es menos costoso y más fácil de producir y también puede tener un diámetro mayor y/o un espesor de pared más delgado. Por medio del tubo propuesto, se puede conseguir de este modo una excelente resistencia a la oxidación y a la corrosión a un precio competitivo. Según la presente divulgación, el término "alta temperatura" significa temperaturas por encima de 300°C, tales como por encima de 400°C, tales como por encima de 500°C.

- El tubo de aleación de FeCrAl para altas temperaturas soldado, según la invención, es adecuado para su uso en aplicaciones de calentamiento, por ejemplo, para su uso como tubo radiante en un dispositivo de calentamiento eléctrico que tiene un elemento de calentamiento en forma de un alambre de calentamiento, como un tubo de mufla, un tubo de protección de un termopar, un tubo de retorta, un tubo de horno, etc.

- 55 El tubo de aleación de FeCrAl para altas temperaturas que se define en la reivindicación 1 tiene un diámetro interior (d) constante o un diámetro interior casi constante a lo largo de un eje longitudinal. Por el término "diámetro casi

constante" se entiende que el diámetro interior del tubo de aleación de FeCrAl para altas temperaturas difiere menos del 10% de un extremo al otro extremo del tubo de FeCrAl para altas temperaturas.

5 El tubo tiene, como se define en la reivindicación 1, un espesor de pared de 0,5-4,5% del diámetro interior del tubo de aleación de FeCrAl para altas temperaturas. Así, el espesor de la pared puede ser más delgado que, o del mismo orden que, el espesor de la pared de un tubo de aleación de FeCrAl para altas temperaturas extruido correspondiente, que normalmente es alrededor de 5% del diámetro interior del tubo. El tubo de aleación de FeCrAl para altas temperaturas puede usarse de este modo para reemplazar un tubo sin costura extruido y lograr resultados similares.

10 Este espesor es más delgado que el espesor de la pared de un tubo extruido. Las paredes del tubo relativamente delgadas se unirán a menos energía térmica en comparación con paredes de tubo más gruesas y de ese modo permitirán un calentamiento más rápido del tubo y pérdidas térmicas más pequeñas. Este espesor de pared delgado es por lo tanto ventajoso para aplicaciones de calentamiento. Para un tubo que tiene un diámetro interior de aproximadamente 100 mm, que es una dimensión común para tubos radiantes usados en aplicaciones de calentamiento, tales como con elementos de calentamiento de cartuchos eléctricos, se puede lograr, por ejemplo, un espesor de pared de 2 mm. En una realización, el tubo tiene un espesor de pared de 0,5-3,5% del diámetro interior del tubo.

15 El tubo tiene una costura soldada helicoidal que se extiende con un ángulo helicoidal de 1 a 89° con respecto al eje longitudinal del tubo según se define en la reivindicación 1. Generalmente, incrementar el ángulo helicoidal significa que se puede lograr un diámetro mayor del tubo de aleación de FeCrAl para altas temperaturas para la misma anchura de la tira usada para producir el tubo.

20 Según una realización, la costura soldada helicoidal se extiende con un ángulo helicoidal de 25-75° con respecto al eje longitudinal del tubo de aleación de FeCrAl para altas temperaturas.

25 Según una realización, la costura soldada helicoidal se extiende con un ángulo helicoidal de 40-70° con respecto al eje longitudinal del tubo. Este es un intervalo de ángulo helicoidal típico para tubos que tienen diámetros entre 70 mm y 500 mm, producidos a partir de una tira que tiene una anchura de entre 160 mm y 540 mm. Para tubos producidos a partir de una tira que tiene una anchura de 200 mm, se pueden producir, por ejemplo, tubos en los que la costura soldada helicoidal se extiende con un ángulo helicoidal dentro del intervalo 47-54°, con diámetros exteriores dentro del intervalo de 93-108 mm.

La aleación de hierro-cromo-aluminio para altas temperaturas del tubo de la invención, según se define anteriormente o posteriormente en el presente documento, consiste en:

- 9-25% en peso de Cr;
- 30 2,5-8% en peso de Al;
- 0-4% en peso de Mo;

y uno o más elementos seleccionados de:

- 0,01-0,08% en peso de C;
- 0-0,7% en peso de Si;
- 35 0-0,4% en peso de Mn;

y opcionalmente uno o más elementos seleccionados del grupo de

- 0,05-0,60% en peso de Y;
- 0,01-0,40% en peso de Zr;
- 0,05-0,50% en peso de Hf;
- 40 0,05-0,50% en peso de Ta;
- 0-0,10% en peso de Ti;
- 0,01-0,06% en peso de N;
- 0,02-0,10% en peso de O;
- 0-0,08% en peso de P;
- 45 0-0,005% en peso de S;

o

uno o más elementos seleccionados del grupo de

0,001-0,1% en peso de N;

0,02-0,10% en peso de O;

0-0,01% en peso de B;

5 0-0,5% en peso de Mn;

0-2,2% en peso de Y;

0-0,2% en peso de Sc+Ce+La;

0-1,7% en peso de Ti;

0-0,4% en peso de Zr:

10 0-0,4% en peso de Nb:

0-0,1% en peso de V;

0-0,3% en peso de Hf+Ta+Th;

siendo el resto Fe e impurezas normalmente presentes. Esta aleación tiene una excelente resistencia a la oxidación y a la corrosión.

15 Como se ha mencionado anteriormente, la aleación puede consistir en otros elementos de aleación añadidos intencionadamente que pueden seleccionarse de Y, Zr, Hf, Ta, Th, Ti, Si, Mn, B, Sc, Ce, La, W, Nb, V, C, N, O, P y S, de los cuales algunos elementos también pueden estar presentes en forma de impurezas normalmente presentes. Ejemplos de aleaciones adecuadas son aleaciones de hierro-cromo-aluminio vendidas bajo las marcas comerciales Kanthal® APM y Kanthal® APMT y Kanthal® AF.

20 Los constituyentes de la aleación de FeCrAl para altas temperaturas se describirán en detalle a continuación.

Cromo (Cr)

El cromo promoverá la formación de la capa de Al_2O_3 sobre el tubo de aleación de FeCrAl para altas temperaturas a través del denominado efecto del tercer elemento, es decir, por formación de óxido de cromo en la fase de oxidación transitoria. El cromo estará presente en la aleación en una cantidad de al menos 9% en peso. Sin embargo, cantidades
25 demasiado altas de Cr promoverán la formación de fases intermetálicas en el tubo, por lo tanto, la cantidad más alta de Cr es 25% en peso. Así, la cantidad de Cr es de 9 a 25% en peso. Según realizaciones adicionales, dependiendo de la aplicación, el contenido de Cr es de 11 a 17% en peso o de 5 a 15% en peso o de 20,5 a 25% en peso o de 20,5 a 24% en peso.

Aluminio (Al)

30 El aluminio es un elemento importante en la aleación para altas temperaturas ya que el aluminio, cuando se expone a oxígeno a alta temperatura, formará el óxido denso y delgado Al_2O_3 , lo que protegerá la superficie subyacente de la aleación de la oxidación adicional. La cantidad de aluminio debe ser al menos 2,5% en peso para asegurar que se forme la capa de Al_2O_3 y que esté presente suficiente aluminio para reparar la capa de Al_2O_3 cuando se dañe. Sin embargo, el aluminio tiene un impacto negativo sobre la capacidad de formación de la aleación y la cantidad de
35 aluminio no debe superar 8% en peso en la aleación según se define anteriormente o posteriormente en el presente documento. Así, el contenido de aluminio es de 2,5 a 8% en peso, tal como 3-7% en peso, tal como 3-5% en peso, tal como 4-6% en peso, tal como de 5 a 7% en peso.

El resto es hierro (Fe) e impurezas inevitables. Por el término "impurezas inevitables" se entiende elementos que no se añaden a propósito y que no tienen ninguna influencia sobre las propiedades de la aleación.

40 La aleación de FeCrAl para altas temperaturas también consiste en los siguientes elementos:

Molibdeno (Mo)

El molibdeno tiene efectos positivos sobre la resistencia al calor de la aleación de FeCrAl para altas temperaturas en una cantidad de hasta 4,0% en peso. Según algunas realizaciones, el contenido de Mo puede ser de 1,0 a 4,0% en peso.

45 **Silicio (Si)**

El silicio puede estar presente como impureza o puede añadirse a la aleación de FeCrAl para altas temperaturas. Si

es una impureza, la cantidad puede no ser mayor que 0,7% en peso. Si se añade intencionadamente, las cantidades son 0,10-0,70% en peso;

Manganeso (Mn)

5 El manganeso puede estar presente en la aleación de FeCrAl para altas temperaturas en una cantidad de 0 a 0,4% en peso.

Carbono (C)

10 El carbono puede incluirse en la aleación de FeCrAl para altas temperaturas para incrementar la resistencia mediante endurecimiento por precipitación. El carbono también puede estar presente como impureza inevitable resultante del procedimiento de producción. Para conseguir una resistencia suficiente en la aleación, el carbono debe estar presente en una cantidad de al menos 0,01% en peso. A niveles demasiado altos, el carbono puede dar como resultado dificultades para formar el material y un efecto negativo sobre la resistencia a la corrosión, la cantidad máxima de carbono es, por lo tanto, 0,1% en peso. La aleación de FeCrAl consiste en este 0,01 a 0,8% en peso de C,

La aleación de FeCrAl para altas temperaturas que se define en las reivindicaciones también puede consistir en los siguientes elementos según se establece en el conjunto adjunto de reivindicaciones:

15 **Escandio (Sc), cerio (Ce) y lantano (La)**

El escandio, el cerio y el lantano son elementos intercambiables y pueden añadirse individualmente o en combinación en una cantidad total de hasta 0,2% en peso para mejorar las propiedades de oxidación, la autorreparación de la capa de Al₂O₃ o la adherencia entre la aleación y la capa de Al₂O₃.

Oxígeno (O)

20 El oxígeno puede existir en la aleación de FeCrAl para altas temperaturas como impureza resultante del procedimiento de producción en cantidades de hasta 0,02% en peso, El oxígeno puede añadirse deliberadamente para lograr un efecto de endurecimiento por precipitación. La aleación de FeCrAl para altas temperaturas comprende entonces hasta 0,1% en peso de oxígeno.

Nitrógeno (N)

25 El nitrógeno puede incluirse en la aleación de FeCrAl para altas temperaturas para incrementar la resistencia mediante endurecimiento por precipitación. El nitrógeno también puede estar presente como impureza inevitable resultante del procedimiento de producción. A niveles demasiado altos, el nitrógeno puede dar como resultado dificultades para formar el material y puede tener un efecto negativo sobre la resistencia a la corrosión. Por lo tanto, la cantidad máxima de nitrógeno es 0,1% en peso en la aleación de FeCrAl según se define anteriormente o posteriormente en el presente documento. Para lograr un endurecimiento por precipitación suficiente en la metalurgia en estado fundido, el nitrógeno debe ser al menos 0,001% en peso, ejemplos de intervalos adecuados de nitrógeno son, por ejemplo, 0,001-0,1% en peso, tal como 0,01-0,6% en peso.

Elementos reactivos (RE)

35 Por definición, los elementos reactivos son altamente reactivos con carbono, nitrógeno y oxígeno. El titanio (Ti), el circonio (Zr), el niobio (Nb), el vanadio (V), el hafnio (Hf), el tántalo (Ta), el itrio (Y) y el torio (Th) son elementos reactivos en el sentido de que tienen alta afinidad por el carbono, siendo así fuertes formadores de carburo. Estos elementos pueden añadirse a fin de mejorar las propiedades de oxidación de la aleación de FeCrAl para altas temperaturas equilibrando la difusión de iones metálicos y oxígeno, lo que regulará la cinética del proceso de crecimiento de óxido. Las cantidades máximas del elemento reactivo respectivo dependerán principalmente de la tendencia del elemento a formar fases intermetálicas adversas. De ahí que la cantidad máxima de titanio sea 1,7% en peso en la aleación que se define anteriormente o posteriormente en el presente documento, tal como 0,02-1,7% en peso, tal como 0-0,10% en peso.

45 La cantidad máxima de circonio y niobio es 0,8% en peso. Un ejemplo de cantidades de circonio es de 0 a 0,4% en peso, tal como de 0,1 a 0,3% en peso. Ejemplos de cantidades de niobio pueden ser de 0-0,4% en peso, tal como de 0,1 a 0,3% en peso.

El itrio se puede añadir en una cantidad de hasta 2,2% en peso, tal como de 0,01 a 0,60% en peso, tal como de 0,05 a 0,60% en peso, a fin de mejorar la adherencia de la capa de Al₂O₃. Sin embargo, la adición de itrio debe estar equilibrada con la cantidad de otros elementos formadores de carburo presentes en la aleación de FeCrAl para altas temperaturas.

La cantidad máxima de vanadio es 0,1% en peso;

50 El hafnio, el tántalo y el torio son elementos intercambiables y se pueden añadir hasta 1% en peso

De ahí que la aleación de hierro-cromo-aluminio para altas temperaturas consista en uno o más elementos

seleccionados de:

0,01-0,08% en peso de C;

0-0,7% en peso de Si;

0-0,4% en peso de Mn.

5 Según una realización, la aleación de hierro-cromo-aluminio para altas temperaturas consiste adicionalmente en uno o más elementos seleccionados entre:

0,05-0,60% en peso de Y;

0,01-0,40% en peso de Zr;

0,05-0,50% en peso de Hf;

10 0,05-0,50% en peso de Ta;

0-0,10% en peso de Ti;

0,01-0,05% en peso de C;

0,01-0,06% en peso de N;

0,02-0,10% en peso de O;

15 0,05-0,50% en peso de Mn;

0-0,8% en peso de P;

0-0,005% en peso de S.

Según una realización, la aleación de hierro-cromo-aluminio para altas temperaturas consiste adicionalmente en uno o más elementos seleccionados entre:

20 0,01-0,1% en peso de C;

0,001-0,1% en peso de N;

0,02-0,10% en peso de O;

0-0,01% en peso de B;

0-0,5% en peso de Mn;

25 0-2,2% en peso de Y;

0-0,2% en peso de Sc+Ce+La;

0-1,7% en peso de Ti;

0-0,40% en peso de Zr;

0-0,4% en peso de Nb;

30 0-0,1% en peso de V;

0-0,3% en peso de Hf+Ta+Th.

35 Ejemplos de las aleaciones de FeCrAl para altas temperaturas mencionadas en el presente documento se divulgan, por ejemplo, en el documento WO2001/049441. Los tubos según esta realización tendrán buena estabilidad de forma a alta temperatura y las aleaciones formarán un óxido superficial no incrustante que proporciona buena protección en la mayoría de los entornos de alta temperatura, incluyendo entornos oxidantes, sulfurosos y carburizantes. El óxido superficial también proporcionará una excelente protección contra depósitos de carbono, cenizas, etc. Los tubos según esta realización también exhibirán una resistencia superior a, por ejemplo, choque térmico, pandeo y distorsión, debido a una resistencia al calor y resistencia a la rotura por fluencia superiores en comparación con otras aleaciones de FeCrAl conocidas. En particular, este es el caso de las aleaciones de FeCrAl según esta realización producidas por pulvimetalurgia.

40 Sin embargo, debe observarse que algunas de las aleaciones de FeCrAl para altas temperaturas mencionadas en el

presente documento pueden fabricarse de manera convencional, es decir, sin usar pulvimetalurgia.

En particular, pero no exclusivamente, la presente divulgación se refiere a dicho tubo de FeCrAl para altas temperaturas para su uso en aplicaciones de calentamiento y/o dispositivos de calentamiento, tales como un tubo radiante, un tubo de mufla, un tubo de protección de un termopar, un tubo de retorta, un tubo de horno, etc. En particular, pero no exclusivamente, la presente divulgación se refiere a un tubo recto que se instalará verticalmente.

Según otro aspecto, la presente invención se refiere a un método de fabricación de un tubo de aleación de hierro-cromo-aluminio para altas temperaturas como se ha definido inicialmente, donde dicho método comprende las etapas de:

- alimentar una tira continua de una aleación de hierro-cromo-aluminio hacia una estación de conformación de tubos,
- arrollar helicoidalmente la tira en la estación de conformación de tubos de manera que los bordes largos de la tira queden en contacto entre sí y se forme un tubo giratorio que se mueva hacia delante en una dirección paralela a su eje longitudinal,
- unir continuamente dichos bordes largos en contacto en un procedimiento de soldadura directamente cuando se forma el tubo, por lo que se obtiene un tubo soldado que comprende una costura soldada helicoidal.

Sorprendentemente, se descubrió que los tubos de aleación de FeCrAl para altas temperaturas fabricados según el presente método mantienen su forma y longitud después de la soldadura. Adicionalmente, después de que se hubieran fabricado los tubos de aleación de FeCrAl para altas temperaturas, no se observaron grietas durante el enfriamiento.

Según una realización del presente método, el diámetro interior (d) del tubo de aleación de hierro-cromo-aluminio para altas temperaturas es constante o casi constante a lo largo de un eje longitudinal. Se forma una costura soldada en forma de una soldadura de unión a tope, que se extiende en un ángulo helicoidal alrededor del tubo de aleación de hierro-cromo-aluminio para altas temperaturas y a lo largo de toda su longitud. Después de formar y soldar el tubo de aleación de hierro-cromo-aluminio para altas temperaturas, se lleva a cabo opcionalmente un recocido para aliviar las tensiones y el tubo se corta posteriormente en la longitud final. El método de fabricación es rentable y produce un tubo de aleación de FeCrAl para altas temperaturas con propiedades que son comparables en al menos algunos aspectos a las de un tubo sin costura extruido correspondiente, en particular con respecto a la resistencia a la corrosión y la oxidación y el soporte de carga para aplicaciones en las que el tubo se va a montar verticalmente, es decir, con su eje longitudinal extendiéndose en una dirección vertical. El uso de una tira continua como materia prima para producir el tubo de aleación de FeCrAl para altas temperaturas permite la producción de un gran intervalo de dimensiones finales.

Un tubo de aleación de hierro-cromo-aluminio para altas temperaturas según una cualquiera de las realizaciones descritas anteriormente puede fabricarse usando el método de fabricación propuesto. El método permite la formación de tubos con paredes más delgadas en comparación con tubos extruidos con diámetro similar. Por otra parte, el método propuesto también permitirá fabricar un tubo de aleación de hierro-cromo-aluminio para altas temperaturas con mayor diámetro en comparación con los tubos extruidos.

Según una realización, el procedimiento de soldadura se selecciona de un procedimiento de soldadura por fusión o un procedimiento de unión en estado sólido. Tanto los procedimientos de soldadura por fusión como los procedimientos de unión en estado sólido son adecuados para crear una costura soldada resistente y fiable.

El procedimiento de soldadura puede llevarse a cabo usando un electrodo de soldadura colocado radialmente fuera del tubo formado. La soldadura también puede llevarse a cabo desde el interior del tubo formado, o tanto desde el exterior como desde el interior. Llevar a cabo la soldadura desde el exterior del tubo formado es una manera fácil y eficaz de obtener una junta soldada de profundidad suficiente para tiras de paredes delgadas, es decir, para espesores de pared de menos de aproximadamente 5 mm. Para mayores espesores de pared, puede ser necesaria la soldadura tanto desde el interior como desde el exterior del tubo a fin de obtener una unión soldada suficientemente resistente.

Según una realización, el procedimiento de soldadura se selecciona de uno de un procedimiento de soldadura por gas inerte de wolframio, un procedimiento de soldadura por gas inerte de metal (MIG), un procedimiento de soldadura por láser y un procedimiento de soldadura por arco de plasma. En particular, la soldadura por gas inerte de wolframio (TIG o GTAW) permite la formación de una costura soldada fuerte de alta calidad.

Según una realización, se usa un gas protector durante el procedimiento de soldadura, gas protector que es un gas inerte. El gas inerte protege al material de la formación de nitruros de aluminio, y también óxidos, a lo largo de la costura soldada. Los nitruros y óxidos formados durante la soldadura pueden, de otro modo, perjudicar la resistencia a la oxidación del tubo, y por lo tanto también sus propiedades deseables para aplicaciones a altas temperaturas.

Según una realización, el gas protector consiste en Ar (argón), He (helio) o una mezcla de los mismos.

Según una realización, no se usa material de relleno en el procedimiento de soldadura.

Según una realización, se usa un material de relleno que comprende una aleación de hierro-cromo-aluminio en el procedimiento de soldadura.

Según una realización, el método puede comprender además una etapa de precalentamiento de la tira continuamente antes de formar el tubo. Precalentar hasta, por ejemplo, 100°C o menos hace que la tira sea más fácil de deformar en un tubo y es particularmente adecuado para dimensiones más pequeñas, tal como para tubos con diámetros interiores de menos de 100 mm. El precalentamiento se puede lograr usando, por ejemplo, un horno, medios de calentamiento por inducción, una pistola de calor o similares.

Según una realización, el método comprende además la etapa de recocer el tubo de aleación de hierro-cromo-aluminio para altas temperaturas posteriormente al procedimiento de soldadura. El recocido puede aliviar la tensión en el tubo soldado y contribuir de este modo a la prevención del agrietamiento. En una realización, el recocido es un recocido de alivio de tensión realizado en línea en un aparato de formación de tubos en el que el tubo también se arrolla y suelda. El tubo se calienta hasta una temperatura de 850-875°C y posteriormente se deja enfriar antes de ser cortado en la longitud final.

Otras características ventajosas, así como ventajas del tubo y método de fabricación propuestos, aparecerán a partir de la siguiente descripción.

Breve descripción de los dibujos

A continuación se describirán realizaciones del tubo de aleación de FeCrAl para altas temperaturas y el método de fabricación propuestos, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que

- La Fig. 1 muestra esquemáticamente una vista en perspectiva de un tubo según una realización,
- la Fig. 2 muestra una vista lateral del tubo de la fig. 1,
- la Fig. 3 muestra una vista frontal del tubo de la fig. 1,
- la Fig. 4 muestra esquemáticamente un método de fabricación del tubo de la fig. 1, y
- la Fig. 5 es un diagrama de flujo que ilustra las etapas de un método de fabricación de un tubo según una realización.

Descripción detallada

Un tubo 1 de aleación de hierro-cromo-aluminio (FeCrAl) para altas temperaturas según una realización de la presente invención se muestra esquemáticamente en las fig. 1-3. El tubo 1 tiene la forma de un cilindro circular que se extiende a lo largo de un eje longitudinal C. El tubo 1 de aleación de hierro-cromo-aluminio para altas temperaturas está formado con una costura 2 soldada helicoidal que se extiende alrededor y a lo largo del tubo con un ángulo helicoidal α . En la realización mostrada, el ángulo helicoidal α es de 54°. El tubo 1 mostrado tiene un diámetro exterior D de 108 mm, una longitud L y un espesor t de pared de 2 mm, teniendo así un diámetro interior d de 104 mm. El diámetro interior d es constante a lo largo del eje longitudinal C.

El tubo 1 está formado a partir de una tira 3 continua de aleación de FeCrAl para altas temperaturas usando soldadura en espiral, como se ilustra esquemáticamente en la fig. 4 y en el diagrama de flujo de la fig. 5. En una primera etapa S1, se alimenta una tira 3 continua de la aleación de FeCrAl para altas temperaturas, que tiene una anchura w, en una dirección X de alimentación hacia una estación 4 de conformación de tubos, que en este caso tiene la forma de tres rodillos 5 de conformación. Los rodillos 5 de conformación están dispuestos con sus ejes de rotación en un ángulo con respecto a la dirección X de alimentación de la tira 3.

Cuando la tira 3 entra entre los rodillos 5 de conformación, se arrolla helicoidalmente en una segunda etapa S2 en un tubo 1, con los bordes 6, 7 largos de la tira 3 haciendo tope entre sí. Se forma un tubo giratorio, que se mueve hacia adelante en una dirección paralela a su eje longitudinal C.

En una tercera etapa S3, los bordes 6, 7 largos que hacen tope se unen continuamente entre sí en un procedimiento de soldadura directamente cuando se forma el tubo, por lo que se obtiene el tubo 1 soldado que comprende la costura 2 soldada helicoidal. El procedimiento de soldadura se lleva a cabo en la realización mostrada usando un electrodo 8 de soldadura situado radialmente fuera del tubo 1 formado. Así, la costura 2 soldada se crea con una raíz de soldadura en un interior del tubo 1 formado. La soldadura puede llevarse a cabo usando, por ejemplo, soldadura por gas inerte de wolframio (TIG), soldadura por gas inerte de metal, soldadura por láser o soldadura por arco de plasma. Como gas protector durante el procedimiento de soldadura, se usa un gas inerte tal como Ar y/o He. También se puede usar un gas para la raíz que consiste en Ar y/o He para proteger la raíz durante la soldadura.

En una cuarta etapa S4, el tubo 1 se corta en su longitud final L.

La tira 3 puede precalentarse hasta una temperatura de 100°C o menos antes de arrollarse en un tubo 1. El tubo 1 formado puede además recocerse después de la soldadura, antes o después de cortar el tubo 1 en su longitud final L. Durante el procedimiento de recocido, el tubo 1 se calienta hasta una temperatura de 850-875°C y posteriormente se deja enfriar.

La presente invención se ilustra adicionalmente mediante el siguiente ejemplo no limitativo:

Ejemplo

5 Para la producción de muestras de prueba, se produjo un tubo 1 como se describe con referencia a las fig. 1-3 anteriores a partir de una tira que tiene una anchura w de 200 mm y un espesor t de 2 mm. La composición química de la tira se muestra en la tabla 1.

Tabla 1

	C	Si	Mn	Cr	Al	Fe
Composición nominal					5,3	Resto
Mín.	-	-	-	20,5		
Máx.	0,08	0,7	0,4	23,5		

10 El procedimiento de soldadura realizado era un procedimiento de TIG sin material de relleno y con una mezcla de gases de 70% de Ar y 30% de He, que se usó tanto como gas para la raíz como gas protector. La soldadura se realizó desde el exterior del tubo 1 formado. No se usó soporte en el interior del tubo 1 durante la soldadura. El tubo 1 de aleación de FeCrAl para altas temperaturas soldado se cortó en una longitud final L de 3 m usando una rectificadora angular, sin recocido antes del corte. Después de cortar en muestras de prueba (tubos) de longitud final y enfriar la costura 2 soldada, una de las muestras 1 de prueba se recoció durante 1 h a 875°C.

15 La costura 2 soldada tenía un buen aspecto directamente después de la soldadura, en el interior del tubo 1 así como en el exterior. La costura 2 soldada era cóncava en el exterior y convexa en el interior. Las secciones transversales a través de la costura 2 soldada se inspeccionaron visualmente usando microscopía óptica después del grabado y el pulido. No se encontraron defectos durante la inspección.

La dureza HV10 se investigó a través de la costura 2 soldada y se encontró que estaba entre 220 y 265 HV a través de la costura soldada, con el valor más alto en el material de base junto a la costura soldada.

20 Otras dos muestras de ensayo se preoxidaron a 1050°C durante 8 h y posteriormente se probaron en un horno, montado verticalmente con elementos de calentamiento de cartucho de 80 mm de diámetro (26 kW a 200 V de tensión) montados dentro de los tubos.

Las muestras de prueba se sometieron a un ciclo continuo durante una semana según el siguiente esquema:

- Calentamiento desde temperatura ambiente hasta 950°C;
- 25 - 20 min de tiempo de permanencia a 950°C;
- Enfriamiento hasta 600°C;
- Calentamiento hasta 950°C;
- 20 min de tiempo de permanencia; etc.

30 Después de una semana, las muestras de prueba tenían muy buen aspecto tras la inspección visual y la prueba se continuó durante otros 18 días con un ciclo de ensayo más intensivo. Este ciclo de ensayo se llevó a cabo según el siguiente esquema:

- Calentamiento desde temperatura ambiente hasta 950°;
- 20 min de tiempo de permanencia a 950°C;
- Enfriamiento hasta 100°C;
- 35 - Calentamiento hasta 950°C; etc.

La inspección visual mostraba que las muestras de ensayo parecían muy buenas.

Además, se colocó otra muestra de prueba en el fondo del horno para estudiar si el peso de la muestra de prueba daba como resultado cualquier deformación durante la exposición, es decir, un ensayo de pandeo simplificado. Esta muestra de prueba no presentaba tendencia a distorsionarse durante los 18 días de exposición.

40

REIVINDICACIONES

1. Un tubo (1) de aleación de hierro-cromo-aluminio para altas temperaturas que se extiende a lo largo de un eje longitudinal (C), caracterizado por que el tubo (1) está formado por una tira (3) continua de aleación de hierro-cromo-aluminio y por que el tubo (1) comprende una costura (2) soldada helicoidal y por que el tubo (1) tiene un diámetro interior (d) casi constante que difiere menos de 10% de un extremo al otro extremo del tubo de FeCrAl para altas temperaturas o un diámetro interior (d) constante a lo largo de un eje longitudinal (C) y por que la aleación de hierro-cromo-aluminio para altas temperaturas consiste en:

9-25% en peso de Cr;

2,5-8% en peso de Al;

10 0-4% en peso de Mo;

y uno o más elementos seleccionados de:

0,01-0,08% en peso de C;

0-0,7% en peso de Si;

0-0,4% en peso de Mn;

15 y opcionalmente uno o más elementos seleccionados del grupo de

0,05-0,60% en peso de Y;

0,01-0,40% en peso de Zr;

0,05-0,50% en peso de Hf;

0,05-0,50% en peso de Ta;

20 0-0,10% en peso de Ti;

0,01-0,06% en peso de N;

0,02-0,10% en peso de O;

0-0,08% en peso de P;

0-0,005% en peso de S;

25 o

uno o varios elementos seleccionados del grupo de

0,001-0,1% en peso de N;

0,02-0,10% en peso de O;

0-0,01% en peso de B;

30 0-0,5% en peso de Mn;

0-2,2% en peso de Y;

0-0,2% en peso de Sc+Ce+La;

0-1,7% en peso de Ti;

0-0,4% en peso de Zr;

35 0-0,4% en peso de Nb;

0-0,1% en peso de V

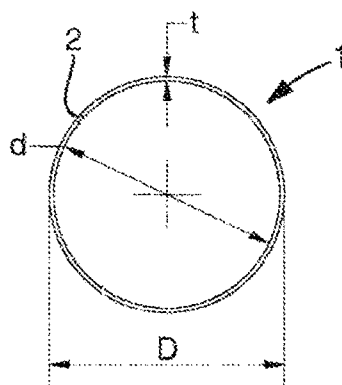
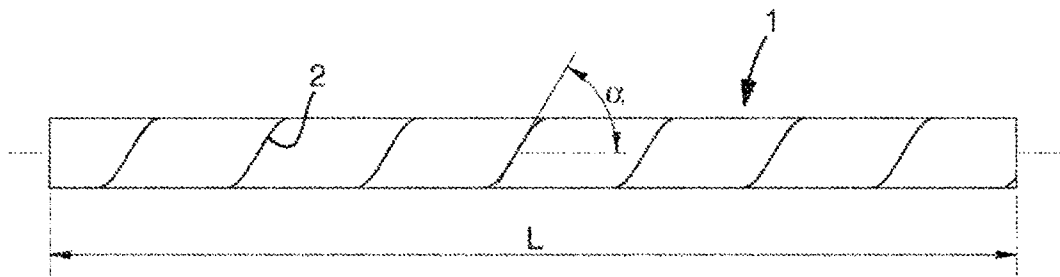
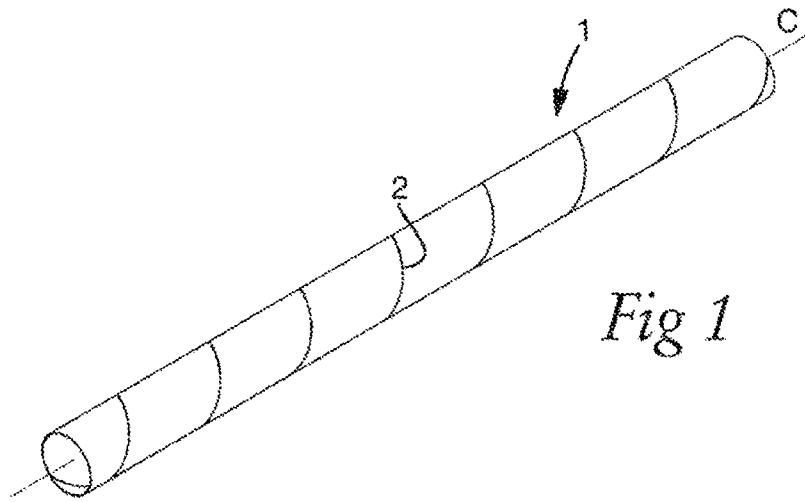
0-0,3% en peso de Hf+Ta+Th;

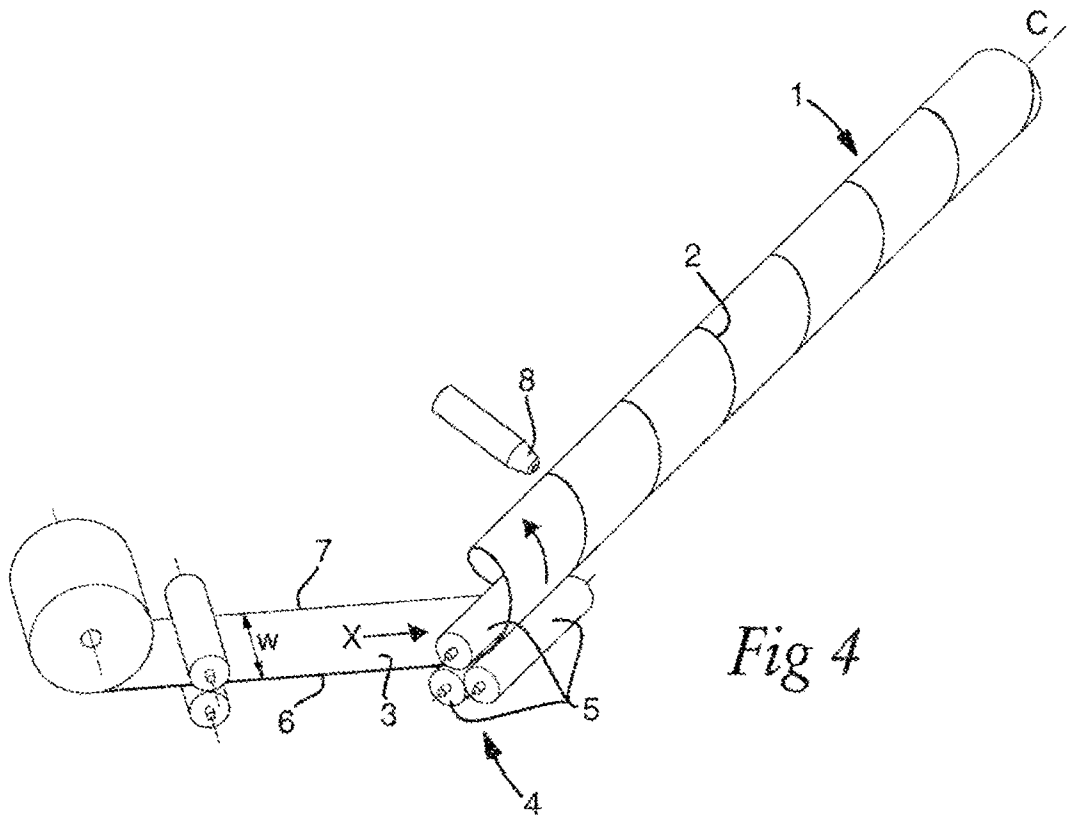
siendo el resto Fe e impurezas normalmente presentes,

y donde el tubo (1) tiene un espesor (t) de pared de 0,5-4,5% de un diámetro interior (d) del tubo (1) y

donde la costura (2) soldada helicoidal se extiende con un ángulo helicoidal (α) de 1 a 89° con respecto al eje longitudinal (C) del tubo (1).

2. El tubo de aleación de hierro-cromo-aluminio para altas temperaturas según la reivindicación 1, donde la costura (2) soldada helicoidal se extiende con un ángulo helicoidal (α) de 40-70° con respecto al eje longitudinal (C) del tubo (1).
- 5 3. El tubo de aleación de hierro-cromo-aluminio para altas temperaturas según uno cualquiera de los puntos anteriores, donde el contenido de Cr en la aleación de hierro-cromo-aluminio para altas temperaturas es de 11 a 17% en peso o de 5 a 15% en peso o de 20,5 a 25% en peso.
- 10 4. El tubo de aleación de hierro-cromo-aluminio para altas temperaturas según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el contenido de Al en la aleación de hierro-cromo-aluminio para altas temperaturas es mayor de 3 a 7% en peso o de 4 a 6% en peso o de 5 a 7% en peso.
5. El tubo de aleación de hierro-cromo-aluminio para altas temperaturas según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el contenido de Mo en la aleación de hierro-cromo-aluminio para altas temperaturas es de 1 a 4% en peso.
- 15 6. El tubo de aleación de hierro-cromo-aluminio para altas temperaturas según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el contenido de Si en la aleación de hierro-cromo-aluminio para altas temperaturas es de 0,10-0,70% en peso.
7. Un método de fabricación de un tubo (1) de aleación de hierro-cromo-aluminio para altas temperaturas que tiene un diámetro interior constante o casi constante que se extiende a lo largo de un eje longitudinal (C), según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado por que comprende las etapas de:
- 20 - alimentar una tira (3) continua de una aleación de hierro-cromo-aluminio para altas temperaturas hacia una estación (4) de conformación de tubos,
- arrollar helicoidalmente la tira (3) en la estación (4) de conformación de tubos de manera que los bordes (6, 7) largos de la tira (3) hagan tope entre sí y se forme un tubo (1) giratorio que se mueve hacia adelante en una dirección paralela a su eje longitudinal (C),
- 25 - unir continuamente entre sí dichos bordes (6, 7) largos que hacen tope en un procedimiento de soldadura directamente cuando se forma el tubo (1) de aleación de FeCrAl para altas temperaturas, por lo que se obtiene un tubo (1) de aleación de FeCrAl para altas temperaturas soldado que comprende una costura (2) soldada helicoidal y que comprende la etapa de recocer el tubo (1) de aleación de FeCrAl para altas temperaturas posteriormente al procedimiento de soldadura.
- 30 8. El método según la reivindicación 7, donde el procedimiento de soldadura se selecciona de un procedimiento de soldadura por fusión o un procedimiento de unión en estado sólido o se selecciona de uno de un procedimiento de soldadura por gas inerte de wolframio, un procedimiento de soldadura por gas inerte de metal, un procedimiento de soldadura por láser y un procedimiento de soldadura por arco de plasma.
- 35 9. El método según una cualquiera de las reivindicaciones 7-8, donde se usa un gas protector durante el procedimiento de soldadura, gas protector que es un gas inerte.
10. El método según una cualquiera de las reivindicaciones 7-9, que comprende además la etapa de precalentar la tira (3) antes de formar el tubo (1) de aleación de FeCrAl para altas temperaturas.
- 40 11. Uso de un tubo de aleación de hierro-cromo-aluminio para altas temperaturas según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10 como tubo radiante en un dispositivo de calentamiento eléctrico que tiene un elemento de calentamiento en forma de un alambre de calentamiento, como un tubo de mufla, un tubo de protección de un termopar, un tubo de retorta, un tubo de horno.





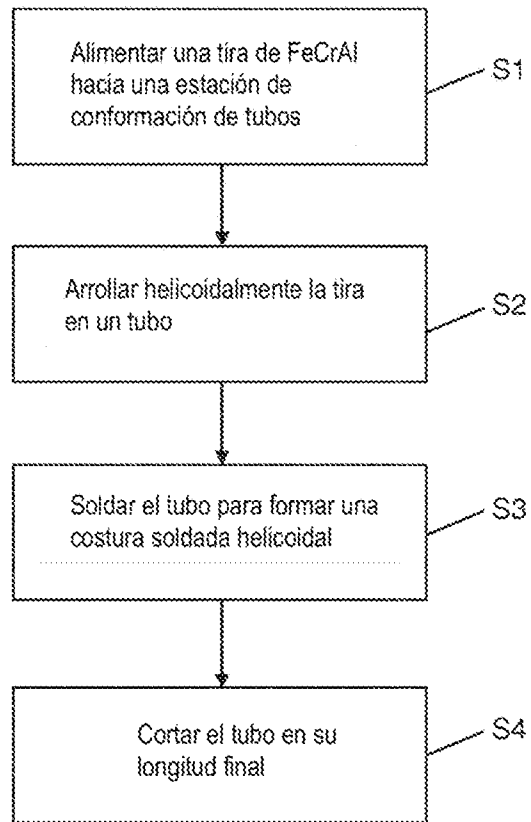


Fig 5